

Original Article

# $^{18}\text{F}$ -FDG Whole Body PET/CT 수검자의 거리별 선량 변화에 따른 방사선 작업종사자의 유효선량 고찰: 환자 고유특성 및 응대시간 측면

서울아산병원 핵의학과

김성환 · 류재광 · 고현수

## The Consideration of nuclear medicine technologist's occupational dose from patient who are undergoing $^{18}\text{F}$ -FDG Whole body PET/CT : Aspect of specific characteristic of patient and contact time with patient

Sunghwan Kim, Jaekwang Ryu and Hyunsoo Ko

*Department of Nuclear Medicine, Asan medical Center, Seoul, Korea*

**Purpose** The purpose of this study is to investigate and analyze the external dose rates of  $^{18}\text{F}$ -FDG Whole Body PET/CT patients by distance, and to identify the main factors that contribute to the reduction of radiation dose by checking the cumulative doses of nuclear medicine technologist(NMT).

**Materials and Methods** After completion of the  $^{18}\text{F}$ -FDG Whole Body PET/CT scan( $75.4 \pm 3.3$  min), the external dose rates of 106 patients were measured at a distance of 0, 10, 30, 50, and 100 cm from the chest. Gender, age, BMI(Body Mass Index), fasting time, diabetes mellitus, radiopharmaceutical injection information, creatine value were collected to analyze individual factors that could affect external dose rates from a patient's perspective. From the perspective of NMT, personal pocket dosimeters were worn on the chest to record accumulated dose of NMT who performed the injection task( $T_1$ ,  $T_2$  and  $T_3$ ) and scan task( $T_4$ ,  $T_5$  and  $T_6$ ). In addition, patient contact time with NMT was measured and analyzed.

**Results** External dose rates from the patient for each distance were calculated as  $246.9 \pm 37.6$ ,  $129.9 \pm 16.7$ ,  $61.2 \pm 9.1$ ,  $34.4 \pm 5.9$ , and  $13.1 \pm 2.4$   $\mu\text{Sv/hr}$  respectively. On the patient's aspect, there was a significant difference in the proximity of gender, BMI, Injection dose and creatine value, but the difference decreased as the distance increased. In case of dialysis patient, external dose rates for each distance were exceptionally higher than other patients. On the NMT aspect, the doses received from patients were 0.70, 1.09, 0.55  $\mu\text{Sv/person}$  for performing the injection task( $T_1$ ,  $T_2$ , and  $T_3$ ), and were 1.25, 0.82, 1.23  $\mu\text{Sv/person}$  for performing the scan task( $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ).

**Conclusion** we found that maintaining proper distance with patient and reducing contact time with patient had a significant effect on accumulated doses. Considering those points, efforts such as sufficient water intake and encourage of urination, maintaining the proper distance between the NMT and the patient(at least 100 cm), and reducing the contact time should be done for reducing dose rates not only patient but also NMT.

**Key Words** Nuclear medicine technologist(NMT), External dose rates, Individual factor

· Received: April 14, 2018 Accepted: April 30, 2018  
· Corresponding author : **Sunghwan, KIM**  
Address for correspondence : Department of Nuclear Medicine,

Asan medical Center, 88, Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul, Republic of Korea  
Tel.: +82-2-3010-2106, Fax.: +82-2-3010-2308  
E-mail: sunghwan0306@amc.seoul.kr

