

Original Article

## PET 검사 프리시저별 방사선 차폐기구의 유용성 평가

단국대학교병원 핵의학과, 단국대학교병원 영상의학과<sup>1</sup>, (주)서울방사선서비스<sup>2</sup>, 대한 핵의학회<sup>3</sup>  
김영선 · 서명덕 · 이완규 · 정요천<sup>1</sup> · 김상욱<sup>2</sup> · 서일택<sup>3</sup> · 송재범

### The Usefulness Evaluation of Radiation Shielding Devices in PET Scan Procedures

Yeong Seon Kim, Myeong Deok Seo, Wan Kyu Lee, Yo Cheon Jeong<sup>1</sup>, Sang Wook Kim<sup>2</sup>,  
Il Teak Seo<sup>3</sup> and Jae Beom Song

Department of Nuclear Medicine and <sup>1</sup>Radiology, Dankook University Hospital, Seoul Radiology Service Co. Ltd<sup>2</sup>,  
The Korean Society of Nuclear Medicine<sup>3</sup>, Cheonan, Korea

**Purpose:** The use of PET scanners and the number of patient in Korea have been increased for recent several years dramatically. For this reason, technologists have more possibilities to be exposed to the radiation. The hospitals using PET scanners should make an effort to reduce the radiation exposure dose. The purpose of this study was to evaluate the radiation exposure dose when using radiation shielding devices. The evaluation was performed through questionnaire survey and experiment. **Materials and Methods:** First, the technologists who had experience working in PET center in 2008-2009 were surveyed with questionnaire and TLD Figures, personal opinion of utilization of radiation shielding devices are analyzed. Second, we measured the shielding rate of shielding devices which have been using in PET study procedures. We divided the procedures into four steps; distribution, moving, injection of <sup>18</sup>F-FDG and patient setup. **Results:** First, the results of this survey, using of L-block+Syringe shield, L-block, Syringe shield, No shield during the injection, were each 58.5%, 20%, 9%, 12.3%. The TLD values according to utilization of radiation shield, using both L-block+Syringe Shield and L-block showed the lower TLD values, and Syringe shield only or No shield showed the higher TLD values. Second, the results of experiments according to PET study procedures measured the shielding rates as follows. The shielding rates during the distribution using L-block, L-block+Apron shield were measured 97.4%, 97.7%. The shielding rates during the <sup>18</sup>F-FDG delivery to the injection room using mobile Syringe shield, Syringe holder, Syringe shield carrier were each 81.7%, 98.9%, 99.7%. The shielding rates during the injection using Syringe shield, L-block, L-block+Syringe shield were measured each 51.9%, 98.3%, 98.7%. The shielding rates of Apron were measured in each 30, 60, 90, 120, 150 cm distance. The measurement were each 16.9%, 14.2%, 16.6%, 17.1%, 18.1%, 18.6%. **Conclusion:** The most effective method for radiation shielding is to using L-block during the <sup>18</sup>F-FDG distribution and Syringe shield carrier during in moving <sup>18</sup>F-FDG. For the <sup>18</sup>F-FDG injection, L-block+Syringe shield have to be used. The shielding effect of Apron has shown average 16.4%. According to the survey of questionnaire, the operators recognized well risk of the radiation exposure but, tended ignore in working. The radiation dose according to recognition of radiation exposure risk was not relevant. but radiation dose according to utilization of radiation shield lower the more use it. The main reason of no use of shielding devices is cumbersome, 55% of the respondents answered. I'm sure, by use of radiation shield in all PET procedure, radiation exposure will be reduced considerably. (**Korean J Nucl Med Technol 2010;14(2):65-76**)

**Key Words :** PET, Radiation Shield, Radiation Exposure

- Received: August 18, 2010. Accepted: August 31, 2010.
- Corresponding author: **Jae Beom Song**  
Department of Nuclear Medicine, Dankook University Hospital,  
359 Manghyang-ro, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam, Korea  
Tel: +82-41-550-6958, Fax: +82-41-550-6955  
E-mail: jbsong@dkuh.co.kr

## 서론

최근 건강에 대한 관심이 고조되면서 의료기관에서 방사선을 이용한 검사가 급증하고 있다. 특히 PET을 이용한 핵

의학 진료와 연구 활동은 기기 및 방사성의약품의 개발에 힘입고 임상적인 효율성 및 그 가치가 증명되면서 기하급수적으로 늘어나고 있다. PET을 이용한 진료 활동이 확대되면서 검사에 사용되는 고에너지 방사선방출핵종인 <sup>18</sup>F-FDG의 사용 또한 급증하였다(Table 1). 이는 검사에 깊이 관여하는 방사선사의 개인피폭선량이 높아지는 요인으로 작용할 것으로

생각된다. 방사선사의 피폭 노출이 많아짐에 따라 고에너지 방사선핵종으로부터의 피폭 저감을 위한 노력이 요구된다. 방사선 피폭을 감소시키기 위해서는 방사선 방어의 원칙인 시간, 거리, 차폐를 이용한다. 시간을 줄이면 피폭선량은 선형적으로 비례하여 감소한다. 거리는 방사선 방위에 가장 중요한 요소가 된다. 선원과 작업종사자와의 거리를 증가시키면 거리 역자승의 법칙에 의해 피폭선량은 감소된다. 하지만 모든 방사선 작업에서 시간을 줄이거나 거리를 증가시키는 방법은 한계가 있으므로 차폐가 반드시 필요하다. 특히 PET에서 사용되는 고에너지 핵종의 경우, 차폐기구의 사용은 필수적이라 할 수 있다. 하지만 방사선의 에너지가 높아질수록 차폐기구가 두껍고 무거워지기 때문에 사용을 기피하게 된다. 본 연구에서는 설문조사를 통하여 PET 검사 프러시저별 차폐기구의 활용에 따른 방사선 피폭 정도를 TLD 수치를 이용하여 분석하고, 실험을 통하여 각 차폐기구의 차폐율을 측

**Table 1.** The number of PET study by years

연도	PET 보유현황(대)	검사 현황(건)	<sup>18</sup> F-FDG 사용량(TBq)
2003	27	20,721	4,835,159
2004	41	37,805	14,052,748
2005	54	57,031	21,998,957
2006	66	100,530	30,771,790
2007	97	184,824	52,033,951
2008	127	248,935	70,309,398
2009	143	308,663	105,327,745

