

Original Article **PET 검사실 종사자의 업무 행위 별 방사선피폭 조사에 따른 피폭선량 저감화를 위한 연구**

서울아산병원 핵의학과

고현수 · 김호성 · 남궁창경 · 윤순상 · 송재혁 · 류재광 · 정우영 · 장정찬

A study on the strategies to lower technologist occupational exposure according to the performance form in PET scan procedure

Hyun Soo Ko, Ho Sung Kim, Chang Kyeoung Nam-Kung, Soon Sang Yoon, Jae Hyuk Song, Jae Kwang Ryu, Woo Young Jung and Jung Chan Chang

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

Purpose For nuclear medicine technologists, it is difficult to stay away from or to separate from radiation sources comparing with workers who are using radiation generating devices. Nuclear medicine technologists work is recognized as an optimized way when they are familiar with work practices. The aims of this study are to measure radiation exposure of technologists working in PET and to evaluate the occupational radiation dose after implementation of strategies to lower exposure.

Materials and Methods We divided into four working types by QC for PET, injection, scan and etc. in PET scan procedure. In QC of PET, we compared the radiation exposure controlling next to ^{68}Ge cylinder phantom directly to controlling the table in console room remotely. In injection, we compared the radiation exposure guiding patient in waiting room before injection to after injection. In scan procedure of PET, we compared the radiation exposure moving the table using the control button located next to the patient to moving the table using the control button located in the far distance. PERSONAL ELECTRONIC DOSEMETER (PED), Tracerco™ was used for measuring exposed radiation doses.

Results The average doses of exposed radiation were 0.27 ± 0.04 μSv when controlling the table directly and 0.13 ± 0.14 μSv when controlling the table remotely while performing QC. The average doses of exposed radiation were 0.97 ± 0.36 μSv when guiding patient after injection and 0.62 ± 0.17 μSv when guiding patient before injection. The average doses of exposed radiation were 1.33 ± 0.54 μSv when using the control button located next to the patient and 0.94 ± 0.50 μSv when using the control button located in far distance while acquiring image. As a result, there were statistically significant differences ($P<0.05$). Conclusion: From this study, we found that how much radiation doses technologists are exposed on average at each step of PET procedure while working in PET center and how we can reduce the occupational radiation dose after implementation of strategies to lower exposure. And if we make effort to seek any other methods to reduce technologist occupational radiation, we can minimize and optimize exposed radiation doses in department of nuclear medicine.

Conclusion From this study, we found that how much radiation doses technologists are exposed on average at each step of PET procedure while working in PET center and how we can reduce the occupational radiation dose after implementation of strategies to lower exposure. And if we make effort to seek any other methods to reduce technologist occupational radiation, we can minimize and optimize exposed radiation doses in department of nuclear medicine.

Key Words Nuclear medicine technologist, Radiation exposure, Personal electronic dosimeter

서론

- Received: 2015. 4. 3 Accepted: 2015. 4. 30
- Corresponding author: **Hyun Soo Ko**
Department of Nuclear Medicine, Asan medical Center, 388-1,
Pungnap 2-dong, Songpa-gu, Seoul, Korea
Tel: +82-2-3010-2492, Fax: +82-2-3010-2308
E-mail: hyunsoo87@amc.seoul.kr

핵의학과 방사선 작업 종사자는 진단 방사선 발생장치를 사용하는 업무처럼 방사선원으로부터 완전히 격리된 공간에서 근무하거나, 선원과 거리를 멀게 유지하기가 쉽지 않다. 환

자에게 투여되는 개봉 방사선원이든 장비 정도 관리에 사용되는 밀봉 방사선원이든, 결국 방사성동위원소에 접근하여 다루어야 하기 때문에 방사선 피폭이 불가피하다^{1,2)}. 따라서 핵의학과 방사선 작업 종사자는 방사선원을 손으로 취급해야 하는 업무 특성상, 보이지 않는 방사선 피폭에 대하여 둔감해지는 경우가 발생한다^{3,4)}. 또한 본인이 시행하고 있는 업무 행위에 대해 익숙해지고 오랫동안 업무를 하게 되면, 시행하고 있는 업무가 최선의 방법이라 인식되는 경우가 발생할 수 있다. 하지만 조금만 더 관심을 가지고 업무 행위에 대해 살펴보면, 현재 시행하고 있는 방법 중에 개선해야 할 행동이 있을 수 있으며 피폭을 저감화 할 수 있는 다른 방법이 존재할 것이다^{5,6)}. 또한 핵의학과에서 근무하는 방사선 작업 종사자는 개인 피폭 방사선량의 평가 및 관리에 관한 규정⁷⁾에 따라 주기 별로(월별 또는 분기별) 개인 방사선 피폭 선량계를 이용하여 해당 기간의 총 방사선 피폭에 대하여 측정하고 있고, 그에 관련된 연구⁸⁻¹¹⁾는 이미 많이 시행되었지만, 개별적인 업무 행위 별로 얼마만큼의 방사선 피폭을 받는지 측정하고 확인 하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구의 목적은 PET 검사실에서 방사성동위원소를 이용하는 장비 정도 관리(Quality Control) 및 환자를 검사하는 행위마다 방사선피폭을 받는 선량을 측정해보고, 개선해야 할 업무 방법에 대해 모색하여 실제로 개선하였을 경우 피폭 선량의 변화를 조사해 보고자 한다.