## 서 론

방사선 안전에 대한 관심과 염려가 전 세계적으로 점차 증가되고 있는 가운데, 의료 실무 현장에 종사하는 방사선 작업 종사자의 외부피폭 관리 또한 중요한 관심사로 부각되고 있다. 핵의학과와 방사선물리학과 또는 방사선종양학과 보다 높은 피폭선량을 보이고 있다.<sup>1)</sup> 특히 일반적인 핵의학 영상 검사를 수행하는 방사선 작업종사자 보다 Positron Emission Tomography with Computed Tomography(PET/CT)를 수행하는 방사선 작업종사자의 업무상 피폭선량이 높은 양상을 보인다.<sup>2-4)</sup> 관련저널에 따르면  $^{18}\text{F}$ Fluorine( $1.49 \times 10^{-4} \text{ mSv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ )의 경우 핵의학과에서 널리 사용되는  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Technetium( $2.06 \times 10^{-5} \text{ mSv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ) 보다 공기 중 선량률이 7배 더 높은 수치로 알려져 있다.<sup>5)</sup> 이러한 물리적 특성과 다양한 종류의 방사성 동위원소의 사용 및 Dynamic study 를 통한 관류상태 관찰 등 방사선 작업종사자의 직업상 피폭선량에 영향을 주는 인자들이 점차 다양해지고, 그에 따라 방사선 방어 3요소(시간, 거리, 차폐)의 준수를 위한 노력은 선택이 아닌 필수가 되었다. 따라서 본 연구는  $^{18}\text{F}$ -FDG Whole body PET/CT 검사를 진행한 환자를 대상으로 환자로부터 방출되는 거리 별 외부선량률을 확인하고, 이에 영향을 주는 환자의 고유인자(성별, 연령, Body Mass Index, 당뇨병 유무, 크레아틴 수치, 금식시간, 투여선량)와의 상관관계를 분석하여 직업상 피폭선량 감소를 위해 방사선 작업종사자가 인지해야 할 환자의 고유특성에는 어떤 것이 있는지 확인해 보며 또한 방사선 작업종사자 차원에서 업무별 환자 1명으로부터 받게 되는 피폭선량을 알아보고 환자 응대시간에 따른 피폭선량 변화를 알아보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상 및 자료 수집

#### 1) 환자

2017년 4월 4일부터 4월 18일까지 서울 아산병원에 내원하여  $^{18}\text{F}$ -FDG Whole body PET/CT검사를 시행한 106명의 환자(평균  $60.25 \pm 13.59$ 세)를 대상으로 환자로부터 방출되는 거리 별 외부선량률을 측정하였다. 다만 소아의 경우 투여 기준이 성인과 다르므로 데이터 수집 시 제외하였다. 환자는 검사를 위해 6시간 이상 금식, oralhydration 1000ml 또는 Normal saline 을 적용하여 IV hydration 1000 ml를 준수

하였다. 또한 metformin 성분의 경구당뇨약은 12시간 전에 복용을 금지시켰고, 그 외 나머지 경구당뇨약은 허용하였다. 인슐린 투약 시, 속효성 또는 지속형에 따라 약물 투여 후 4~12 시간 경과 후 검사를 진행하였다. 환자의 체중에 기반하여  $5.18 \text{ MBq/kg}(0.14 \text{ mCi/kg})$ 를 투여하였고, 약물의 고른 섭취를 위해 60분 동안 대기실에서 안정을 취했다.<sup>6)</sup> 검사 전 방광의 유효선량을 감소시키고, 영상의 질 향상을 위해 배뇨를 권장하였다. 환자 데이터 분석은 환자 고유인자(성별, 연령, Body Mass Index<sup>7)</sup>, 당뇨병 유무, 크레아틴 수치, 금식시간, 투여선량) 정보를 수집하여 분석하였다.

#### 2) 환자의 거리 별 외부선량률 측정

검사 종료 후( $75.4 \pm 3.3 \text{ min}$ ) 환자의 가슴 높이에서 0, 10, 30, 50, 100 cm 거리를 변화시켜가며 외부선량률을 측정하였다. 측정 시, 산란선에 의한 외부선량률의 변동성을 최소화하기 위해 약 1분 후 표시된 수치를 기록하였다. 선량 측정에 사용된 Personal Electronic Dosimeter(PED)는 Tracerco사의 T404모델 이며(Fig. 1), 이는 심부선량 및 33 KeV에서 1.25 MeV까지 X, Gamma rays를 획득 할 수 있고, 에너지 보상용 Geiger muller tube의 단일 센서를 사용하며, 0에서부터 100 mSv/h까지 선량률을 나타낸다. 또한 심부선량 측정과 누적선량 측정이 가능하며, 총 누적된 선량을 분 단위로 분석할 수 있는 특징을 가지고 있다. PED의 교정은 제조사가 권고하는 주기를 준수하여 시행 후 사용하였다.<sup>8)</sup>



Fig. 1. PED was used to measure occupational radiation dose manufactured by Tracerco™.