**Table 2.** An outline of survey method

구 분	내 용
조사목적	프러시저별 방사선 차폐기구의 활용도에 따른 방사선 피폭 정도를 TLD 수치를 통해 분석하여 차폐의 유용성 평가
조사개요	방사선 방호에 대한 인식도 조사 및 프러시저별 방사선 차폐기구의 사용현황 조사
조사대상	2008-2009년 사이에 2분기 이상 PET 검사실에서 근무경험이 있는 방사선사
조사지역	PET이 설치되어 운영 중인 전국 의료기관
조사방법	설문지를 통한 e-mail 조사 (전화, 우편조사 병행)
조사기간	2010년 2월 16일 - 3월 5일
분석기법	빈도분석 및 분산분석

**Table 3.** The survey design

조사 영역	조사 문항	소계	
조사영역 I : 방사선 방호에 대한 인식도	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 방사선 피폭의 위험성에 대한 인식도</li> <li>■ 프러시저 중 피폭이 가장 많을 것 같은 과정</li> <li>■ 방사선 차폐기구의 활용도</li> <li>■ 방사선 차폐기구를 사용하지 않게 되는 이유</li> </ul>	4	
조사영역 II : 프러시저별 차폐방법 및 활용도	분배	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <sup>18</sup>F-FDG 분배시 차폐방법</li> <li>■ 일일 분배 횟수</li> </ul>	2
	이동	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <sup>18</sup>F-FDG 이동시 차폐방법</li> <li>■ 분배실에서 주사실까지 거리</li> </ul>	2
	투여	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <sup>18</sup>F-FDG의 투여 담당자</li> <li>■ <sup>18</sup>F-FDG의 투여 횟수</li> <li>■ <sup>18</sup>F-FDG의 투여시 혈관 확보방법</li> <li>■ <sup>18</sup>F-FDG의 투여시 차폐방법</li> </ul>	4
	포지셔닝	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 일일 평균 환자 포지셔닝 횟수</li> <li>■ 차폐방법</li> </ul>	2
조사영역 III : 방사선 피폭 정도	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 해당 기간 동안의 근무지</li> <li>■ 해당 기간 동안 분기별 TLD 수치</li> </ul>	2	
합 계	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기본 문항 : 16문항 / ■ 인적요인 문항 : 8문항</li> <li>■ 총 문항 : 24문항</li> </ul>		

정함으로써 그 효용성을 입증하여 적합한 차폐방법을 강구하고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 설문조사

#### 1) 개요

의료기관의 PET 센터에서 근무하는 방사선사의 방사선 방호에 대한 인식도 및 방사선 차폐기구의 활용도를 알아보기 위해 설문 조사를 실시하였다. 조사대상은 PET이 설치 운영되고 있는 전국 30개 의료기관으로, 2008년부터 2009년 사이에 2분기 이상 PET 검사를 시행한 경험이 있는 방사선사를 대상으로 하였다. 조사방법은 이메일조사를 기본으로 우편조사와 전화조사를 병행하였으며, 2010년 2월 16일부터 2010년 3월 5일까지 실시하였다(Table 2, 3).

### 2. 실험

#### 1) 개요

설문조사를 바탕으로 각 프러시저별로 선정한 차폐기구의 차폐율을 방사선 공간선량계를 이용하여 측정하였다. 방사성의약품은  $^{18}\text{F}$ -FDG 296 MBq (8.0 mCi)를 분배하여 측정에 사용하였으며, 측정 오차범위를  $\pm 7.4$  MBq (0.2 mCi)까지 허용하였다. 차폐율은 무차폐시에 측정된 공간 선량률과 차폐기구를 사용하여 측정된 공간 선량률로부터 산출하였다.

$$\text{차폐율(\%)} = \frac{[\text{무차폐시 공간선량률}] - [\text{차폐기구 사용시 공간선량률}]}{[\text{무차폐시 공간선량률}} \times 100$$

#### 2) 실험기기 및 재료

- $^{18}\text{F}$ -FDG
- PET/CT 장비(Philips Gemini GXL6)

- 비례계수식 Digital surveymeter (FH-40G, Eberline)
- L-block(10cmPb), Syringe shield (9mmW, Pro-Tec), Syringe Holder (8mmPb, Biodex), Syringe shield carrier (7mmPb, Biodex), Apron 0.5mmPb eq. (Biodex)
- Injection stand, 3-way set, 줄자, 이동식 테이블 등

#### 3) 실험 방법

①  $^{18}\text{F}$ -FDG 분배 시에 사용되는 차폐기구의 차폐율 측정  
분배 시에 사용 가능한 차폐기구를 L-block과 Apron으로 선정하여  $^{18}\text{F}$ -FDG 296 MBq (8.0 mCi)를 분배할 경우의 공간 선량률을 측정하였다. No shield, L-block 그리고 L-block과 Apron을 함께 사용한 경우를 각각 20회씩 측정하였다 (Table 4).

②  $^{18}\text{F}$ -FDG의 이동시에 사용되는 차폐기구의 차폐율 측정  
이동에 사용 가능한 차폐기구인 Syringe holder, Syringe shield, Syringe shield carrier의 차폐율을 측정하였다. 각 차폐기구의 차폐율을 정확하게 측정하기 위해  $^{18}\text{F}$ -FDG의 방사능을 37-370 MBq (1-10 mCi)로 세분화하였다. 측정은 차폐기구로부터 30 cm 거리에서 각각 10회씩 측정하였다(Table 5).

③  $^{18}\text{F}$ -FDG의 투여 시에 사용되는 차폐기구의 차폐율 측정  
투여에 사용되는 차폐기구는 Syringe shield와 L-block 두 가지를 선정하여 각각 사용하는 경우와 두 가지를 함께 사용하는 경우(Both shield)에 대해 측정하였으며, 투여 전 차폐율과 투여 중 차폐율을 각각 측정하였다. 투여 전 차폐율은 선원을 차폐기구에 위치시킨 채로 측정하였고(Table 6), 투여 중 차폐율은 실제로 환자에게 투여하면서 투여 시작과 투여 중 그리고 투여 종료로 나누어 측정하였다. 투여 방법은 extravasation을 방지하기 위해서 먼저 Heparin cap을 이용하여 line을 확보한 후에 설문결과에서 빈도가 높았던 방법으로 3-way set을 써서 투여하였다(Table 7).

