
PET/CT 종사자의 방사선피폭에 관한 연구

나수경*, 박병섭*, 강용길**

Study of occupational exposure in PET/CT

Soo-Kyung Na*, Byung-Sub Park*, Yong-Gil Kang**

요약 본 연구의 목적은 PET/CT 검사시 공간선량을 측정 비교함으로써 방사선 발생원과 종사자간 선량의 상관관계를 규명하고 효율적인 관리를 통해 피폭선량을 감소시키는데 있다. 최근 PET/CT 검사의 증가는 동위원소 사용량의 증가와 더불어 종사자의 피폭 증가의 원인이 되고 있다. 따라서 각 방사선 발생원에서의 공간선량을 비교 분석하고 개인방호복과 차폐체 사용에 관한 연구를 수행하였다. 양전자 방출핵종인 ^{18}F 방출 감마선 고에너지(511 keV)에서 개인방호복(0.5 mm pb) 사용은 미사용 시 보다 더 많은 피폭을 초래함을 확인하였다.

주제어 : PET/CT, 양전자, ^{18}F , 양전자단층촬영, 개인피폭

Abstract The purpose of this study is to investigate the relationship between radiation origin and health professionals, and to reduce exposed dose of radiation through efficient management. Increasing exposed dose of radiation to health professionals are caused by the increase of PET/CT use and a radioactive isotope. Hence, in this study, space dose from each origin of radiation generating was analyzed and the use of personnel protective clothing and shields was compared. As a result of this study, we confirmed that the exposed dose of radiation was much higher in case of wearing personnel protective clothing(0.5 mm pb) than no wearing personnel protective clothing under high energy gamma radiation(511 keV) of the position emitter(^{18}F).

Key Words : PET/CT, Positron, ^{18}F , Positron Emission Tomography, Personal Exposure

1. 서론

방사선 피폭관리는 진단방사선 발생장치 안전관리에 관한 규칙(보건복지부령 제3호, 1995년 1월 제정)에 의해 처음 국가관리가 시행됐다. 2010년 식품안전청평가원의 조사결과에 따르면 진단용 방사선 관련종사자는 1996년 관리초기에 12,652명 이었으나 2010년 4.4배 증가한 55,614명에 이른다. 이중 방사선사, 치과 의사, 의사가 차지하는 비율이 77.7%에 해당하며, 2011년 안전청 보고에는 산업계 의료기관중 치료방사선분야와 핵의학분야 방사선 작업종사자의 피폭선량 관련자료를 제외 한 방사선 종사자의 피폭은 매년 점차 감소[1]되는 추세라고 보고했다. 이는 한국원자력안전기술원(KINS)과 이원화 관리함으로써 나타나는 현상으로 보인다. 한편 핵의학분야

는 핵의학 장비의 첨단화에 따른 동위원소의 사용량이 급증하고 있으며, 그 중 정확한 암전이 여부를 진단할 수 있는 PET/CT에 사용되는 ^{18}F -FDG(Fluoro - Deoxy - Glucose)와 갑상샘 치료에 사용되는 옥소(^{131}I)가 대표적인 동위원소이다. 건강보험심사평가원 및 대한핵의학회 자료에 의하면 1999년 PET 사용건수 약 3,000건에서 2009년 약 300,000건으로 PET건수가 10년에 약 100배의 건수증가를 보인다. 갑상샘 암환자의 증가로 인한 수술 후 ^{131}I (옥소)치료의 사용량이 10년 전에 비해 약 5배 증가 하였다.[2] 이와 같이 방사성의약품 사용량증가는 환자수의 증가를 의미하며, 환자에게 약품 투여시간과 투여량이 증가되고 이로 인한 환자에서 나오는 방사선의 피폭증가 뿐 만 아니라 분배, 투입, 환자 대기시간 및 검