#### 3) 방사선 작업종사자

방사선 작업종사자 측면에서 직업상 피폭에 영향을 줄 수 있는 업무별 요인과 응대시간을 분석하기 위해 총 6명의 방사선 작업종사자가 실험에 참여하였고, 장소 별 배후방사능 수치를 보정해 주기 위해 주사실과 스캔실 바닥으로부터 1 m 상부지점에서 각 장소의 배후방사능을 측정하였다.

(1) 환자 1명으로부터 받는 업무별 피폭선량



Fig. 2. Nuclear medicine technologists wear a PERSONAL ELECTRONIC DOSIMETER(PED) on the left chest area.

2017년 9월 27일부터 10월 26일까지 서울아산병원에 내원하여 <sup>18</sup>F-FDG Whole body PET/CT검사를 시행한 330명의 환자를 대상으로 총 6명의 방사선 작업종사자가 PED를 착용하여 업무시간 동안 업무별 누적된 선량을 수집하였다(Fig 2). 주사업무 담당자(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>)와 스캔 업무 담당자(T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>)의 업무 장소 별 배후방사능이 일정하지 않기 때문에 배후방사능을 따로 측정하였고, 이를 총 누적선량에서 제외 한 후에 응대한 환자 명수로 나누어 환자 1명으로부터 받은 선량 값을 방사선 작업종사자 개인별로 산출하였다.

(2) 환자 응대시간

Scan 업무를 하는 방사선 작업종사자(T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>)의 환자 응대시간을 분석하기 위해 스캔실 내에 설치된 CCTV 녹화영상을 토대로 검사 전과 후에 방사선 작업종사자의 환자 응대시간을 구하였다. HANNET사의 Digital video recorder를 통해 2017년 10월 23일부터 10월 25일까지 <sup>18</sup>F-FDG Whole body PET/CT검사를 시행한 85명의 거동 가능한 환자를 대상으로 검사 시작과 종료 시 환자와 직접 접촉한 시간을 기록하여 분석하였다.

4) 연구 자료 분석

환자의 고유특성이 환자로부터 방출되는 거리 별 외부선량률에 미치는 영향을 확인하기 위해 통계프로그램으로 유의성 검증을 시행하였다. 독립변수 집단이 2개 이하의 경우 t검정을 시행하였고, 3개 이상의 경우 일원배치분산분석(ANOVA)을 시행하였다. 수집된 자료는 SPSS ver 18.0 통계패키지를 이용하였다.

결 과

환자 측면에서 수집한 정보는 아래와 같이 요약된다 (Table 1).

Table 1. General characteristics and dosage of the 106 subjects studied

Characteristic	Classification	n(%)
성별 (Sex)	Male	53 (50.0)
	Female	53 (50.0)
연령 (Age)	Less than 60 yrs	44(41.5)
	or more	62(58.5)
크레아틴 수치 (Cr, mg/dl)	Less (0.7 < Cr )	34 (32.1)
	Normal (0.7 ≤ Cr ≤ 1.4)	68 (64.2)
	Over (Cr > 1.5)	4 (3.8)
금식 시간 (Fasting time)	Less than 10 hrs	14 (13.2)
	or more	92 (86.8)
당뇨병 (Diabetes mellitus)	Yes	18 (17.0)
	No	88 (18.0)
체 질량지수 (BMI, kg/m <sup>2</sup> )	Normal (BMI < 23.0)	51 (48.1)
	Over (23.0 ≤ BMI < 24.9)	26 (24.5)
	Obesity (BMI ≥ 25.0)	29 (27.4)
투여선량 (MBq)	Less than 222(Less than 6 mCi) : Group 1	3 (2.8)
	222(6 mCi)~ 258.9(6.9 mCi) : Group 2	9 (8.5)
	259(7 mCi)~ 295.9(7.9 mCi) : Group 3	29 (27.4)
	296(8 mCi)~ 332.9(8.9 mCi) : Group 4	27 (25.5)
	333(9 mCi)~ 369.9(9.9 mCi) : Group 5	24 (22.6)
	370(10 mCi)~ 406.9(10.9 mCi) : Group 6	5 (4.7)
	More than 407(11 mCi) : Group 7	9 (8.5)
	총계	106 (100.0)