Table 4. The shielding rates of shield used to distribution of  $^{18}\text{F}$ -FDG

차폐기구	방사능	측정횟수	측정방법
No shield	296 MBq (8.0 mCi)	상황별 20회	선원으로부터 30cm 거리에서 측정
L-block			Lead glass 위치에서 측정
L-block+Apron			Lead glass 위에 Apron을 대고 측정

Table 5. The shielding rates of shield used to movement of  $^{18}\text{F}$ -FDG

이동수단	방사능	측정횟수	측정방법
No shield	37-370 MBq (1-10 mCi)	상황별 10회	차폐기구로부터 30cm 거리에서 측정
Syringe holder			
Syringe shield			
Syringe shield carrier			

④ 환자 포지셔닝 시 Apron의 차폐율 측정

Apron의 차폐율을 측정하기 위하여 <sup>18</sup>F-FDG를 환자에게 투여한 다음 60min 후에 Apron이 없을 때와 있을 때를 방사선공간선량계를 이용하여 공간 선량률을 측정하였다. 0.5 mm Pb의 Apron을 사용하였으며, 측정 직전에 배뇨를 시킨 후 PET 테이블 위에 환자를 바로 눕게 한 상태에서 복부 위치의 체표로부터 30, 60, 90, 120, 150, 200 cm 거리에서 매회 동일한 방법으로 측정하였다(Table 8).

결 과

1. 설문조사 결과

총 74개의 설문지를 받아서 TLD 수치 미기재 자, 검사 시에 차폐를 시행하였음에도 TLD 수치가 4.0 mSv 이상인 자, PET 검사 경험이 1분기 이하인 자를 제외한 65개를 분석에 사용하였다. 설문결과 방사선사 1인당 일일 평균 검사 환자

수는 7명이었으며, TLD 수치는 분기당 평균 1.69±0.92 mSv였다.

1) 응답자의 인적 특성

설문에 참여한 응답자의 성별은 남자가 62명으로 95.4%였으며, 여자가 3명으로 4.6%로 나타났다. 지역별 응답자의 수는 PET이 설치 운영되고 있는 의료기관이 서울지역에 집중되어 있는 관계로 수도권이 가장 많았다. 연령은 29~32세가 29.2%로 가장 많았으며, 33~36세가 21.5%, 37~40세가 20%로 나타났으며, 24~28세가 4.6%로 가장 적었다(Table 9).

① 연령에 따른 방사선 피폭 정도

연령에 따른 방사선 피폭은 29-32세가 2.14 mSv로 가장 높았으며, 연령이 증가할수록 수치는 낮아졌다. 방사성의약품의 투여와 환자 포지셔닝 횟수도 연령이 증가할수록 감소하였다(Table 10). 연령에 따른 차폐기구의 활용도는 연령이 증가할수록 Both shield와 L-block의 사용이 증가하였다(Table 11).

Table 6. The shielding rates before the injection of <sup>18</sup>F-FDG

차폐기구	방사능	횟수	측정방법
No shield	296 MBq (8.0 mCi)	상황별 15회	선원으로부터 30cm에서 거리에서 측정
Syringe shield			
L-block			
Both shield			

Table 7. The shielding rates during the injection of <sup>18</sup>F-FDG

차폐기구	방사능	횟수	측정방법
No shield	296 MBq (8.0 mCi)	상황별 15회	투여를 시행하면서 30cm 거리에서 측정
Syringe shield			
L-block			
Both shield			

Table 8. The shielding rates of Apron used to patient setup

차폐기구	방사능	측정횟수	측정방법
No shield Apron	296 MBq (8.0 mCi)	차폐기구/거리별 각 20회	투여 60분 후 검사직전 복부위치에서 30, 60, 90, 120, 150, 200 cm 거리에서 측정

Table 9. The characteristics of human factor

구 분				구 분			
		빈도(명)	점유율(%)			빈도(명)	점유율(%)
성 별	여자	3	4.6	연 령 별	24-28	3	4.6
	남자	62	95.4		29-32	19	29.2
지 역 별	수도권	46	70.8		33-36	14	21.5
	충청권	5	7.7		37-40	13	20.0
	전라권	5	7.7		41-44	11	16.9
	경상권	9	13.8		45-	5	7.8

② 지역별 방사선 피폭 정도

방사선사 1인당 환자대비 TLD 수치는 수도권이 가장 높았으며, 경상권이 가장 낮았다(Table 12).

2) 방사선 방호에 대한 인식도 조사

① 방사선 피폭의 위험성에 대한 인식도에 따른 피폭정도

PET 검사를 시행하면서 방사선 피폭의 위험성에 대한 인식도를 1(매우낮음)부터 5(매우높음)까지 나누어 질문에 답한 내용을 분산분석을 이용하여 분석하였다. 분석결과 인식도 5가 50.8%로 가장 높은 빈도를 보였으며, 인식도 2가 4.6%로 가장 낮게 나타났다. 방사선 피폭의 위험성에 대한 인식도가 높을수록 TLD 수치가 전반적으로 낮았으나, 통계적으로는 관련이 없었다(Table 13).

② PET 검사 프리시저 중 방사선 피폭이 가장 많을 것으로 추정되는 단계

환자 1명의 PET 검사를 시행하는 동안 방사선 노출이 예상되는 경우는 크게 선원을 직접 취급하는 단계와 방사성의약품이 투여된 환자와 대면할 때로 나눌 수 있다. 선원을 취급하는 경우는 방사성의약품의 저장·분배, 이동, 그리고 환자에게 투여할 때로 나눌 수 있다. 그리고 환자와의 대면은 스캔을 시작하기 위해서 포지셔닝을 할 때이다. 물론 방사성의약품을 투여 받은 환자는 차폐가 이루어지는 안정실에서 대기하는 것으로 간주한다. PET 검사 프리시저를 방사성의약품의 분배, 이동, 투여 그리고 환자 포지셔닝의 네 단계로 나누어 방사선 피폭이 가장 많을 것으로 보는 단계를 물었을 때 ‘방사성의약품의 투여’라고 답한 응답자가 44.7%로 가장

Table 10. The radiation exposure dose according to age

연령(세)	빈도(명)	투여/포지셔닝(회)	TLD(mSv)	분산	F 비	p-값	F 기각치
24-28	3	8/21	1.53	1.22			
29-32	19	10/21	2.14	0.59			
33-36	14	9/20	1.71	0.49	3.33	0.01	2.37
37-40	13	7/15	1.46	0.77			
41-44	11	6/11	1.15	0.25			
45-	5	4/9	1.14	0.43			