실험 대상 및 방법

1. 업무 행위 별 분류에 따른 피폭 선량 측정

PET 검사실에서 시행 되는 업무 형태를 행위 별로 세 가지

의 주 업무와 기타 업무로 분류하였고(Table 1), 그 중에서 세 가지의 주 업무를 대상으로 행위 별로 시행되는 업무에 대해 각각 방사선 피폭량의 평균치와($\mu\text{Sv/person}$), 그 피폭을 경감하기 위한 방법은 어떤 것들이 있는지 모색해 보고, 서로 다른 업무 방법으로 시행 하였을 경우 피폭 선량의 차이를 조사하였다.

1) 일 별 정도 관리(Daily QC) 업무

PET/CT 장비 사용에 있어, 영상 품질 유지와 장비 최적화를 위해 각 장비 별 및 주기 별로 적합한 정도 관리를 시행하여야 한다. 장비 제조사와 장비 버전에 따라 시행하는 정도 관리 방법 및 시행 주기도 모두 다르지만, 이번 실험에서는 간헐적으로 시행하는 월 별, 분기 별, 년 별 정도 관리 항목 이외에, 매일 반복적으로 시행되는 일 별 정도 관리(Daily QC)에 대해 확인하고자 하였고, 그 중에서도 현재 서울 아산병원에서 가동하고 있는 장비 중, 특성상 ⁶⁸Ge cylinder phantom을 사용하는 Siemens 사의 PET/CT 장비를 대상으로 하였다.

Siemens 사의 장비는 일 별 정도 관리(Daily QC) 항목으로 ⁶⁸Ge cylinder phantom을 이용하여 PET의 정도 관리를 시행한다. 따라서 일 별 정도 관리 시행을 위해 저장함에 보관되어 있는 ⁶⁸Ge cylinder phantom을 이동하고, 장비 테이블 holder에 장착하여야 한다. Phantom을 이동하고, 위치를 맞추는 동안 ⁶⁸Ge 선원으로부터 피폭을 받게 된다. 이 과정에서 phantom 위치 조종 시에 장비 gantry에 있는 테이블 조종 버튼을 이용하여 직접 조종 하는 방법(a)과, 조종실로 이동하여 테이블을 원격으로 조종하는 방법(b), 두 가지 방법으로 나누어 비교하였다 (Fig. 1, 2).

Table 1. Classification of PET workflow

세 가지 주 업무	비교 업무
1. 일 별 정도 관리 업무	a. 테이블을 gantry에서 직접 조종 b. 테이블을 조종실에서 원격 조종
2. 주사 업무	a. 주사 전 대기 시 주의사항 및 대기실 안내 b. 주사 후 대기 시 주의사항 및 대기실 안내
3. 영상 획득 업무	a. 영상 획득 종료 후 환자 가까운 쪽의 테이블조종 버튼사용 b. 영상 획득 종료 후 환자 먼 쪽의 테이블조종버튼사용
	세부 사항
4. 기타 업무	a. 검사 종료 후 병동 복귀를 기다리는 환자로부터의 피폭 b. 주사기 및 주사바늘 등 폐기물 처리 c. 대기실 복도에서 환자와의 마주침 d. 싸이클로트론실로부터의 방사성동위원소 운반 e. 기타 정도 관리



Fig. 1. (a) ^{68}Ge cylinder phantom was controlled directly next to gantry.



Fig. 2. (b) ^{68}Ge cylinder phantom was controlled remotely in console room.

Table 2. Information of ⁶⁸Ge cylinder phantom for Daily PET QC

Model	PET 20C27/2
Nuclide	⁶⁸ Ge
Serial No.	G226
Volume	8550
μ value	0.103
Activity	92.5 MBq
Calibration date	2013 / July / 29



Fig. 3. ⁶⁸Ge cylinder phantom was used for Daily PET QC at Siemens PET/CT scanner.



Fig. 4. (a) The patient was guided to waiting room after injection.

⁶⁸Ge cylinder phantom을 이용한 PET 일 별 정도 관리(Daily QC) 업무 시 피폭 선량의 측정, 저장함에 저장 되어 있는 phantom의 반출 및 이동, 그리고 위치 조종 후 저장함으로의 반입까지의 과정 기간에 기록된 누적 피폭선량(μSv)을 측정 하였고, 두 가지 방법으로 한 명의 종사자가 정도 관리 업무를 각각 30회씩 시행하여 비교하였다.

Siemens 사의 PET 일 별 정도 관리(Daily QC)에 사용되는 ⁶⁸Ge cylinder phantom은 제조사가 권고하는 교체 주기에 따라¹²⁾, 서울아산병원에서도 18개월 마다 교체를 하고 있다. 실험을 시행한 2014년 8월의 ⁶⁸Ge cylinder phantom의 방사능은

약 36.1 MBq (0.98 mCi) 이었으며, ⁶⁸Ge cylinder phantom의 정보는 다음과 같다(Table 2, Fig. 3).

2) 주사 업무

PET 검사실에서 시행하는 업무 중, 방사성동위원소 주사 및 대기실로의 안내 과정은 PET 업무에서 많은 비중을 차지하고 있다¹³⁾. PET검사실의 여러 종사자 중에서도 업무 성향에 따라 주사 및 대기실로 안내 하는 방법이 조금씩 다를 수 있다.

PET 검사실에서 시행되는 일반적인 검사는 ¹⁸F-FDG를 이용한 검사로, 방사성의약품의 특성에 따라 ¹⁸F-FDG 투여 후



Fig. 5. (b) The patient was guided to waiting room before injection.

대기실에서 약 한 시간 정도 안정을 취해야 한다¹⁴⁾. 이 과정에서 주사 후에 환자를 대기실로 직접 안내하는 방법(a)과, 주사 전 대기실 및 주의 사항 등에 대해 안내 하여 환자와의 접촉을 줄이는 방법(b), 두 가지 방법으로 시행하여 피폭 선량을 비교 하였다(Fig. 4, 5).