**Table 2.** External radiation dose rates by patient's characteristic(Sex)

Sex	n		Distance from patient									
			0 cm		10 cm		30 m		50 cm		100 cm	
			M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Male	53	Dose( $\mu$ Sv/h)	268.013	35.35	139.345	14.14	65.911	8.34	37.183	5.63	14.162	2.17
Female	53	Dose( $\mu$ Sv/h)	225.743	26.38	120.428	13.36	56.557	7.26	31.547	4.72	11.998	2.19
		t-value	-6.975		-7.077		-6.155		-5.580		-5.104	
		P-value	P<0.01		P<0.01		P<0.01		P<0.01		P<0.01	

**1. 환자의 고유 특성 분석**

본 연구의 대상자는 환자군 106명(남:53명, 여:53명)과 방사선 작업종사자군 6명(남:4명, 여:2명)이었다. 환자군의 남녀 간 평균연령은 남녀 각각 62.15 $\pm$ 12.51세, 58.36 $\pm$ 14.46세으로 큰 차이는 없었지만(p=0.152), 평균체중에서는 각각 64.98 $\pm$ 9.99 kg, 56.26 $\pm$ 8.64 kg으로 유의한 차이가 있었다(p<0.01).

**2. 환자의 개별적 요인 분석**

**1) 성별(Sex)**

환자의 성별에 따른 거리 별 외부선량률은 모든 거리에서 남성이 여성보다 높은 수치를 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.01)(Table 2). 두 집단 간 평균 체중은 64.98 $\pm$ 9.99 kg, 56.26 $\pm$ 8.64 kg로 투여선량의 차이가 거리 별 외부선량률에 통계적으로 유의한 차이를 만들었다.

**2) 투여선량(Injection dose)**

환자의 투여선량에 따른 거리 별 외부선량률은 모든 거리에서 집단 간 유의한 차이를 보였다 (p<0.01)(Table 3).

**3) 연령(Age)**

연령에 의한 거리 별 외부선량률의 변화는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 4).

**4) 금식시간(Fasting time)**

환자의 금식시간에 따른 거리 별 외부선량률은 모든 거리에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 보편적으로 금식을 오래한 집단의 거리 별 외부선량률이 평균적으로 높은 추세를 보였다(Table 5).

**Table 3.** External radiation dose rates by patient's characteristic(Injection dose)

Dose	n		Distance from patient									
			0 cm		10 cm		30 m		50 cm		100 cm	
			M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Group 1	3	Dose( $\mu$ Sv/h)	214.533	45.9739	107.967	14.8194	46.967	6.8193	23.933	3.2021	9.200	.3606
Group 2	9	Dose( $\mu$ Sv/h)	206.833	17.1156	113.222	9.9624	52.444	3.1647	28.611	5.1695	10.911	.8767
Group 3	29	Dose( $\mu$ Sv/h)	226.648	25.4768	120.303	13.2234	56.910	6.0921	31.279	3.2801	11.883	2.0668
Group 4	27	Dose( $\mu$ Sv/h)	256.815	38.7400	131.500	15.3654	60.574	7.2883	33.967	5.1254	13.089	1.6104
Group 5	24	Dose( $\mu$ Sv/h)	262.717	33.7628	138.583	9.7264	67.425	7.5341	38.250	4.5198	13.950	1.9174
Group 6	5	Dose( $\mu$ Sv/h)	263.200	34.6756	141.940	10.0219	64.500	10.8312	38.880	2.4345	15.420	2.0352
Group 7	9	Dose( $\mu$ Sv/h)	281.778	20.4526	150.011	13.5428	72.367	6.7961	41.867	2.8697	16.756	1.8981
		F-value	8.477		13.009		13.751		17.404		15.113	
		P-value	P<0.01		P<0.01		P<0.01		P<0.01		P<0.01	

**Table 4.** External radiation dose rates by patient's characteristic(Age)

Age	n	Dose (μSv/h)	Distance from patient									
			0 cm		10 cm		30 m		50 cm		100 cm	
			M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Less than 60years	44		248.711	42.2471	130.918	18.0781	62.502	9.2809	35.548	6.4838	13.336	2.4210
More than 60years	62		245.577	34.2506	129.155	15.7024	60.334	8.9272	33.526	5.3417	12.898	2.4381
	t-value		.421		.688		.622		.126		.583	
	P-value		.675		.595		.228		.082		.363	