Table 11. The utilization of radiation shield according to age

연령(세)	Both shield	L-block	Syringe shield	No shield	TLD(mSv)
24-28	100	-	-	-	1.53
29-32	47.4	15.9	10.4	26.3	2.14
33-36	35.7	42.9	21.4	-	1.71
37-40	61.5	23.1	7.7	7.7	1.46
41-44	72.7	9.1	-	18.2	1.15
45-	100	-	-	-	1.14

Table 12. The radiation exposure dose by regional groups

지역	빈도(명)	1인당 환자 수	TLD (mSv)
수도권	46	6.7	1.83
충청권	5	6.0	1.00
전라권	5	5.7	1.35
경상권	9	10.0	1.27

Table 13. The radiation dose according to Recognition of radiation exposure risk

인식도	빈도(명)	점유율(%)	TLD (mSv)	분산	F 비	p-값	F 기각치
1 (매우낮음)	-	-	-	-			
2 (조금낮음)	3	4.6	2.08	2.07			
3 (보통)	9	13.8	1.63	0.56	0.833	0.481	2.755
4 (조금높음)	20	30.8	1.79	0.55			
5 (매우높음)	33	50.8	1.51	0.67			

많았으며, ‘환자 포지셔닝’이라고 답한 응답자도 40%로 나타났다(Table 14).

③ 방사선 차폐기구의 활용도에 따른 피폭정도 조사

PET 검사를 시행하면서 방사선 피폭 저감을 위해 차폐기구를 어느 정도 활용하는지 알아보았다. 방사선 차폐기구의 활용도를 1(매우낮음)부터 5(매우높음)까지 나누어 질문에 답한 내용을 분산분석을 이용하여 분석하였다. 분석결과 활용도 4와 5가 각각 35.4%로 가장 많았으며, 활용도가 높을수록 TLD 수치는 낮은 것으로 나타났다(Table 15).

④ 방사선 차폐기구를 사용하지 않게 되는 이유

검사를 시행하면서 방사선 차폐기구를 사용하지 않게 되는 이유에 대해서는 ‘차폐 과정이 번거롭다’고 답한 응답자가 55.4%로 가장 많았으며, ‘환자가 많아서 시간이 부족하다’고 답한 응답자도 18.5%를 차지하였다(Table 16).

3) 프리시저별 차폐방법 및 활용도 조사

PET에서 사용되는 방사성의약품은 고에너지(511keV) 방출핵종을 사용하기 때문에 기존 감마카메라에 사용되는 차폐기구는 효과적 차폐를 기대하기 어렵다. 일반적으로 많이 쓰이는 납으로 차폐를 시행할 경우, 감마카메라에 사용되는 차폐기구보다 16배 이상 두께를 증가시켜야 하기 때문에 무게나 크기가 제한 받으므로, 대체 물질로 전자밀도와 원자번호가 더 높은 텅스텐을 사용하는 것이 보다 효과적이다.<sup>1)</sup> 각 의료기관의 PET 센터마다 차폐시설이 다르고 사용되는 방사선 방어 장비가 다르기 때문에 먼저 프리시저별 차폐방법을 알아보고 차폐기구의 활용정도를 알아보았다. 프리시저별 차폐기구의 선정은 사전에 전화조사를 통해 표본

Table 14. The most likely more radiation exposure procedure

프리시저	빈도(명)	점유율(%)
<sup>18</sup> F-FDG의 분배	9	13.8
<sup>18</sup> F-FDG의 이동	1	1.5
<sup>18</sup> F-FDG의 투여	29	44.7
환자 포지셔닝	26	40.0

Table 15. The radiation dose according to utilization of radiation shield

활용도	빈도(명)	점유율(%)	TLD(mSv)	분산	F 비	p-값	F 기각치
1 (매우낮음)	-	-	-	-	-	-	-
2 (조금낮음)	6	9.2	1.62	1.41	-	-	-
3 (보통)	13	20.0	2.15	0.73	3.878	0.013	2.755
4 (조금높음)	23	35.4	1.76	0.43	-	-	-
5 (매우높음)	23	35.4	1.24	0.46	-	-	-

을 추출한 뒤 쉽게 구입이 가능하고 가장 많이 사용하는 것으로 정하였다.

① 방사성의약품의 분배

대부분의 의료기관에 싸이클로트론이 설치되어 있지 않기 때문에 <sup>18</sup>F-FDG를 제조회사로부터 공급받아 사용하게 된다. 이렇게 구입한 <sup>18</sup>F-FDG는 일정한 차폐시설이 구비된 곳에 저장하게 되는데 대부분의 의료기관의 저장시설은 100 mm 이상 연유리로 차폐된 소형 hot cell 형태를 갖추고 있으며, 다시 그 안에서 두꺼운 차폐용기에 저장한 뒤 환자 검사 시에 체중에 맞게 분배하여 사용하게 된다. 분배실 내에 L-block을 갖추고 있다는 전제 하에 <sup>18</sup>F-FDG의 분배 시에 추가로 사용 가능한 차폐기구로 Apron을 선정하고, 착용여부와 방사선사 1명당 평균 분배 횟수를 알아보았다. 설문결과 분배 시에 Apron을 착용하는 경우는 6.2%였다(Table 17).

② 방사성의약품의 이동

분배된 <sup>18</sup>F-FDG는 환자에게 투여하기 위해서 주사실로 옮겨지게 된다. <sup>18</sup>F-FDG의 이동시 차폐방법과 이동거리에 따라서 피폭 정도가 달라질 것이라 생각된다. 이동시 차폐기구를 Syringe holder, Syringe shield, Syringe shield holder, Syringe shield carrier로 선정하여 활용도와 분배실로부터 주사실까지의 거리를 알아보았다. 설문결과 Syringe shield의 사용률이 38.5%로 가장 많았으며, Syringe shield carrier를 사

Table 16. The reason that Radiation shield not used

이유	빈도(명)	점유율(%)
효과가 없을 거 같아서	8	12.3
과정의 번거로움	36	55.4
환자가 많아 시간이 부족	12	18.5
차폐기구 미구비 혹은 부족	7	10.7
기 타	2	3.1

Table 17. The shield used to distribution of <sup>18</sup>F-FDG

Apron	빈도(명)	점유율(%)
착용	4	6.2
미착용	61	93.8

용하는 경우가 12.3%로 가장 적었다. 분배실로부터 주사실까지의 거리는 1m 이내가 46.2%로 가장 많았고 5m 이상도 16.9%를 차지하였다(Table 18).