주사 업무 시 피폭 선량의 측정은, ¹⁸F-FDG를 자동 분주기에서 분주하여 혈관 확보 및 동위원소 주입과 안내 후 사용한 주사기 처리까지의 과정 기간에 기록된 누적 피폭선량(μ Sv)을 측정하였다. 두 가지 방법으로 한 명의 주사 근무자가 각각 환자 30명씩 시행하여 비교하였다.

3) 영상 획득 업무

¹⁸F-FDG 투여 후 약 한 시간 정도 대기실에서 안정을 취하면, 검사를 위해 환자를 호출하여 검사실로 안내하고 PET/CT 장비 테이블에 환자를 위치시켜야 한다. 이 과정에서도 방사선원인 환자로부터 많은 양의 방사선 피폭을 받게 된다. 물론 피폭을 줄이기 위해 납 가운을 착용하고 업무 할 수도 있지만, PET 검사실에서 사용하는 방사성 핵종은 511 keV의 높은 에너지를 가진 감마선이 방출되기 때문에 차폐효과가 크지 않을 뿐더러¹⁵⁾, 많은 환자를 납 가운을 입고 상대하기에는 다소 무리가 있다.

현재 서울 아산병원 PET 검사실에서 운영 중인 PET/CT 장

비 중 Siemens 사의 장비는 검사 테이블을 gantry와 떨어진 조종실에서 조종이 가능하나, 다른 제조사인 GE사의 장비의 경우 검사 테이블의 조종을 위해서는 검사실에 들어가 gantry에 있는 조종 버튼을 이용하여 조종하여야만 한다. 따라서 이 과정에서도 많은 양의 피폭선량을 받게 되는데, 환자 바로 옆에 있는 조종 버튼을 사용 할 때(a)와, 환자로부터 떨어진 곳에서의 조종 버튼을 이용하여 검사 테이블을 조종 하였을 때(b) 얼마만큼의 차이가 있는지를 비교 하였다(Fig. 6, 7).

검사실로 안내 및 영상 획득 업무 시 피폭선량 측정은, 환자 호출 후 환자와 1차로 대면하여 피폭되는 영상 획득 전 피폭과, 영상 획득 종료 후 2차로 대면하여 피폭 되는 영상 획득 후 피폭으로 나누어 측정하고, 1차와 2차 과정에서 기록된 누적 피폭선량(μ Sv)을 측정하여 합산하였다. 두 가지 방법으로 한 명의 스캔 근무자가 각각 환자 30명씩 시행하여 비교하였다.

2. 개인전자선량계

이번 실험에서 피폭선량을 측정하기 위해 사용된 선량계는 Tracerco[™] 사의 ‘PERSONAL ELECTRONIC DOSEMETER(PED)’로, 사용 담당자의 흉부 위치에 착용 하여 사용 하였으며(Fig. 8) 선량계의 성능 사양은 다음과 같다(Table 3, Fig. 9).



Fig. 6. (a) The table was moved using the control button located next to the patient.



Fig. 7. (b) The table was moved using the control button located in the far distance.



Fig. 8. The technologist wears a PERSONAL ELECTRONIC DOSEMETER (PED) on the left chest area.



Fig. 9. PERSONAL ELECTRONIC DOSEMETER(PED) was used to measure occupational radiation dose manufactured by Tracerco™.

개인 전자 선량계(PED)는 최소 분 단위부터 시간 단위, 일 단위 별로 분류하여 데이터를 저장할 수 있으며, 공간 선량률 ($\mu\text{Sv/hr}$) 뿐만 아니라 단위 시간 당 누적 선량(μSv) 값으로도 확인이 가능하다. 측정된 피폭 선량은 엑셀 파일로 전환하여 분석이 가능하다(Fig. 10).

개인 전자 선량계의 교정은 제조사가 권고하는 주기¹⁶⁾를 준수하여 시행 후 사용하였다.

3. 통계분석

통계 분석은 세 가지 주 업무를, 행위 별로 분류한 두 가지 방법 간의 피폭선량 차이를 비교하기 위해 SPSS ver. 21 (IBM company, USA)을 이용해 독립 표본 t 검정을 시행하였다.

결 과

1. 업무 행위 별 피폭 선량

1) 일 별 정도 관리(Daily QC) 업무

⁶⁸Ge cylinder phantom을 이용한 PET 일 별 정도 관리(Daily

Table 3. Technical specifications of PED

Sensor	Single, energy compensated GM tube
Radiation type	X and gamma ray
Radiation dose rate	0.1 $\mu\text{Sv/hr}$ ~ 100 $\mu\text{Sv/hr}$
Measured radiation	Equivalent dose
Energy range	33 keV ~ 1.25 MeV
Units	Sieverts or Rem
Weight	160 g
Size	10 X 6 X 2 cm
Dose data log interval	Intelligent mode : log every 0.01 μSv Periodic mode : log every 1 minute

Date / Time	Dose in μSv
14-10-10 9:33 AM	0.0025
14-10-10 9:34 AM	0.0025
14-10-10 9:35 AM	0.00111
14-10-10 9:36 AM	0.00111
14-10-10 9:37 AM	0.02767
14-10-10 9:38 AM	0.55733
14-10-10 9:39 AM	0.70533
14-10-10 9:40 AM	0.09667
14-10-10 9:41 AM	0.00143
14-10-10 9:42 AM	0.00143
14-10-10 9:43 AM	0.00143
14-10-10 9:44 AM	0.00143

Background (0.00111, 0.00143)
Radiation exposure from any events (0.02767, 0.55733, 0.70533)

Fig. 10. We analyzed exposed radiation doses as an excel file from measured PED.