**Table 5.** External radiation dose rates by patient's characteristic(Fasting time)

Fasting time	n	Dose (μSv/h)	Distance from patient									
			0 cm		10 cm		30 m		50 cm		100 cm	
			M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Less than 10hrs	14		260.071	49.1569	136.393	17.9528	62.843	9.3531	35.986	5.8561	13.543	2.6599
More than 10hrs	92		244.871	35.4466	128.897	16.3414	60.989	9.0828	34.118	5.8978	13.010	2.4000
	t-value		1.415		1.579		.709		1.105		.763	
	P-value		.160		.117		.480		.272		.447	

**5) 체 질량지수(BMI)**

NormalBMI 집단과 OverBMI 집단 간 거리 별 외부선량률은 0 cm에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.184) (Table 6). 거리가 증가할수록 p값의 차이를 보여 사후검정을 통해 확인한 결과 10 cm거리가 증가하면서 Obesity집단과 Normal집단 간 유의한 차이를 보이기 시작했고(p=0.004), 100 cm에서는 Obesity집단과 Normal집단(p<0.01), Obesity 집단과 Over집단(p=0.007) 모두에게서 통계적으로 유의한

차이가 있음을 알 수 있었다.

**6) 크레아틴 수치(Cr)**

크레아틴 수치에 따른 거리 별 외부선량률의 변화는 50 cm까지 유의한 차이를 보였지만(p<0.05), 100 cm에서 거리 역자승 법칙에 따른 감쇄의 영향으로 통계적 유의미한 차이를 보이지 않았다(p>0.05)(Table 7).

**Table 6.** External radiation dose rates by patient's characteristic(Body Mass Index)

BMI (kg/m2)	n	Dose (μSv/h)	Distance from patient									
			0 cm		10 cm		30 m		50 cm		100 cm	
			M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Normal (BMI<23)	51		242.353	41.6833	125.516	16.7637	59.335	8.5304	32.725	5.8543	12.218	1.9392
Over (23.0≤BMI<24.9)	26		243.562	32.9971	129.546	13.7400	60.638	8.9976	34.008	5.1466	12.900	1.9250
Obesity (BMI≥25.0)	29		257.810	32.5510	137.879	16.4455	65.107	9.2502	37.569	5.4758	14.759	2.7930
	F-value		1.718		5.532		4.014		7.017		12.432	
	P-value		.184		.005		.021		.001		<0.01	

**Table 7.** External radiation dose rates by patient's characteristic(Creatine value)

Creatine	n	Dose (μSv/h)	Distance from patient									
			0 cm		10 cm		30 m		50 cm		100 cm	
			M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Less (0.7 mg/dl less)	34		227.844	36.8079	123.050	15.3591	57.774	8.1269	32.241	5.8631	12.362	2.3617
Normal (0.7 ≤ level ≤ 1.4 mg/dl)	68		253.596	32.2470	132.001	15.8168	62.575	9.1024	35.160	5.7243	13.374	2.4479
Over (>1.4 mg/dl)	4		294.475	56.9518	152.050	16.0130	67.850	9.1468	38.900	3.8730	14.200	1.3687
F-value			10.145		7.849		4.546		4.252		2.475	
P-value			<0.01		.001		.013		.017		.089	

**Table 8.** External radiation dose rates by patient's characteristic(Diabetes mellitus)

DM	n	BST		Dose (μSv/h)	Distance from patient									
					0 cm		10 cm		30 m		50 cm		100 cm	
		M	SD		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Yes	18	115.83	17.774		256.994	38.2771	137.761	14.0887	64.239	9.9625	35.511	5.3129	13.083	2.6062
No	88	92.99	12.93		244.809	37.3602	128.276	16.7657	60.619	8.8429	34.131	6.0126	13.080	2.4072
t-value					-1.256		-2.241		-1.549		-.904		-.006	
P-value					.212		.027		.125		.368		.995	

**Table 9.** Accumulated dose rate of NMTs work in injection site, scan room

	Injection task			Scan task		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
Continuous working years at PET Center	5	1	3	4	8	2
Total Dose (μSv/h)	28.04	76.91	76.71	42.06	59.25	85.42
Background (μSv)	9.78	14.67	26.9	4.66	9.32	9.32
Total Dose (Background corrected)	18.26	62.24	49.81	37.40	49.93	76.10
Patient (n)	29	57	91	30	61	62
Dose/person (μSv/n)	0.70	1.09	0.55	1.25	0.82	1.23

**7) 당뇨병 유무**

당뇨병에 의한 거리 별 외부선량률의 변화는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 모든 거리에서 당뇨병이 있는 집단이 당뇨병이 없는 집단보다 평균적으로 높은 추세를 보였다.(Table 8)

**2. 방사선 작업종사자**

방사선 작업종사자 군의 평균연령은 34.7±6.9세였고,

PET/CT실 근무기간은 주사업무 담당자의 경우 평균 3±2.0년, 스캔업무 담당자는 평균 4.7±3.1년이였다.