*김천대학교 방사선학과 교수

**김천대학교 방사선학과 겸임교수(교신저자)

논문접수: 2012년 10월 23일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 11월 20일

사에 이르는 일련의 과정에 의한 검사자의 직.간접적인 피폭증가가 되고 있다. 이는 International Commission on Radiological Protection(국제방사선방어위원회, ICRP)의 권고안인 ICRP 60(1990)의 방사선 관계종사자 개인피폭선량 값을 50 mSv/년, 100 mSv/5년[3]을 초과하지 않기 위해서 5 mSv/분기 또는 20 mSv/년 미만이 되도록 관리할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 핵의학과 PET/CT 검사시 가장 많이 사용되는 ^{18}F -FDG를 중심으로 방사선발생원으로부터 종사자의 제한공간 내 작업범위인 0.5 m와 1 m에서 공간선량률을 측정 비교하고 방사선 발생선원과 종사자 간의 방사선차폐를 위한 납치마(0.5 mm pb)사용과 이동용 차폐체의 사용으로 방사선피폭에 대해 효과적인 차폐가 이루어지는지에 대해 실험한 결과 0.5mm pb 납치마를 사용한 경우 더 많은 피폭량을 초래하는 원인이 될 수 있으며 반대로 촬영 시 기계조작을 위한 검사테이블의 환자로부터 종사자사이에 이동용 차폐블럭을 이용함으로써 피폭의 경감에 도움이 됨을 알 수 있었다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 장비 및 사용도구

GM Pancake Probe Geiger Radiation Survey Meter Alpha/Beta/Gamma(VICTOREEN Model 290, 검교정 2012 3.16 효율 60 ~ 70%), 0.5 mm 납치마, 30 mm(납당량 6.6 mm pb) Lead Mobile Screen, ^{18}F -FDG 370 MBq(10 mCi)/ 2,590 MBq(70 mCi), PET용 Mobile L Block. Vial Shield(20 mm pb) Container, Capintec-15PET, CAPTUS 3000, Capintec Radioisotope Calibrator[®]CRC-12, SPSS ver.16.0가 이용되었으며, 검진대상 6명(남자 3명, 여자 3명)에 대해 평소 검사진행과 같은 방법으로 진행하였다.

양전자방출 표지방사성의약품(^{18}F -FDG)은 사이클로트론(Cyclotron)에서 생성, 양전자를 방출하는 핵종으로 표지된 방사성의약품이다. 1978년 ^{18}F -FDG(2-fluoro-2-deoxy-D-glucose) 합성이 처음 보고된[4] 이후 플루오르(^{18}F)로 표지된 화합물로 가장 많이 사용된다. 그 외 주로 사용되는 핵종은 ^{11}C (탄소), ^{13}N (질소), ^{15}O (산소), ^{18}F (불소)로 생체내 구성요소이다. 이들은 유기화합물에 표지할 경우 그 물질 자체의 성질을 거의 변

화시키지 않는다. 따라서 양전자 단층촬영을 위해 가장 많이 사용하는 ^{18}F -FDG를 임상에서 사용되는 볼륨 3 mL, 370 MBq(10 mCi)을 적용했다.

2.2 실험방법

-비밀봉 방사성의약품의 입고량측정을 위한 단계에서 분배, 주사, Patient care까지의 일련과정에서 발생하는 방사선을 작업종사자와 선원간 거리를 0.5 m와 1 m로 가정하여 GM Pancake probe Survey meter를 이용 측정하였다.

- ^{18}F -FDG 370 MBq(10 mCi), 볼륨 3 mL를 Radioisotope Calibrator를 이용 측정한다. 이때 Radioisotope Calibrator chamber 안에 Source가 있을 때 방사선량률 측정 시와 기타 조작과정의 공간선량률을 측정하였다.