③ 방사성의약품의 투여

주사실까지 옮겨진 <sup>18</sup>F-FDG는 검사를 시행하기 위해 환자에게 투여해야 한다. 투여 작업은 프러시저 중 직접선에 노출될 확률이 가장 높은 단계인데 비해 차폐가 번거롭다. 최근에 자동주입기가 개발되어 일부 의료기관에서 이용하고 있으나 아직 상용화되지 않았기 때문에, 본 설문에서는 기본적으로 사용 가능한 Syringe shield와 L-block의 사용현황을 알아보고 <sup>18</sup>F-FDG의 투여 담당자에 대해서 알아보았다. 설문결과 Both shield (L-block과 Syringe shield를 함께 사용)가 58.5%로 가장 많았으며, 아무런 차폐를 하지 않는 경우도 12.3%를 차지하였다. <sup>18</sup>F-FDG의 투여 담당자는 방사선사가 87.7%로 대부분을 차지하고 있었다(Table 19).

④ 환자 포지셔닝

<sup>18</sup>F-FDG를 투여한 후부터는 환자가 선원이 되기 때문에 앞선 과정보다 차폐를 시행하는데 어려움이 따른다. 가장 좋은 방법은 환자의 이동을 금지하고 환자와 대면시간을 최소화하는 것이지만 검사를 시행하기 위해서는 어쩔 수 없는 경우가 많다. 일부 의료기관에서 차폐 벽 등을 이용하여 차폐를 시행하나 Scan control panel을 조작하기가 어렵고 설치 위치 이외에는 차폐가 불가능하기 때문에 간단하고 쉽게 사용 가능한 Apron을 차폐기구로 선정하였다. 설문결과 포지셔닝시에 Apron의 착용률은 6.2%로 매우 낮았다(Table 20).

4) 방사선 피폭 정도에 따른 프러시저별 차폐기구의 활용도

① TLD 구간별 분석

설문을 통해 얻어진 자료를 바탕으로 TLD 수치에 대해

분석을 실시하였다. 방사선사 1명당 분기별 TLD 수치의 평균값을 산출한 후 분석하였으며, 4.0 mSv 이상인 경우는 제외하였다. 분기별 평균값은 최소 0.13 mSv에서 최고 3.59 mSv까지 분포하였으며, 전체 평균은 1.69±0.92 mSv로 나타났다. TLD 수치를 1구간(0-0.5), 2구간(0.51-1.0), 3구간(1.01-.5), 4구간(1.51-2.0), 5구간(2.01-2.5), 6구간(2.51-3.0), 7구간(3.01-3.5)으로 나누어 구간별 방사선사 수를 분석한 결과, 4구간에서 가장 높은 빈도를 보였다(Fig. 1). 3구간 이상의 방사선사 수가 전체의 75.3%를 차지하고 있었으며, 5구간 이상도 27.7%를 차지하였다. 이는 고 노출구간에 속한 방사선사의 비율이 높다는 것을 의미한다. ICRP 60(1990년)에서는 방사선 관계종사자의 개인피폭선량의 값을 50 mSv/년 및 100 mSv/5년 미만으로 유지하도록 권고하고 있다. 100 mSv/년을 초과하지 않기 위해서는 5 mSv/분기 또는 20mSv/년 미만으로 관리할 필요가 있다. 물론 대부분이 기준에는 미치지 못하지만 일부가 분기별 수치가 넘어서고 다수가 이 수치에 근접해 있다. 더욱이 매년 PET 검사 건수가 크게 증가하고 있을 뿐만 아니라, 방사선사로서의 재직 기간이 늘어나고 이직률이 낮은 것을 감안하면, 연간 10 mSv 이상의 방사선 피폭을 지속적으로 받는다는 것에 대해 방사선 피폭의 위험으로부터 안전하다고 할 수 없을 것이다. 구간별 TLD 수치가 높아질수록 대체적으로 <sup>18</sup>F-FDG의 분배와 투여 그리고 환자 포지셔닝 횟수가 증가하였으나, 3구간과 4구간에서는 분배, 투여, 포지셔닝 횟수의 증가 없이 TLD 수치가 높아졌고, 6구간과 7구간에서는 분배, 투여, 포지셔닝의 횟수가 감소하

Table 20. The shield used to patient setup

Apron	빈도(명)	점유율(%)
착용	4	6.2
미착용	61	93.8

Table 18. The shield used to movement of <sup>18</sup>F-FDG and distance of movement

이동시 차폐방법	빈도(명)	점유율(%)	이동 거리	빈도(명)	점유율(%)
Syringe holder	19	29.2	1 m 이내	30	46.2
Syringe shield	25	38.5	1-3 m	15	23.1
Syringe shield holder	13	20.0	3-5 m	9	13.8
Syringe shield carrier	8	12.3	5 m 이상	11	16.9

Table 19. The shield used to injection of <sup>18</sup>F-FDG

투여시 차폐방법	빈도(명)	점유율(%)	투여 담당자	빈도(명)	점유율(%)
No shield	8	12.3	의사	1	1.5
Syringe shield	6	9.2	간호사+방사선사	5	7.7
L-block	13	20.0	방사선사	57	87.7
Both shield	38	58.5	의사+간호사+방사선사	2	3.1

였음에도 TLD 수치가 높아졌다(Table 21). 그래서 이 구간의 투여시 차폐기구의 활용도를 살펴본 결과 3구간에선 L-block의 사용률이 100%인 반면에 4구간에서는 L-block의 사용률이 68.7%로 떨어졌으며, 무차폐인 경우도 18.8%나 있었다. 그리고 6구간에서는 L-block의 사용률이 66.6%인 반면, 7구간에서는 L-block을 사용하는 경우는 없었으며, 무차폐인 경우가 66.7%를 차지하였다(Table 22).

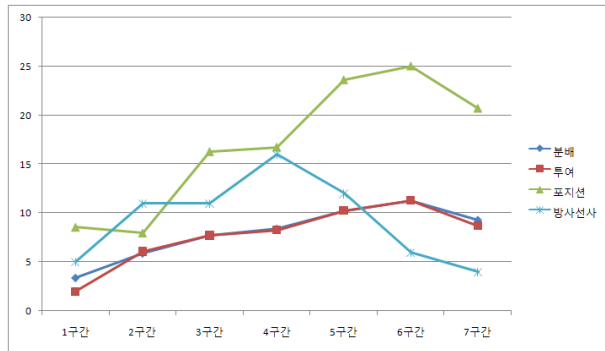


Fig. 1. The number of distribution, injection, patient positioning according to TLD range.