**1) 방사선 작업종사자의 업무별 선량(환자 1명)**

업무별로 환자 1명으로부터 받은 방사선 작업종사자의 피폭선량을 측정할 결과는 다음과 같다(Table 9). 배후방사능의 차이는 방사선 작업종사자 별 방사선 관리구역에서의 근무시간이 다른 점이 반영되었다.

Table 10. Patient contact time of NMTs work in scan room

	T <sub>4</sub>		T <sub>5</sub>		T <sub>6</sub>	
	M	SD	M	SD	M	SD
Total (sec)	110.39	34.26	91.08	66.81	119.20	75.68
Patient (n)	31		24		30	
Moveable(mobile) patient (sec)	109.50	34.48	63.16	19.46	90.21	26.64

## 2) 응대시간

거동이 가능했던 환자를 대상으로 스캔업무 담당자(T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>) 간 환자 응대시간을 측정할 결과 응대시간의 차이가 존재하였다(Table 10).

## 고찰

위 실험에서 알 수 있듯이, 환자의 고유특성 중 집단 간 거리별 외부선량률의 차이가 보이는 요소는 성별, 체중(체중에 따른 투여선량)과 크레아틴 수치였다. 성별에 있어 남성과 여성 간 거리별 외부선량률의 차이는 선량계의 측정위치, 평균체중, 방사성의약품의 생리적 분포 특성과 연관있다.<sup>9)</sup> 주목해야 할 점은 환자의 크레아틴 수치에 대한 방사선 작업종사자의 피폭영향을 줄일 수 있는 거리가 100 cm 이상이어야 한다는 점, 그리고 투석환자의 외부선량률이 다른 환자보다 월등히 높게 측정(379.6, 178.6, 75.7, 45.1, 16.4  $\mu$ Sv/h) 되었다는 점이다. 이는 충분한 수분섭취와 배뇨가 어려운 환자 특성 때문에 방사성의약품 배출이 원활하지 못했기 때문으로 사료된다. 즉, 적절한 수분섭취와 잦은 배뇨는 환자의 외부선량률을 효과적으로 낮출 수 있는 가장 쉬운 방법인 것이다.<sup>10-13)</sup> EANM Procedure guideline에 따르면, <sup>18</sup>F-FDG Wholebody PET/CT의 전 처치로 1000 ml의 수분섭취와 방사성의약품 투여 후 안정 시에 500 ml의 추가 수분섭취를 권장하고 있어<sup>14)</sup> 신장을 통한 방사성의약품의 배출이 환자와 방사선 작업종사자의 피폭선량에 중대하게 작용한다는 점을 숙지해야 한다.

PET/CT 방사선 작업종사자의 피폭선량의 분석 시, 스캔업무 담당자의 환자 당 누적선량 값이 주사업무 담당자보다 높게 측정된 점을 토대로 응대시간이 피폭선량의 핵심적인 요소로 작용함을 알 수 있었다. 스캔업무 담당자 3명 중 T<sub>5</sub>직원은 T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub>직원보다 34% 낮은 누적선량을 기록하였는데, 이는 PET/CT 장비의 운용 시 remote control system을 적극 활용하여 환자 응대시간과 환자와의 거리를 줄일 수 있었던 것이 크게 작용했다고 판단 된다.<sup>15)</sup> 주사업무 담당자 중 T<sub>2</sub>

직원의 근속년수(1년)와 스캔업무 담당자 중 T<sub>5</sub>직원의 근속년수(8년)에 따른 업무 숙련도를 고려하였을 때, 피폭선량(1.09, 0.82  $\mu$ Sv/n)과 업무숙련도의 상관관계가 Robinson이 작성한 연구 결과와 일치하였다.<sup>16)</sup> 다만 거동이 불편했던 환자의 경우 환자의 상태에 따라 방사선 작업종사자 별 응대시간의 큰 편차가 발생하는 변수로 작용되어 데이터 수집 시 제외하였다.