QC) 업무에서, phantom 위치 조종 시에 장비 gantry에 있는 테이블 조종 버튼을 이용하여 직접 조종 할 때(a)는 1회 시행 시 평균적으로 0.278 μSv 를 받았으며, 조종실로 이동하여 테이블을 원격으로 조종 할 때(b)는 평균적으로 0.135 μSv 의 피폭을 받았다(Table 4). (b)의 방법으로 정도 관리를 시행 하였을 경우 (a)의 방법으로 정도 관리를 시행 하였을 때보다 51% 피폭 감소 효과가 있었으며(Fig. 11), 두 가지 방법 간의 피폭 선량을 독립 표본 t 검정으로 그 차이를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$).

2) 주사 업무

방사성 동위원소 주사 및 대기실로 안내 업무에서, 주사 후에 환자를 대기실로 직접 안내하는 경우(a)에는 1회 주사 시 평

Table 4. The estimated radiation exposure at performing each QC scan

# of Times	(a) Eff. dose in controlling manually (μSv/scan)	(b) Eff. dose in controlling remotely (μSv/scan)	# of Times	(a) Eff. dose in controlling manually (μSv/scan)	(b) Eff. dose in controlling remotely (μSv/scan)
1	0.251	0.133	16	0.317	0.139
2	0.231	0.137	17	0.264	0.141
3	0.208	0.121	18	0.279	0.132
4	0.226	0.123	19	0.358	0.129
5	0.302	0.099	20	0.321	0.123
6	0.311	0.153	21	0.263	0.127
7	0.292	0.122	22	0.247	0.138
8	0.247	0.097	23	0.283	0.153
9	0.219	0.133	24	0.228	0.141
10	0.335	0.137	25	0.319	0.138
11	0.269	0.142	26	0.218	0.141
12	0.267	0.147	27	0.229	0.138
13	0.257	0.135	28	0.315	0.132
14	0.332	0.136	29	0.327	0.137
15	0.375	0.172	30	0.256	0.142
			Ave.	0.278	0.135

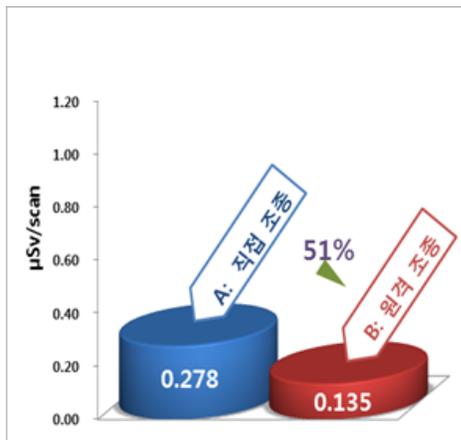


Fig. 11. We could reduce 51% of radiation exposure when controlling the table remotely than manually.

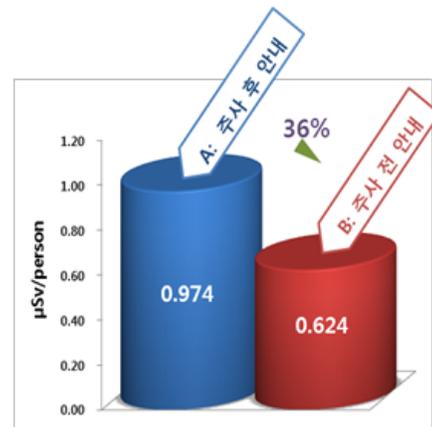


Fig. 12. We could reduce 36% of radiation exposure when guiding the patient to the waiting room before injection than after injection.

균적으로 0.974 μSv를 받았으며, 주사 전 대기실 및 주의 사항 등에 안내하여 환자와의 접촉을 줄이는 경우(b)에는 평균적으로 0.624 μSv의 피폭을 받았다(Table 5, 6). (b)의 방법으로 주사 및 대기실로 안내 하였을 경우 (a)의 방법으로 안내 하였을

때보다 36% 피폭 감소 효과가 있었으며(Fig. 12), 두 가지 방법 간의 피폭 선량을 독립 표본 t 검정으로 그 차이를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$).

Table 5. (a) The estimated radiation exposure at guiding the patient after injection

Pt.	Weight (kg)	Injection activity (MBq / mCi)	Eff. dose at injection (μ Sv/person)	Pt.	Weight (kg)	Injection activity (MBq / mCi)	Eff. dose at injection (μ Sv/person)
1	46.1	247.9 / 6.7	1.478	16	57.5	310.8 / 8.4	0.931
2	71.1	336.7 / 9.1	0.654	17	47.6	188.7 / 5.1	0.797
3	55.9	310.8 / 8.4	1.079	18	64.6	358.9 / 9.7	0.559
4	50.7	233.1 / 6.3	0.434	19	66.5	329.3 / 8.9	0.823
5	82.4	410.7 / 11.1	0.921	20	44.9	247.9 / 6.7	1.025
6	54.4	281.2 / 7.6	0.791	21	56.8	299.7 / 8.1	1.341
7	63.8	344.1 / 9.3	0.971	22	49.8	262.7 / 7.1	0.805
8	50.9	240.5 / 6.5	0.789	23	53.5	284.9 / 7.7	1.115
9	73.7	395.9 / 10.7	0.953	24	52.0	273.8 / 7.4	1.814
10	57.1	296.0 / 8.0	0.926	25	58.0	299.7 / 8.1	0.589
11	78.3	388.5 / 10.5	1.128	26	61.6	347.8 / 9.4	1.093
12	57.6	266.4 / 7.2	0.818	27	52.5	262.7 / 7.1	0.478
13	80.5	425.5 / 11.5	1.772	28	78.9	407.0 / 11.0	0.988
14	48.1	255.3 / 6.9	0.776	29	56.5	296.0 / 8.0	1.345
15	49.6	244.2 / 6.6	0.515	30	84.4	436.6 / 11.8	1.524
				Ave.	60.2	310.8 / 8.4	0.974