Table 21. The number of distribution, injection, patient setup according to TLD range

TLD 구간	분배(회)	투여(회)	포지셔닝(회)	TLD 평균(mSv)	방사선사(수)
0.0 < 1구간 ≤ 0.5	3.4	2.0	8.6	0.29	5
0.5 < 2구간 ≤ 1.0	5.9	6.1	8.0	0.74	11
1.0 < 3구간 ≤ 1.5	7.73	7.7	16.3	1.22	11
1.5 < 4구간 ≤ 2.0	8.4	8.3	16.8	1.75	16
2.0 < 5구간 ≤ 2.5	10.3	10.3	23.6	2.20	12
2.5 < 6구간 ≤ 3.0	11.3	11.3	25.0	2.67	6
3.0 < 7구간 ≤ 3.5	9.3	8.7	20.7	3.17	4

Table 22. The rate of use of radiation shield according to TLD range

TLD 구간	Both shield(%)	L-block(%)	Syringe shield(%)	No shield(%)
1구간	80.0	20.0	-	-
2구간	72.7	27.3	-	-
3구간	90.9	9.1	-	-
4구간	31.2	37.5	12.5	18.8
5구간	58.3	8.3	16.7	16.7
6구간	50.0	16.6	16.7	16.7
7구간	-	-	33.3	66.7

Table 23. The shield of procedure according to method for used to inject of <sup>18</sup>F-FDG

투여시 차폐방법	분배	이동	포지셔닝
No shield	L-block	Syringe holder	no
Syringe shield	L-block	Syringe shield	no
L-block	L-block	Syringe holder	no
Both shield	L-block	Shield carier	Apron

## ② 차폐기구의 활용도에 따른 분석

분석결과 의료기관 또는 개인마다 전체적인 과정에서 차폐기구의 사용 형태가 투여시의 차폐방법에 따라 4가지로 나뉘는 것을 알 수 있었다. 투여 시 차폐방법을 No shield, Syringe shield, L-block, Both shield(Syringe shield와 L-block을 함께 사용하는 경우)로 나누어, 각 프리시저별 차폐방법을 분석한 결과 아래 표와 같았다(Table 23). 투여 시 차폐방법에 따른 TLD 수치를 Both shield를 기준으로 분배, 투여, 포지셔닝 횟수를 동일한 조건으로 맞추고 분석한 결과 Syringe shield는 30.6%, L-block은 16.7%, No shield는 103.1% 증가를 보였다(Table 24).

## 2. 실험 결과

1) 방사성의약품의 분배, 이동, 투여에 사용되는 차폐기구의 차폐율

실험결과, 분배시에 L-block과 L-block+Apron의 차폐율은 97.3%와 97.7%로 측정 되었고, 이동시에 Syringe holder, Syringe shield, Syringe shield carrier의 차폐율은 75.9%,



80.4%, 92.7%로 측정되었다. 투여시 Syringe shield와 L-block, Both shield, 투여 전 차폐율은 81.7%, 98.9%, 99.7%로 측정되었으며, 투여 중 차폐율은 51.9%, 98.3%, 98.7%로 측정되었다(Table 25, 26).

2) 환자 포지셔닝시 Apron의 차폐율

환자 포지셔닝시 Apron의 차폐율을 30, 60, 90, 120, 150, 200 cm 거리에서 측정한 결과 16.9%, 14.2%, 16.6%, 17.1%, 18.1%, 18.6%로 측정되었으며, 거리가 멀어질수록 차폐율은 증가하는 추세를 보였다(Table 27).

3) 프리시저에 따른 차폐기구의 사용에 따른 공간 선량률 설문조사에서도 언급했듯이, 투여 시 차폐방법에 따라 전체 프리시저에서의 차폐방법 또한 조금씩 차이가 나는 것을

알 수 있었다. 설문조사에서는 투여 시 차폐방법을 No shield, Syringe shield, L-block, Both shield로 나누어 TLD

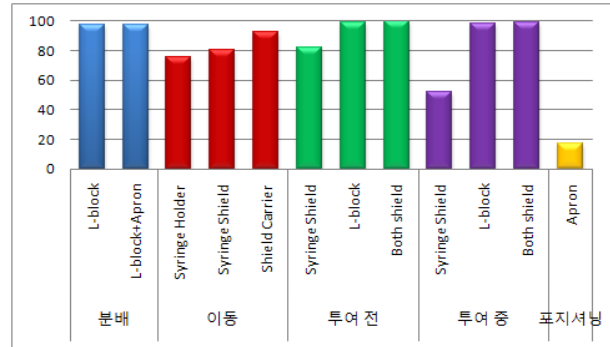


Fig. 2. The shielding rates of shield according to procedure.

Table 24. The radiation exposure according to method used to injection of <sup>18</sup>F-FDG

투여시 차폐방법	분배, 투여(회)	포지셔닝(회)	TLD(mSv)	증가율(%)
Both shield	11.3±2.1	26.7±5.1	1.83	30.6
Syringe shield	11.5±2.4	27.2±7.4	2.39	
Both shield	9.8±0.7	18.8±2.5	1.68	16.7
L-block	9.5±1.0	18.8±2.5	1.96	
Both shield	5.5±1.3	13±1.4	1.28	103.1
No shield	5.5±1.8	13±1.9	2.60	

Table 25. The shielding rates of shield used to distribution, movement, injection of <sup>18</sup>F-FDG

	차폐기구	선량률(mR/hr)	차폐율(%)	표준편차
분배	No shield	38.80		
	L-block	1.06	97.3	0.3
	L-block+Apron	0.87	97.7	0.3
이동	No shield	34.60		
	Syringe holder	8.33	75.9	3.5
	Syringe shield	6.59	80.4	3.3
	Syringe shield carrier	2.46	92.7	1.4
투여 전	No shield	38.80		
	Syringe shield	7.05	81.7	1.9
	L-block	0.43	98.9	0.1
	Both shield	0.13	99.7	0.1

Table 26. The shielding rates of shield used to injection of <sup>18</sup>F-FDG – during the injection

차폐기구	선량률(mR/hr)		차폐율(%)	표준편차
	No shield	shield		
Syringe shield	40.1	19.10	51.9	7.2
L-block	38.0	0.63	98.3	0.3
Both shield	38.2	0.50	98.7	0.4