-주사 후 3분과 1시간 배뇨 후 각각 0.5 m와 1 m에서 공간선량률을 측정하였으며, 비교를 위해 10 cm, 1.5 m, 2 m를 측정했다.(납치마 미사용)

- 납치마 미사용 시와 동일조건에서 납치마(0.5 mm pb) 차폐 후 납치마 후면에서 공간선량률을 측정하였다.(납치마 사용)

이와 같이 발생선원(환자 주사 후 또는 선원)과 작업종사자를 기준으로 약분배, 주사, Patient Care, PET/CT 촬영을 위한 준비과정 등에서 공간선량률을 측정하였다.

주사 3분과 60분 측정은 환자가 방사선원으로 PET/CT실에 머무는 시간으로 종사자와의 직.간접적으로 근접한 거리에서 주사 또는 안내 및 검사를 위한 주사 후의 일련과정에서의 환자와 접촉하는 시간으로 주사직후(3분 이내)와 주사 후 60분 배뇨 후 촬영 전.후로 구분하여 핵의학과 PET/CT 종사자를 기준으로 시간 측정했다.

2.2.1 ^{18}F -FDG 주사 3분, 60분 후에 환자와 일정한 거리에서 공간선량률 측정

양전자 단층촬영시 ^{18}F -FDG 주사 후 Torso 또는 Wholebody PET/CT는 60분 후 검사한다. 따라서 물리학적 반감기와 생물학적 반감기를 감안하더라도 방사성의약품이 주입된 상태의 환자는 움직이는 방사선피폭의 원인[5]이 된다. 이는 피폭을 증대시키는 발생원으로 PET/CT실에 머무르는 시간동안 종사자의 직.간접적인 피폭선원으로 작용하기 때문에 주로 환자와의 접촉시간을 대상으로 주사직후 3분과 60분(배뇨 후)에 10 cm, 0.5 m,

1 m, 1.5 m, 2 m의 환자전면 심장높이에서 측정하였다.

또한 납치마 사용여부에 따른 변화된 공간선량률을 보기위해 납치마(0.5 mm pb) 미착용 시 동일한 환경과 위치에서 납치마 착용후 납치마 후면에서 측정하였다.

2.2.2 검사를 위한 환자 Position 및 기계작동 시 공간선량률 측정

PET/CT촬영을 위해서는 환자와 직.간접 접촉 뿐 만 아니라 약 0.5 m 반경에서 환자의 Position 및 기계작동을 해야 한다. 따라서 검사를 위한 환자응대와 Position 및 검사 테이블 작동시 선원으로부터 불가피하게 노출되고 있다. 따라서 이와 같은 방사선 노출을 줄이기 위해서 기계 작동시 선원(환자)과 종사자 사이의 모바일 차폐블록의 사용여부에 따른 공간선량률을 측정하였다.

2.2.3 ¹⁸F-FDG 주사 후 환자 대기실 및 주사실 공간선량률 측정

주사실은 방사선선원을 직접 취급하는 곳이다. 따라서 일과 중 공간선량 측정과 주사 후 환자대기실 공간선량률을 측정했다.

2.2.4 기타

고에너지(511 keV) ¹⁸F 취급시 각 과정에서 발생하는 선량을 측정하였다.

2.3 분석방법

방사선 발생선원과 작업종사자간 거리 10 cm, 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m에서 GM Pancake probe Survey meter를 이용하여, mR/h 단위로 측정하여 국제단위(SI단위)인 $\mu\text{Sv/h}$ 로 환산 표시했다.

또한 주위 환경요인을 배제한 발생원 자체만을 대상으로 주사실 종사자와 선원과의 작업 공간 내에 범위로 한정하여 발생원으로부터 근접하였거나 발생원과의 근접 범위로 하였다.