Table 6. (b) The estimated radiation exposure at guiding the patient before injection

Pt.	Weight (kg)	Injection activity (MBq / mCi)	Eff. dose at injection (μ Sv/person)	Pt.	Weight (kg)	Injection activity (MBq / mCi)	Eff. dose at injection (μ Sv/person)
1	43.7	247.9 / 6.7	0.429	16	60.9	333.0 / 9.0	0.378
2	60.2	288.6 / 7.8	0.632	17	52.9	299.7 / 8.1	0.491
3	56.6	307.1 / 8.3	1.235	18	71.4	362.6 / 9.8	0.470
4	67.0	370.0 / 10.0	1.324	19	58.5	321.9 / 8.7	0.457
5	44.1	247.9 / 6.7	0.461	20	73.6	366.3 / 9.9	0.684
6	62.4	347.8 / 9.4	0.437	21	61.7	329.3 / 8.9	0.229
7	58.7	303.4 / 8.2	0.528	22	58.1	299.7 / 8.1	0.218
8	67.4	318.2 / 8.6	0.774	23	68.4	384.8 / 10.4	0.795
9	50.2	210.9 / 5.7	0.742	24	66.6	333.0 / 9.0	0.470
10	70.4	373.7 / 10.1	0.508	25	54.0	277.5 / 7.5	0.268
11	56.6	303.4 / 8.2	0.591	26	54.3	284.9 / 7.7	0.381
12	59.9	299.7 / 8.1	0.546	27	66.6	325.6 / 8.8	0.586
13	72.2	395.9 / 10.7	1.415	28	53.7	288.6 / 7.8	0.498
14	53.4	299.7 / 8.1	1.056	29	79.2	410.7 / 11.1	1.125
15	55.5	325.6 / 8.8	0.447	30	58.9	321.9 / 8.7	0.557
				Ave.	60.6	318.2 / 8.6	0.624

Table 7. (a) The estimated radiation exposure at controlling the button located next to the patient

Pt.	Weight (kg)	Injection activity MBq / mCi	Scan Start	Eff. dose before acquiring the image ($\mu\text{Sv}/\text{person}$)	Scan End	Eff. dose after acquiring the image ($\mu\text{Sv}/\text{person}$)	Total eff. dose ($\mu\text{Sv}/\text{person}$)
1	54.9	292.3 / 7.9	8:59	0.442	9:13	0.286	0.728
2	52.2	277.5 / 7.5	9:18	0.542	9:32	0.358	0.900
3	63.0	296.0 / 8.0	9:37	0.705	9:51	0.145	0.850
4	61.7	284.9 / 7.7	10:04	0.708	10:18	0.336	0.414
5	57.3	251.6 / 6.8	10:22	0.521	10:36	0.628	1.149
6	87.5	447.7 / 12.1	10:40	0.604	10:56	0.168	0.772
7	48.8	284.9 / 7.7	11:19	0.458	11:33	0.559	1.017
8	51.0	273.8 / 7.4	11:41	0.780	11:56	0.826	1.606
9	55.6	281.2 / 7.6	12:20	0.418	12:34	0.286	0.704
10	45.3	240.5 / 6.5	13:05	0.605	13:19	0.564	1.169
11	85.4	403.3 / 10.9	13:41	0.469	13:57	0.246	0.715
12	57.5	292.3 / 7.9	14:10	0.345	14:26	0.445	0.790
13	58.7	281.2 / 7.6	14:56	0.119	15:10	0.318	0.437
14	58.4	303.4 / 8.2	15:21	0.135	15:35	0.414	0.549
15	74.3	403.3 / 10.9	8:50	0.927	9:05	0.824	1.751
16	62.3	288.6 / 7.8	9:18	0.887	9:32	0.932	1.819
17	72.9	381.1 / 10.3	9:37	0.785	9:53	0.782	1.567
18	63.3	329.3 / 8.9	10:14	0.789	10:30	0.617	1.406
19	73.9	395.9 / 10.7	10:35	0.882	10:51	0.537	1.419
20	66.5	318.2 / 8.6	11:11	1.124	11:27	0.968	2.092
21	74.3	355.2 / 9.6	11:33	1.035	11:49	0.855	1.890
22	47.4	273.8 / 7.4	11:53	0.982	12:07	1.204	2.186
23	51.0	299.7 / 8.1	12:13	1.280	12:29	0.853	2.133
24	72.6	373.7 / 10.1	12:52	0.886	13:08	0.743	1.629
25	66.9	333.0 / 9.0	13:19	0.935	13:35	0.934	1.869
26	72.6	344.1 / 9.3	13:44	0.915	14:00	0.725	1.640
27	63.0	292.3 / 7.9	14:43	1.170	14:57	0.959	2.129
28	59.4	292.3 / 7.9	9:31	0.698	9:47	0.782	1.480
29	67.2	318.2 / 8.6	9:48	1.027	10:02	0.625	1.652
30	52.7	251.6 / 6.8	14:11	0.481	14:27	0.662	1.143
Ave.	62.6	314.5 / 8.5	-	0.701	-	0.619	1.320

3) 영상 획득 업무

검사실로 안내 및 영상 획득 업무에서, 영상 획득 후 환자 바로 옆에 있는 조종 버튼을 사용하여 테이블을 조종 하였을 때 (a)는 1회 스캔 시 평균적으로 1.320 μSv 를 받았으며, 환자로부터 멀리 떨어진 곳에서의 조종 버튼을 이용하여 검사 테이블을 조종 하였을 때(b)는 평균적으로 0.947 μSv 의 피폭을 받았다(Table 7, 8). (b)의 방법으로 검사실로 안내 및 영상 획득을 하였을 경우 (a)의 방법으로 검사실로 안내 및 영상 획득을 하였을 때보다 28% 피폭 감소 효과가 있었으며(Fig. 13), 두 가지 방법 간의 피폭 선량을 독립 표본 t 검정으로 그 차이를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$).