Table 27. The shielding rates of Apron used to patient setup

차폐기구	30	60	90	120	150	200 cm
No shield	5.03	2.43	1.56	1.02	0.71	0.47
Apron	4.18	2.08	1.30	0.84	0.58	0.38
차폐율(%)	16.9	14.2	16.6	17.1	18.1	18.6
표준편차	4.5	5.7	4.3	5.9	5.7	6.6

수치의 증감률을 구하였고, 이번 실험에서는 투여 시 차폐방법에 따라 설문조사와 동일하게 나누어서 프리시저별 공간 선량률을 구했다. 무차폐시 296 MBq (8.0 mCi)의 공간 선량률을 측정값인 40 mR/hr에 프리시저별 차폐기구의 차폐율을 대입하여 구하였다(Table 28). No shield인 경우에는 모든 과정에서 높은 선량률을 보였으며, 특히 방사성의약품의 투여 때 가장 높았다. Syringe shield만 사용한 경우도 각 프리시저별로 다소 높은 공간 선량률을 보였으며, 특히 방사성의약품을 투여하는 중에 가장 높은 공간 선량률을 보였다. L-block만 사용하는 경우에는 이동과정에서 높은 선량률을 보였는데, 이는 이동시 사용하는 Syringe holder의 차폐율이 낮기 때문이다. Both shield를 사용하는 경우는 방사성의약품을 다루는 때보다 오히려 환자 대면 시에 높은 공간 선량률을 보였다. 전체 과정을 살펴보면 투여 시에 가장 높은 공간 선량률을 보였으며, 차폐효과 또한 가장 큰 것을 알 수 있었다(Fig. 3).

### 고 찰

설문조사를 통해 PET 검사를 시행하는 동안 프리시저별 방사선량을 산출해 내는 것은 사실상 불가능하다. 가장 큰 이유는 각 프리시저를 1명의 방사선사가 한 번에 모두 시행하기 때문에 각 단계별 방사선량을 추출해 내는 것은 불가능

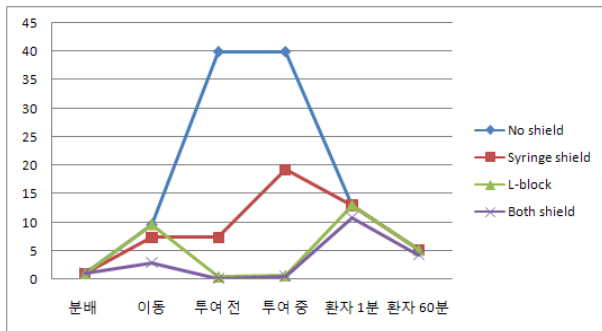


Fig. 3. The dose according to procedure.

Table 28. The dose according to each procedure

차폐	과정	분배	이동	투여 전	투여 중	환자 1min	환자 60min
No shield	L-block	Syringe Holder	No shield	No shield	No shield	No shield	No shield
선량률(mR/hr)	1.06	9.64	40.0	40.0	13.0	5.14	
Syringe shield	L-block	Syringe shield	Syringe shield	Syringe shield	Syringe shield	No shield	No shield
선량률(mR/hr)	1.06	7.32	7.32	19.24	13.0	5.14	
L-block	L-block	Syringe Holder	L-block	L-block	L-block	No shield	No shield
선량률(mR/hr)	1.06	9.64	0.44	0.68	13	5.14	
Both shield	L-block	Carrier	Both shield	Both shield	Both shield	Apron	Apron
선량률(mR/hr)	1.06	2.92	0.12	0.52	10.79	4.27	

하고, 다음으로는 의료기관마다 근무환경이 다르고 개인마다 차폐기구의 사용방법과 사용률에 차이가 나기 때문이다. 세 번째는 검사 프리시저가 복잡하고 단계별로 차폐기구 사용에 따른 변수가 많아 방사선량을 산출하기가 어렵고, 네 번째는 시간과 거리에 따른 방사선량을 계산하기 어려울 뿐만 아니라 단계별 시행횟수를 정확하게 정의하기가 어렵기 때문이다. 이에 본 연구에서는 방사선량에 따른 단계별 차폐기구의 활용도를 알아봄으로서 차폐기구의 효용성을 증명하고자 하였다. 설문조사 결과 의료기관 또는 개인마다 전체적인 과정에서 차폐기구의 사용 형태가 앞서 말한 바와 같이 투여시의 차폐방법에 따라 네 가지로 나뉘는 것을 알 수 있었다. 각 단계마다 차폐기구의 사용에 따른 정확한 방사선량을 산출내기는 어렵지만 네 가지 방법에 따른 방사선량의 증감률을 구할 수 있었으며, 설문조사를 통해 얻어진 데이터를 기반으로 실험을 통해 구한 차폐율로 단계별 방사선량을 계산할 수 있었다.

설문조사에서 오류를 줄이기 위해, 투여 시에 Both shield를 사용하였음에도 불구하고 TLD 수치가 높은 경우에는 전화조사를 통해 직접 그 이유를 물었다. 첫 번째 이유는 차폐율이 높은 L-block을 잘못 사용하는 경우였다. 거동이 불편한 침대환자의 경우, L-block을 사용하지 않았고, 자동주입기를 사용하는 경우, 투여 시에 환자상태를 확인하기 위해 L-block과 비켜 서 있었으며, 다수가 사용이 번거롭다는 이유로 L-block이 설치되어 있음에도 사용을 기피하는 경우였다. 두 번째로는 환자와 대면 횟수가 많은 경우였다. 일일 환자 수는 비슷하지만 조영증강, 부분촬영 등 추가검사로 인해 환자 대면 횟수가 잦아지는 경우가 있었고, 방사성의약품을 투여한 환자의 대기 장소 미비 또는 부족으로 인하여 환자와 자주 대면하게 되는 경우도 있었다. 세 번째로는 방사성의약품의 투여 과다인 경우로, 환자의 투여량은 환자 체중×0.14로 산출하는데, 이를 초과하여 사용하는 경우이다. 그리고 실험결과 Both shield와 L-block의 차폐율 차이가 미미한 것은

로 나타났지만, 설문 결과에서는 L-block이 Both shield보다 16.7% 높은 결과를 보였다. 이는 L-block의 이동시 주 차폐 방법인 Shield holder의 차폐율이 낮고, 위에서 언급한 바와 같이 L-block의 오용 때문인 것으로 생각된다. 그러므로 투여시에 L-block만 사용하기 보다는 Both shield를 사용하면 손의 피폭을 방지하고 체간부의 피폭 또한 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 한계라면 현재 PET 검사 담당자들의 피폭 관리 상태가 얼마나 정확히 실시되고 있는지에 대한 검증이 없다는 것이다. 또한 한정된 지역과 병원만을 대상으로 시행했으므로 전체적인 파악과는 약간의 오차가 있을 수 있다. PET을 이용한 진료활동이 증가하면서 PET에 사용되는 차폐기구도 속속 개발되고 있다. 본 연구에서 사용한 차폐기구보다 사용이 간편하면서도 차폐율이 뛰어난 제품들도 많을 것이라 생각된다.