따라서 약품투여 후 3분과 60분 후 환자 전면 심장높이에서 일정거리 공간선량률 측정 데이터 비교, 일반적으로 주사실에서 행하여지는 작업별 공간선량률의 행위별 및 0.5 mm 납치마 사용전과 사용 후의 공간선량률 비교, 환자촬영을 위한 Position시의 장비 조작동안 이동용 차폐블럭 사용과 사용하지 않았을 때 공간선량률을 비교했다. 검사대상환자의 기본정보 및 공간선량 비교를 위

한 10 cm에서 3분과 60분의 공간선량률은 다음<표 1>과 같으며, SPSS Ver. 16.0을 사용 t-검정했다.

<표 1> 조사대상 기본정보 및 주사 3분과 60분 후 환자심장에서 10 cm 거리에서 공간선량률

단위: $\mu\text{Sv/h}$

성별	체중 (kg)	키 (cm)	투여량 (mCi)	10 cm	
				3 분	60 분
여	54	159	8.6	488	264
남	73	172	9.7	329	305
남	63	160	8.3	400	263
여	56	165	9.3	441	307
여	53	162	8.7	412	292
남	75	170	10.5	549	324
평균	62	165	9	437	293

3. 결 과

고에너지(511 keV) ¹⁸F 다루는 과정에서 방사선차폐를 위한 납치마(0.5 mm pb)사용으로 얼마나 안전하게 차폐가 되는지를 평가하기 위하여 작업 범위내의 방사선 선원에 대해 납치마(0.5 mm pb)사용 후와 미사용 상태 및 검사를 위한 검사 Position 및 Care시 이동용 차폐벽 사용에 따른 공간선량률 비교를 위해 측정하였다.

3.1 약품분배실 공간선량률

3.1.1 주사실 행위(차폐블럭 사용)

1) ¹⁸F-FDG 70 mCi 기준 주사실 행위별 선량(0.5 m 측정)

- Radioisotope Calibrator chamber 안에 선원이 있을 때(입고 선량 측정 시): 19.1 $\mu\text{Sv/h}$
- 꺼낼 때 : 260.9 $\mu\text{Sv/h}$
- Vial Shield 장착 시(덮개 open 경우) : 104.3 $\mu\text{Sv/h}$
- Vial Shield 장착 후(덮개 close 경우) : 13 $\mu\text{Sv/h}$

2) 주사 시 (10 mCi 환자와의 거리 0.5 m)

가) Radioisotope Calibrator 측정 시

- Radioisotope Calibrator chamber 안에 선원이 있을 때 : 4.2 μSv (방사선량률 측정 시)
- Chamber에서 선원을 꺼낼 때 7 $\mu\text{Sv/h}$ (방사선량률 측정 시)

나) 환자 주사 후

- 100 mm 납유리 뒷면: 8.7 $\mu\text{Sv/h}$

- 납유리 윗면(차폐범위 벗어난 위치; 머리): 78.3 μ Sv/h
- 차폐체(50 mm pb)윗면 생식샘 위치 : 2.6 μ Sv/h
- 무릎(50 mm pb) : 1.0 μ Sv/h
- 비차폐 주사 바로 직후 환자 측면 : 173 μ Sv/h

2) 개인방호복 0.5 mm pb 납치마사용시(0.5m, 1m)

3.1.2 ^{18}F -FDG 10 mCi 주사 3분, 60분 후 공간선량률 측정

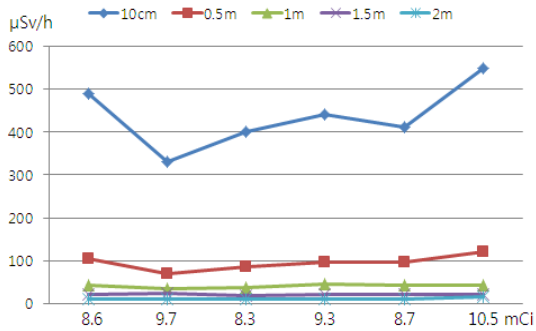
1) 개인방호복 미사용 시(10cm, 0.5m, 1m, 1.5m, 2m)