고 찰

서울아산병원 PET 검사실에서 시행하는 ^{18}F -FDG PET 검사 업무를 행위 별로 분류하여, 각 행위를 시행 할 때마다 얼마만큼의 방사선 피폭을 받는지를 조사해 보았다. 각 병원마다의 검사실 환경과 검사 시행 방법이 조금씩 다를 수 있기 때문에, 본 논문에서 실험하여 얻은 결과가 모든 병원에서 똑같은 피폭을 받는다고 가정 할 수는 없다. 하지만 검사 환경과 투여 선량 등 검사 시행 방법을 각 병원과 대조하여 비교한다면 참고적인 수치로 사용 될 수 있을 것이라고 생각된다.

업무 행위 별로 분류 한 항목 중 PET의 일 별 정도 관리 업무는, 장비 특성에 따라 ^{68}Ge cylinder phantom을 직접 손으로 이

Table 8. (b) The estimated radiation exposure at controlling the button located in the far distance from patient

Pt.	Weight (kg)	Injection activity MBq / mCi	Scan Start	Eff. dose before acquiring the image ($\mu\text{Sv}/\text{person}$)	Scan End	Eff. dose after acquiring the image ($\mu\text{Sv}/\text{person}$)	Total eff. dose ($\mu\text{Sv}/\text{person}$)
1	40.9	203.5 / 5.5	8:38	0.687	8:52	0.089	0.776
2	73.1	407.0 / 11.0	9:03	0.797	9:19	0.318	1.115
3	62.3	292.3 / 7.9	10:01	0.520	10:15	0.286	0.806
4	64.5	307.1 / 8.3	10:19	0.613	10:35	0.332	0.945
5	56.3	314.5 / 8.5	10:41	0.751	10:55	0.293	1.044
6	60.2	299.7 / 8.1	12:15	0.330	12:27	0.215	0.545
7	63.0	333.0 / 9.0	12:31	0.392	12:45	0.131	0.523
8	74.6	358.9 / 9.7	14:54	0.570	15:10	0.224	0.794
9	75.2	351.5 / 9.5	16:07	0.770	16:25	0.209	0.979
10	63.2	314.5 / 8.5	8:56	0.828	9:10	0.215	1.043
11	66.7	329.3 / 8.9	9:44	0.823	10:00	0.298	1.121
12	64.6	307.1 / 8.3	10:05	0.633	10:21	0.149	0.782
13	61.9	307.1 / 8.3	10:43	0.325	10:57	0.165	0.490
14	61.8	325.6 / 8.8	14:09	0.562	14:25	0.388	0.950
15	60.8	329.3 / 8.9	15:58	0.421	16:12	0.213	0.634
16	57.0	310.8 / 8.4	11:58	0.245	12:12	0.080	0.325
17	53.1	296.0 / 8.0	12:50	0.395	13:04	0.189	0.584
18	47.1	284.9 / 7.7	13:08	0.338	13:22	0.070	0.408
19	66.8	358.9 / 9.7	14:28	1.920	14:44	0.800	2.720
20	52.6	284.9 / 7.7	15:45	0.832	15:59	0.217	1.049
21	59.1	325.6 / 8.8	16:04	0.395	16:18	0.114	0.509
22	69.6	313.7 / 10.1	9:38	1.486	9:52	0.473	1.959
23	48.8	236.8 / 6.4	10:17	0.464	10:29	0.323	0.787
24	59.6	307.1 / 8.3	11:45	0.409	11:57	0.071	0.480
25	59.1	314.5 / 8.5	12:23	0.651	12:37	0.161	0.812
26	61.7	325.6 / 8.8	12:46	0.571	13:00	0.274	0.845
27	68.2	355.2 / 9.6	15:25	0.817	15:39	0.539	1.356
28	46.4	236.8 / 6.4	15:49	1.153	16:01	0.408	1.561
29	71.5	377.4 / 10.2	16:06	0.600	16:22	0.142	0.742
30	68.2	329.3 / 8.9	16:55	1.215	17:09	0.498	1.713
Ave	61.3	318.2 / 8.6	-	0.684	-	0.263	0.947

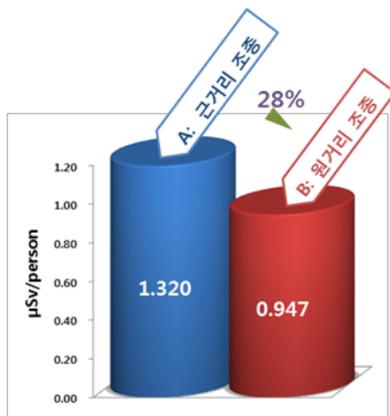


Fig. 13. We could reduce 28% of radiation exposure when controlling the button located next to the patient than located in the far distance.

동하여 시행하는 장비가 있는 반면, 장비 Gantry 안에 내장 되어 있는 선원을 이용하여 정도 관리 시행 시 피폭이 없는 장비도 있다. 그 중에서, 이번 실험은 ^{68}Ge cylinder phantom을 직접 이동하여 사용하는 특정 장비만을 대상으로 하였다. 실험 기간의 ^{68}Ge cylinder phantom의 방사능은 36.1 MBq (0.98 mCi) 정도로 높은 방사능은 아니지만, 매일 시행해야 하는 항목이며 선원과 매우 근접하여 이동하여야 하기 때문에, 1회 정도 관리 시행 시 어느 정도의 방사선 피폭을 받는지 확인해 보고자 하였다.