추가적으로 EANM Procedure guideline에서 90 kg 이상의 환자에게는 선량 제한치를 설정과 영상획득 시간을 늘리는 방법, 540 MBq 이상의 양전자 방출 방사성의약품이 투여된 환자는 LSO Crystal이 적용된 검사장비에서 시행하지 않도록 권고하는 등 다양한 방안을 제시한다.<sup>14), 17)</sup> 이러한 사항은 각 병원의 환경과 장비 제원에 맞추어 능동적으로 접목시킬 경우 환자뿐만 아니라 방사선 작업종사자에게도 도움이 될 것으로 사료된다.

## 결론

위 실험을 기준으로 방사선 작업종사자가 5년 간 받게 될 총 누적선량(100 mSv/5yrs)을 고려하였을 때, 본원 핵의학과에 종사하는 방사선 작업종사자는 법적 허용선량치를 넘지 않아 아무런 문제가 없어 보일 수 있다. 하지만 이는 말 그대로 법적으로 문제가 될 소지가 없을 뿐, 방사선에 대한 개념이 환자와 직원 모두에게 부정적으로 변해가는 시대적 흐름은 피할 수 없다. 위 실험을 토대로 환자 입장에서의 충분한 수분섭취와 배뇨, 방사선 작업종사자 입장에서의 응대시간 감소 및 적정거리 유지는 환자와 직원 모두에게 피폭선량을 줄이기 위한 기본적인 준수 사항을 다시 한번 확인 할 수 있었고, 방사선 작업종사자는 ALARA개념의 'Reasonably Achievable' 이 업무 환경에서 적절하게 실천되고 있는지 경각심을 가져 업무에 임해야 할 것이다.

요 약

방사선 안전에 대한 관심과 염려가 전 세계적으로 점차 증가되고 있는 가운데, 의료 실무 현장에 종사하는 방사선 작업 종사자의 외부피폭 관리 또한 중요한 이슈로 부각되고 있다. 특히, <sup>18</sup>F-FDG Whole Body PET/CT검사의 경우 높은 에너지의 방사성동위원소를 사용하므로 검사자의 피폭선량 저감화에 더욱 관심을 기울여야 한다. 따라서, 본 연구는 <sup>18</sup>F-FDG Whole Body PET/CT 수검자의 거리 별 외부선량을 측정 및 분석하고, 방사선 작업종사자의 업무 행위 별 누적선량을 확인하여 피폭선량 저감화에 도움이 되는 주요한 요소를 알아보고자 한다. <sup>18</sup>F-FDG Whole Body PET/CT검사를 받은 106명의 환자를 대상으로 검사 종료(75.4±3.3 min) 후 가슴을 기준 0, 10, 30, 50, 100 cm 거리에서 외부선량을 측정하였다. 환자측면에서 외부선량률에 영향을 줄 수 있는 개별적 요인을 분석하기 위해 성별, 연령, BMI, 금식시간, 당뇨병 유무, 약물 투여정보, 크레아틴 수치 정보를 수집하였다. 수집된 정보의 통계분석은 ANOVA 분석 및 T-test를 시행하였다. 방사선 작업종사자 측면에서 피폭선량에 영향을 줄 수 있는 요인을 분석하기 위해 주사 업무를 하는 3명의 직원(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>)과 스캔 업무를 하는 3명의 직원(T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>)에 각각 Personal pocket dosimeter를 착용시켜 업무시간 동안 누적된 선량을 기록하였다. 또한 방사선 작업종사자 별 응대시간을 측정하여 분석하였다. 각 거리 별 외부선량은 246.9±37.6, 129.9±16.7, 61.2±9.1, 34.4±5.9, 13.1±2.4 μSv/hr로 산출되었다. 환자측면에서, 근거리에서 성별, BMI, 선량, 크레아틴 수치에 의해 유의미한 차이가 있었지만, 거리가 증가할수록 그 차이는 감소하였다. 그 중 크레아틴 수치의 경우 100 cm에서 집단 간 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 특징이 있었다. 환자 1명으로부터 받은 선량은 주사 업무를 하는 직원(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>)의 경우 0.70, 1.09, 0.55 μSv/person이었고, 스캔(T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>)의 경우 1.25, 0.82, 1.23 μSv/person이었다. 응대시간이 상대적으로 적은 T<sub>4</sub>직원의 경우 T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub>보다 34% 낮은 누적선량을 확인할 수 있었다. 이를 토대로 환자와의 적정거리 유지와 응대시간 감소가 누적선량에 크게 작용함을 알 수 있었다. 위와 같은 점을 고려했을 때, 환자의 충분한 수분 섭취 및 배뇨, 방사선 작업종사자와 환자 간 적정거리유지(최소 100 cm 이상) 및 응대시간 감소를 위해 노력해야 할 것이고, 환자의 video tracking system과 장비의 원격조정 등을 통해 피폭선량 저감화를 위해 노력해야 한다.