〈표 2〉 납치마 미사용시 공간선량률
단위: μ Sv/h

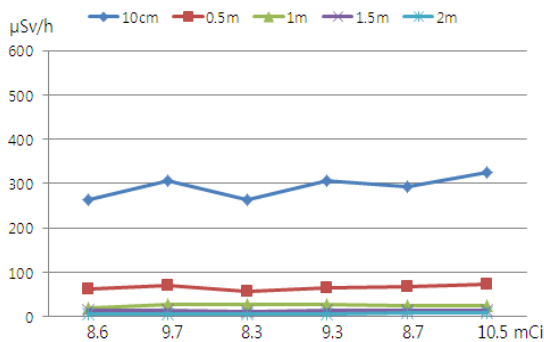
mCi	주사 후 3분					주사 후 60분				
	10 cm	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	10 cm	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m
8.6	488	104	43	21	10	264	63	19	12	6
9.7	329	70	35	24	10	305	71	26	12	6
8.3	400	87	37	19	11	263	56	27	10	5
9.3	441	96	46	21	10	307	64	27	13	6
8.7	412	96	42	22	11	292	68	25	14	8
11	549	122	44	21	16	324	72	24	14	8

〈표 3〉 0.5 mm Pb 납치마 사용여부에 따른 공간선량률
단위: μ Sv/h

mCi	3분				60분			
	0.5m		1m		0.5m		1m	
	미사용	사용	미사용	사용	미사용	사용	미사용	사용
8.6	104	114	43	44	63	81	19	20
9.7	70	88	35	36	71	90	26	27
8.3	87	104	37	37	56	74	27	29
9.3	96	115	46	47	64	83	27	28
8.7	96	115	42	43	68	86	25	26
11	122	142	44	44	72	90	24	25

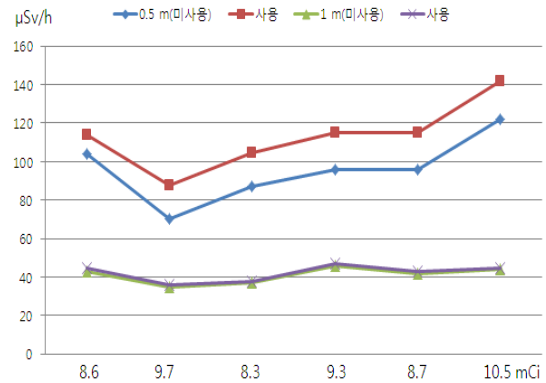


(a) 3분 공간선량률

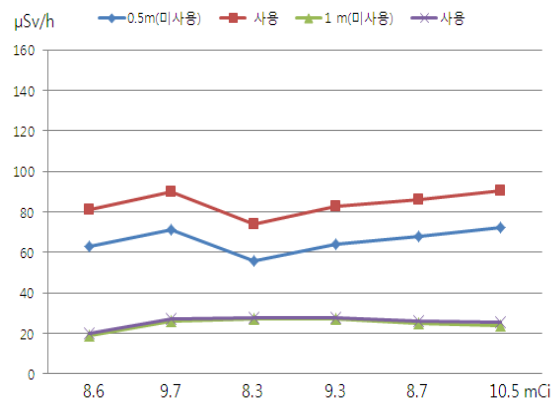


(b) 60분 공간선량률

〈그림 1〉 ^{18}F -FDG 주사 후 환자별 거리에 따른 공간선량률 비교(납치마 미사용)



(a) 3분 공간선량률

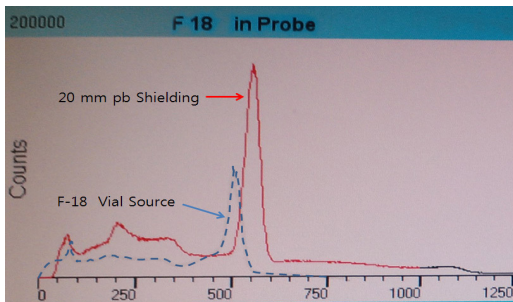


(b) 60분 공간선량률

[그림 2] 납치마 사용여부에 따른 공간선량률 비교

광전효과(photoelectric effect)는 0.1 MeV 전.후($h\nu < m_0c^2$)의 에너지에 대하여 일어나고 Compton 효과의 중