이번 실험에서는 세 가지의 주 업무(일별 정도 관리, 주사, 영상 획득) 행위만의 피폭 선량을 측정하였지만, 기타 업무(검사 종료 후 병동 복귀를 기다리는 환자로부터의 피폭, 주사기 및 주사바늘 등 폐기물 처리, 대기실 복도에서 환자와의 마주

침, 싸이클로트론실로부터의 방사성동위원소 운반, 기타 정도 관리)에 포함되는 행위들에 대한 피폭도 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

각 업무 행위 별로, 한 명의 종사자만 선정하여 실험을 진행하였지만 추후에는 국한된 직원뿐 아니라, 검사실 모든 직원들을 대상으로 실험을 시행한다면 더 객관적인 결과를 얻을 수 있을 것이며, 종사자들 사이에서의 비교도 가능 할 것으로 생각된다. 또한, 핵의학과 종사자 중 비교적 피폭이 많은 PET 검사실 업무를 대상으로 측정하여 비교하였지만, 감마 카메라를 사용하는 검사실에 확대 적용하여 실험한다면, 핵의학과 방사선 작업 종사자들의 근무지 및 각 업무 행위 별 피폭 정도에 대한 참고자료를 확립 할 수 있을 것으로 생각된다.

결 론

PET/CT 검사의 피폭선량을 줄이기 위한 다양한 방법들(방사성 동위원소 투여 선량 감소, 장비 software 및 hardware upgrade)¹⁷⁻¹⁹⁾이 개발되고 있지만, PET 검사실에서 근무하는 작업 종사자의 피폭 저감화 노력에는 비교적 관심이 적을 수 있다.

작업 종사자의 피폭 저감화라는 것은 여러 업무 행위들을 세분화 시켰을 때, 각 행위 별로 얼마만큼의 피폭을 받고 있는 지에 대해 인지하는 것이 첫 번째 단계라고 생각하고, 그 행위 별로 받는 피폭을 줄일 수 있는 방안에 대해 고민하고 개선하는 것이 피폭을 경감할 수 있는 다음 단계라고 생각한다. 이번 실험을 통해 PET 검사의 업무 행위 별로 1회 시행 시 어느 정도의 피폭을 받는지를 평균적으로 확인 할 수 있었고, 행위 별로 업무 방식을 나누어 비교하여 얼마만큼의 피폭 차이가 발생하는지도 확인 할 수 있었다. 비록 같은 업무라 하더라도 개인 성향이나 습관에 따라 업무 방식이 다를 수 있을 뿐만 아니라, 피폭을 최소화 하기 위한 업무 방법이 어떤 것인지 이론적으로는 잘 알고 있음에도 그렇게 실천하지 않는 경우가 있을 수 있다. 본 실험에서 비교한 업무 방법 이외에도 추가적으로 피폭을 경감 할 수 있는 행위 별 방법을 더 모색한다면 PET 업무뿐만 아니라 핵의학 검사에 있어 방사선 작업 종사자의 피폭을 최소화 할 수 있을 것으로 사료 된다.

요 약

핵의학과 방사선 작업 종사자는 진단 방사선 발생장치를 사용하는 업무처럼 방사선원으로부터 완전히 격리 된 공간에서 근무하거나, 선원과의 거리를 멀게 유지하기가 쉽지 않다. 또

한 종사자는 시행하고 있는 업무 행위에 대해 익숙해지고 오랫동안 업무를 하게 되면, 본인이 시행하고 있는 업무가 최적화된 방법이라고 인식되는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 방사성동위원소를 이용하는 환자 검사 및 정도 관리 행위마다 얼마만큼의 방사선피폭을 받는 지를 측정해보고, 개선 해야 할 업무 방법에 대해 모색하여 실제로 개선 하였을 경우 피폭 선량의 차이는 얼마나 되는지를 조사해 보고자 한다. PET 검사실에서 시행 되는 업무 형태를 행위 별로 장비 정도 관리, 주사, 영상획득, 기타 사항으로 크게 네 가지로 분류 하였다. 장비 정도 관리 업무에서는 ⁶⁸Ge cylinder phantom을 이용한 일 별(Daily) 정도 관리 중 테이블을 직접 조종 하는 방법과 조종실에서 원격으로 조정하는 두 가지 방법으로, 주사 업무에서는 주사 전 안내와 주사 후 안내 두 가지 방법으로, 영상획득 업무에서는 환자 바로 옆에 있는 테이블 조종 버튼을 사용하는 방법과 멀리 떨어진 곳에서의 버튼을 사용하는 방법 두 가지로 나누어 실험하여 비교하였다. 행위 별 누적 피폭 선량을 측정하기 위해 시간 별 피폭 누적치(μSv) 측정이 가능한 Tracerco 사의 'PERSONAL ELECTRONIC DOSEMETER (PED)'를 사용하였다. ⁶⁸Ge cylinder phantom을 이용한 일 별 정도 관리(Daily QC) 업무에서 테이블을 직접 조종 하는 경우에는 1회당 평균 $0.27 \pm 0.04 \mu\text{Sv}$ 를, 조종실에서 원격으로 조정 하는 경우에는 평균 $0.13 \pm 0.14 \mu\text{Sv}$ 의 피폭을 받았다. 주사 업무에서는 주사 후 안내 시 한 명당 평균 $0.97 \pm 0.36 \mu\text{Sv}$ 를, 주사 전 안내 시에는 $0.62 \pm 0.17 \mu\text{Sv}$ 의 피폭을 받았다. 또한 영상획득 업무에서는 환자 바로 옆 테이블 조종 버튼 사용 시 한 명당 평균 $1.33 \pm 0.54 \mu\text{Sv}$ 를, 멀리 떨어진 곳의 버튼 사용 시 $0.94 \pm 0.50 \mu\text{Sv}$ 의 피폭을 받았다. 이는 모두 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 실험을 통해 PET 검사의 업무 행위 별로 1회 시행 시 어느 정도의 피폭을 받는지를 평균적으로 확인 할 수 있었고, 행위 별로 업무 방식을 나누어 비교하여 얼마만큼의 피폭 차이가 발생하는지도 확인 하였다. 같은 업무라 하더라도 개인 성향이나 습관에 따라 업무 방식이 다를 수 있고, 피폭을 최소화 하기 위한 업무 방법이 어떤 것인지 인식 하고 있음에도 그렇게 실천하지 않는 경우도 있다. 본 실험에서 비교한 업무 방법 이외에 더 추가적으로 피폭을 저감화 할 수 있는 방법을 더 모색한다면 PET 업무뿐만 아니라 핵의학 검사에 있어 방사선 작업 종사자의 피폭을 최소화 할 수 있을 것으로 사료 된다.