## 결 론

PET 검사건수가 크게 증가하면서 방사선사의 피폭선량 또한 증가한 것으로 생각된다. 방사선사의 피폭선량을 저감시키기 위해서는 검사 프리시저에 따라 다양한 노력을 기울여야 한다. 첫째, 프리시저별로 적합한 차폐기구를 사용해야 한다. 설문결과 차폐기구를 사용하지 않게 되는 이유를 물었을 때 ‘사용의 번거로움’과 ‘환자가 많아 시간이 부족’이라고 답한 응답자가 73.9%를 차지하였다. 최대한 사용이 번거롭지 않으면서 차폐효과를 극대화 할 수 있는 방법을 강구해야 한다. 실험결과 방사성의약품의 분배 시에는 L-block(차폐율: 97.3%)을 사용하고, 이동시에는 Syringe shield carrier(차폐율: 92.7%), 투여 시엔 Both shield(투여 전: 99.7%, 투여 중: 98.7%)를 사용해야 한다. 그리고 환자와 대면할 때는 Apron을 착용하면 피폭선량을 1/4정도 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 다음으로는 차폐기구를 올바르게 사용해야 한다. 먼저 차폐기구를 잘 구비하고 이용이 번거롭지 않게 시설을 갖추어 과정을 간소화해야 한다. 구비된 차폐기구와 시설의 목적을 제대로 알고 최대한 활용해야 한다. 세 번째로는 방사성의약품의 투여인력을 다각화해야 한다. 현재 대부분의 의료기관에서 방사선사가 방사성의약품의 투여를 전담하다시피 하고 있다. 방사성의약품의 투여를 의사, 간호사로 다각화해야 하며, 방사선사의 투여횟수도 적절히 배분할 필요가 있다. 네 번째로는 환자와의 대면횟수를 줄이기 위한 노력을 해야 한다. 방사성의약품의 투여 후 환자 대기 장소

를 마련하고, 대기시간 동안 환자와의 대면횟수를 줄이기 위한 방법도 강구해야 하며, 포지셔닝 횟수 역시 적절히 배분해야 한다. 마지막으로 방사선 피폭의 위험성에 대한 인식보다는 무엇보다도 강한 실천의지가 중요하다고 하겠다.

## 요 약

1994년 PET의 국내 도입 이후, 현재까지 양적으로나 질적으로 많은 발전이 있었다. 하지만 이와 함께 방사성의약품의 사용량 또한 급증하면서 검사에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 방사선사의 개인피폭선량이 높아지는 요인으로 작용했던 것이 사실이다. 식품의약품안전청의 피폭선량관리센터에서 발표한 자료에 따르면 2008년도 방사선작업종사자의 전체 평균 피폭선량은 0.67 mSv였고, 방사선사 전체 피폭선량은 1.33 mSv로 해마다 감소하는 것으로 나타났다.<sup>5)</sup> 설문결과를 살펴보면 PET 검사 담당자의 평균피폭선량은 1.69 mSv였고, 1.0 mSv를 초과하는 구간에 75.3%의 방사선사가 포함되어 있었다. 이는 고 노출구간에 속한 방사선사의 비율이 높다는 것을 의미하므로, 피폭저감을 위한 노력이 요구된다. 본 연구에서는 설문조사를 통하여 PET 검사 프리시저별 차폐기구의 활용에 따른 방사선 피폭 정도를 TLD 수치를 이용하여 분석하고, 실험을 통하여 각 차폐기구의 차폐율을 측정함으로써, 그 효용성을 입증하고 적합한 차폐방법을 강구하고자 하였다. 방사선 피폭의 위험에 대해서 어느 누구보다 잘 인지하고 있는 방사선사임에도 불구하고 인위하게 생각하는 경향이 있었다. 설문결과를 살펴보면 방사선 피폭의 위험성에 대한 인식도와 피폭선량과는 크게 관련이 없었으며, 차폐기구의 활용도에 따라서는 피폭선량의 차이가 확연하게 나타났다. 프리시저 중 피폭선량에 가장 많은 영향을 미치는 단계는 방사성의약품의 투여였으며, 투여시 차폐방법에 따라 이동시 차폐방법도 달라졌다. 투여 시 차폐기구 사용현황을 보면 Both shield는 58.5%, L-Block은 20%, Syringe shield는 9%, No shield는 12.3%를 차지하였다. TLD 수치에 따른 투여 시 차폐방법은 수치가 낮을수록 Both shield와 L-block을 많이 사용하였으며, 수치가 높을수록 Syringe shield와 차폐를 시행하지 않는 경우가 많았다. 실험결과, 가장 이상적인 차폐방법은 분배 시엔 L-block을 사용하고, 이동시엔 Syringe shield carrier를 사용하며, 투여 시엔 L-block과 Syringe shield를 함께 사용하는 것이다. 환자 포지셔닝 시 Apron의 차폐율은 평균 16.4%로 차폐효과가 있다. PET 검사를 시행함에 있어서 강한 실천의지를 가지고 프리시저별로 차폐기구를 적

극 활용한다면 점증하는 방사선사의 피폭 수준을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

1. 유광열: 양광자방출핵종의 사용에 따른 핵의학 검사실에서 방사선안전관리, **핵의학기술** 2000;280-287
2. 박명환, 권덕문: X선 및 감마선에 대한 apron의 차폐율 측정, **방사선기술과학** 2007;30(3)
3. Radiation Dose to PET Technologists and Strategies to Lower Occupational Exposure, **J Nucl Med Technol** 2005;33:44-47
4. Chiesa C, De Sanctis V, Crippa F, et al. Radiation dose to technicians per nuclear medicine procedure: comparison technetium-99m, gallium-67, and iodine-131 radiotracers, and fluorine-18 fluorodeoxyglucose. **Eur J Nucl Med**.1997;24:1380-1389
5. 식품의약품안전청, 피폭선량관리센터, 2008년도 의료기관 방사선 관계종사자의 개인피폭 선량 연보, **방사선안전관리 시리즈** 2009;20(12)