간에너지($m_e c^2 \leq h\nu \leq 20m_e c^2$)의 광자가 중요하며, 전자쌍생성(pair production)은 높은 에너지($h\nu > 2m_e c^2$)의 광자에 대하여 감마선과 물질과의 상호작용이 일어날 수 있다. 즉 광전효과의 흡수단면적은 원자번호의 4승 또는 5승에 비례하고, 질량흡수계수는 Z의 3~4승 그리고 에너지의 3승에 반비례한다. Compton 효과는 광자의 에너지가 높을 때, 즉 $h\nu \gg 2m_e c^2$ 의 경우 흡수단면적은 Z에 비례하고 광자에너지 $h\nu$ 에 반비례한다. 전자쌍생성 단면적은 Z^2 에 반비례한다. 따라서 광자에너지 $h\nu$ 에 대해서는 낮은 경우에는 $h\nu$ 에 비례하나, 현저히 높은 에너지에서는 $\ln h\nu$ 에 비례한다. 따라서 전자쌍생성에 의한 질량에너지 감약계수는 Z에 비례한다.[6] 따라서 F-18 FDG 방사성의약품 사용시 방출되는 에너지 분포를 알기 위해 F-18 70 mCi를 납차폐 상태와 미상태에서 방출되는 방사선 에너지를 측정 한 결과 Spectrum은 [그림 3]과 같이 획득했다.



[그림 3] F-18 방사선방출 Spectrum(CAPTUS 3000, 70 mCi F-18 FDG, 1024 channel MCA, 60 sec Counting)

3.1.3 ¹⁸F-FDG 주사 후 대기실 및 주사실 공간선량 측정

- 핵의학과 background : 0.43 μ Sv/h
- 업무중 주사실background : 5.2 μ Sv/h
- 업무중 환자대기실background : 29.3 μ Sv/h(3인 공동사용)

3.1.4 분배실 작업시간

숙련된 5년 이상 종사자의 경우를 대상으로 10회 실시하여, 평균 약 5분 44초의 환자와 근거리 작업이 이루어 졌다.