REFERENCE

1. J. St Germain. The radioactive patient. *Semin. Nucl Med*, Vol. 16, No. 3, pp. 179-183, 1986.
2. G. Cabral, A. Amaral, L. Campos and M. I. Guimaraes. Investigation of maximum doses absorbed by people accompanying patients in nuclear medicine departments. *Radiation protection dosimetry*, Vol. 101, No. 1, pp. 435-438, 2002.
3. Robinson, C. N., Young, J. G., Wallace, A. B. and Ibbetson, V. J. A study of the personal radiation dose received by nuclear medicine technologists working in a dedicated PET center. *Radiat. Safety J.* 88(Suppl. 1), 17-21 (2005).
4. Benatar, N. A., Cronin, B. F. and O'Doherty, M. J. Radiation dose rates from patients undergoing PET: implications for technologists and waiting areas. *Eur. J. Nucl. Med.* 27, 583-589 (2000).
5. Roberts, F. O., Gunawardana, D. H., Pathmaraj, K., Wallace, A., PL, U., Mi, T., Berlangieri, S. U., O'Keefe, G. J., Rowe, C. C. and Scott, A. M. Radiation dose to PET technologists and strategies to lower occupational exposure. *J. Nucl. Med. Technol.* 33(1), 44-47 (2005).
6. Bixler A, Springer G, Lovas R. Practical aspects of radiation safety for using fluorine-18. *J Nucl Med Technol.* 1999;27:14-17.
7. 원자력 안전법 시행규칙. 개인 피폭방사선량의 평가 및 관리에 관한 규정. 7월, 2013.
8. White S, Binns D, Johnston V, et al. Occupational exposure in nuclear medicine and PET. *Clin Positron Imaging.* 2000;3:127-129.
9. 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;24:1380-1389.
10. Linemann H, Will E, Beuthien-Baumann B. Investigations of radiation exposure of the medical personnel during F-18-FDG PET studies [in German]. *Nuklearmedizin.* 2000;39:77-81.
11. 임창선, 김세현. 핵의학과에서 방사선 피폭관리 실태에 대한 조사 연구. *한국산학기술학회논문지*10(7):1760, 2009.
12. Abdelfatihe Belakhlef, Clifford Church, Ron Fraser and Suresh Lakhanpal. Sensitivity and Daily Quality Control of a Mobile PET/CT Scanner Operating in 3-Dimensional Mode. *J. Nucl. Med. Technol.* December 2007 vol. 35 no. 4 229-231.
13. 길상형 외 9명. 핵의학 체내검사 업무 단계 별 피폭선량 측정 및 분석을 통한 피폭선량 감소 방안. *J Nucl Med Technol.* Vol. 14, No. 2, Oct 2010.
14. Dominique Delbeke, R. Edward Coleman, Milton J. Guiberteau, Manuel L. Brown, Henry D. Royal, Barry A. Siegel, David W. Townsend, Lincoln L. Berland, J. Anthony Parker, Karl Hubner, Michael G. Stabin, George Zubal, Marc Kachelriess, Valerie Cronin, and Scott Holbrook. Procedure Guideline for Tumor Imaging with 18F-FDG PET/CT1.0*. <http://www.snm.org/guidelines>.
15. Guillet B, Quentin P, Waultier S, Bourrelly M, Pisano P, Mundler O. Technologist radiation exposure in routine clinical practice with 18F-FDG PET. *J Nucl Med Technol.* 2005 Sep;33(3):175-9.
16. Tracerco™ PERSONAL ELECTRONIC DOSEMETER (PED) User Manual. P.24.
17. David W. Cheng, Devrim Ersahin, Lawrence H. Staib, Daniele Della Latta, Assuero Giorgetti, and Francesco d'Errico. Using SUV as a Guide to 18F-FDG Dose Reduction. *J Nucl Med* 2014;55: 1998-2002.
18. Christian Wülker, Arkadiusz Sitek, Sven Prevrhal. Time-of-flight PET image reconstruction using origin ensembles. *Phys. Med. Biol.* 60 (2015) 1919-1944.
19. Ren S, Yang Y, Cherry SR. Effects of reflector and crystal surface on the performance of a depth-encoding PET detector with dual-ended readout. *Med Phys.* 2014 Jul;41(7):072503.