REFERENCE

1. 박훈희, 이정배, 정필균, 이종두, 원종욱, 노재훈. PET, PET/CT 방사선 종사자의 피폭 관련요인. *Korean J Occup Environ Med*, 2012;24(1):86-95.
2. Bloe F, Williams A. Personnel monitoring observations. *J Nucl Med*. 0000;00(0):00-00.
3. Chiesa C, De Sanctis V, Crippa F et al. Radiation dose to technicians per nuclear medicine procedure: comparison between technetium-99m, gallium-67 and iodine-131 radiotracers and fluorine-18 fluorodeoxyglucose. *Eur J Nucl Med*. 1997; 24:1380-9.
4. Kearfott KJ, Carey JE, Clemenshaw MN, Faulkner DB. Radiatio protection design for a clinical positron emission tomography imaging suite. *Health Phys*. 1992; 63:581-9.
5. Smith D S and Stabin M 2012 Exposure rate constants and lead shielding values for over 1,100 radionuclides *Health Physics*. 102 271-91.
6. Richard L. Wahl, Julia W. Buchanan Principles and Practice of Positron Emission Tomography. *LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS*. 2002: 100-110.
7. Hyun SH, Ahn HK, Lee JH, Choi JY, Kim B-T, Park YH, et al. (2016) Body Mass Index with Tumor <sup>18</sup>F-FDG Uptake Improves Risk Stratification in Patients with Breast Cancer. *PLoS ONE* 11(10): e0165814. doi: 10.1371/journal.pone.0165814.
8. Tracerco™ PERSONAL ELECTRONIC DOSIMETER (PED) User Manual. P. 24.
9. Niven E, Thompson M, Nahmias C. Absorbed dose to the adult male and female brain from <sup>18</sup>F-Fluorodeoxyglucose. *Health Phys*. 2001;80:62-6.
10. Aruna Kaushik, Abhinav Jaimini I, Madhavi Tripathi I. Estimation of patient dose in <sup>18</sup>F-FDG and <sup>18</sup>F-FDOPAPET/CT examinations. 0000;00(0):00-00.
11. Harvey J, Firnau G, Garnett ES. Estimation of radiation dose in man due to 6-[<sup>18</sup>F]fluoro-L-dopa. *J Nucl Med*. 1985;26:931-5.
12. Cho IH, Han EO, Kim ST. Very different external radiation doses in patients undergoing PET/CT or PET/MRI scans and factors affecting them. *Hellenic Journal of Nuclear Medicine*. 01 Jan 2014, 17(1):13-18
13. Matthew T. Studenskia. Effective dose to patients and staff



- when using a mobile PET/SPECT system. *JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS*. VOLUME14, NUMBER3, 2013.
14. Ronald B. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2015; 42: 328–354.
  15. 고현수, 김호성, 남궁창경, 윤순상, 송재혁, 류재광, et al. A study on the strategies to lower technologist occupational exposure according to the performance form in PET scan procedure. 0000;00(0):00-00.
  16. Robinson CN, Young JG, Ibbetson VJ. A study of the personal radiation dose received by nuclear medicine technologists working in a dedicated PET center. *Health Phys*. 2005;88(suppl 1):17S-21S.
  17. Masuda Y, Kondo C, Matsuo Y, Uetani M, Kusakabe K. Comparison of imaging protocols for 18F-FDG PET/CT in overweight patients: optimizing scan duration versus administered dose. *J Nucl Med*. 2009;50(6):844–8.