<표 4> 행위별 평균 작업시간

단위: 초					
혈당	약투여	약분배	주사	안내	기계조작
68	33	43	72	28	100

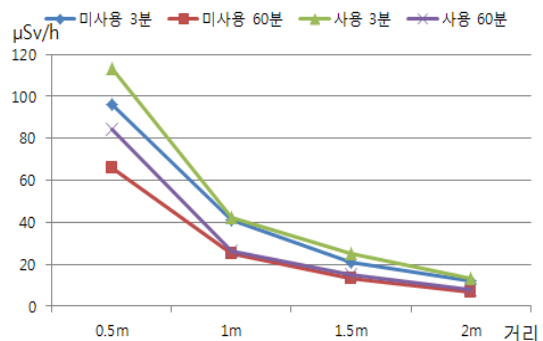
3.2 실험결과

3.2.1 시간, 거리에 따른 선량변화

여자 3명, 남자 3명의 검진환자 6명을 대상으로 평균 남자 키 167.3 cm, 몸무게 70.3 kg, 여자 키 162 cm, 몸무게 54.3 kg으로 ¹⁸F-FDG 남자 351 MBq(9.5 mCi), 여자 329.3 MBq(8.9 mCi) 주사하고 10 cm, 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m 거리에서 주사 후 3분과 60분(배뇨 후)의 공간선량을 측정했다. 주사 후 3분 표면 10 cm에서 437 μ Sv/h와 60분에 293 μ Sv/h로 측정되었고 시간별 공간선량은 <표 2>와 같다. 이는 주사 후 3분에서 표면 10 cm 공간선량을 비교하면 0.5 m의 거리에서 1/4.5 배, 1 m에서 1/10.6 배의 감소를 볼 수 있다. 60분 배뇨 후에 3분 10 cm 표면의 공간선량과 비교하여 0.5 m는 1/6.6, 1 m에서 1/17.5배로 감소됨을 알 수 있다. 이는 시간에 따른 물리학적 반감기와 거리역사승 법칙(inverse square law)에 의하여 한 점에서 발생하는 빛의 강도는 거리사승에 반비례하여 감소하는 현상으로 거리는 2배 증가 했지만 면적은 4배가 된다. 예로 X의 거리가 1이였을 때 144였다고 하면 2배 거리에서는 144를 4로 나눈 36이되며, 3배의거리에서는 32으로 나누어 16이 된다.[7][8][9] 이상과 같이 납차폐 미사용 3분 1 m 41 μ Sv/h는 12 μ Sv/h로 이론상의 10.25 μ Sv/h와 근접함을 알 수 있으며 실험값은 이론상의 데이터 값에 근접했다.

<표 5> 0.5mm Pb 납차폐 미사용과 사용시 평균 공간선량률 단위: μ Sv/h

		0.5 m	1 m	1.5 m	2 m
미사용	3분	96	41	21	11
	60분	66	25	13	7
사용	3분	113	42	25	13
	60분	84	26	15	8



[그림 4] 0.5 mm pb 납차폐 사용여부에 따른 시간과 거리에 따른 평균공간선량률 비교

3.2.2 납치마(0.5 mm pb) 사용과 촬영 Position 및 기계작동 시 차폐체 사용에 따른 선량변화

납치마 착용 시 납치마 후면에서 주사 후 3분 0.5 m에서 113 $\mu\text{Sv/h}$, 1 m에서 42 $\mu\text{Sv/h}$ 주사 후 60분(배뇨 후) 0.5 m에서 84 $\mu\text{Sv/h}$, 1 m에서 26 $\mu\text{Sv/h}$ 로 측정되었다. 이는 동일 조건하에서 납치마 사용할 때가 납치마 미사용 시 보다 0.5 m에서 3분 후 17 $\mu\text{Sv/h}$, 60분 후 18 $\mu\text{Sv/h}$ 로 약 1.2배 높게 측정되었고 1 m 이상에서는 납치마 사용여부와 무관하였다.

〈표 6〉 납치마 착용-미착용간 Wilcoxon 검정통계량^b

	0.5m IV 3분	1m IV 3분	0.5m IV 60분	1m IV 60분
Z	-2.207 ^a	-2.000 ^a	-2.271 ^a	-2.333 ^a
P-값 (양측)	0.027	0.046	0.023	0.02

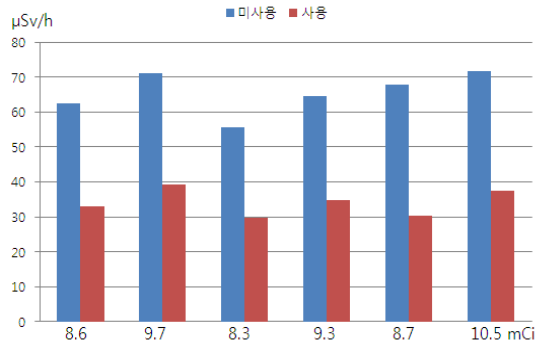
a. 음의순위를기준으로.
b. Wilcoxon 부호순위 검정

따라서 납치마 착용 전,후 각 0.5 m, 1 m의 각 3분, 60분에서 측정된 선량률을 비모수 검정법인 Wilcoxon 부호순위 검정법으로 분석한 결과, 모든 측정거리 및 시간에서 P값이 유의수준 0.05이하로 각기 납치마 착용-미착용간 차이가 있으며, Z값이 모두 음수로 착용 후 수치가 증가하였음을 알 수 있었다.

또한 측정된 공간선량률은 거리 역자승 법칙이 성립됨을 확인할 수 있었다. 따라서 0.5 mm pb 납치마의 사용은 ¹⁸F 취급시 근거리 0.5 m 이내작업이 이루어지는약품분배나 주사시는 오히려 납치마의 착용이 더 많은 피폭을 초래함을 <표 5>과 [그림 4]에서 알 수 있다.

〈표 7〉 주사 60분 후 30 mm(납 당량 6.6 mm pb) 납유리 이동용 차폐블럭 사용여부에 따른 공간선량률(거리 0.5 m)

성별	체중 (kg)	키 (cm)	투여량 (mCi)	단위: $\mu\text{Sv/h}$	
				미사용	사용
여	54	159	8.6	63	33
남	73	172	9.7	71	39
남	63	160	8.3	56	30
여	56	165	9.3	64	33
여	53	162	8.7	68	30
남	75	170	10.5	72	37
평균	62	165	9	66	35



〈그림 5〉 30 mm(납 당량 6.6 mm pb) 납유리 이동용 차폐블럭 사용여부에 따른 공간선량률(측정거리 0.5 m)

또한 60분(배뇨 후) 검사테이블에 선원(환자)이 있을 때 종사자와 방사선 선원과의 작업공간거리가 0.5 m 이내 인 점을 감안할 때 0.5 m에서 30 mm(납 당량 6.6mm pb) Lead Mobile Screen을 이용하여 차폐하고 장비를 조정할 경우 공간선량률을 <표 7>과 [그림 5]에서와 같이 약 1/2로 줄일 수 있었다.

3.2.3 기타 남녀별 시간에 따른 공간선량률 변화

〈표 8〉 남,여 별 시간과 거리에 따른 공간선량률

	단위: $\mu\text{Sv/h}$							
	주사 후 3분				주사 후 60분			
	0.5 m	1 m	1.5m m	2 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m
여	99	44	22	10	65	24	13	7
남	93	38	22	13	66	26	12	6

조사대상 평균 남자 70.3 kg/167.3 cm, 9.5 mCi와 여자 54.3 kg/162 cm, 8.9 mCi의 남,여별 시간과 거리에 따른 공간선량률의 남,녀간 차이에 의한 피폭량의 변화는

남녀별 시간에 따른 측정값을 독립표본검정법으로 동질성을 검정한 결과 유의확률(유의수준 < 0.05) 0.935, 0.905로 남,녀간 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 작업종사자의 피폭량에 영향이 미칠 만큼 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.2.4 공간선량측정 예측

조사결과에 따라 1일 1명의 작업종사자는 약 9명의 환자검사 실시로 방사선원과 근접 시간은 1환자 당 4분 3초, 1일 약 36분 27초를 방사선원을 직접취급하거나 피폭의 우려가 있는 작업을 실시한다. 작업을 크게 분류하면 다음과 같다.

- 분배 및 주사작업

분배 및 주사는 작업자의 숙련도와 가장 관계가 밀접하였다. 숙련도에 따라 선원을 다루는 시간편차가 컸다 따라서 공간선량률 평균은 작업 행위에 따라 편차가 심하여 주사시 차폐벽이외 노출되는 부분으로 약분배시의 선량률과 동일시 하였다.

$$\begin{aligned} \text{1일 분배 및 주사시간} &= 115 \text{ sec} \times 9\text{명} \\ &= 1,035 \text{ sec} / 60 \text{ sec} = 17 \text{ min } 15\text{sec} \end{aligned}$$

- 안내 및 기계조작

주사 후 안내(0.5 m)는 환경에 따라 다소 차이는 있으나 실험환경에서의 안내를 기준으로 했으며, 기계조작은 편차가 발생할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{주사 후 안내시간} &= 28 \text{ sec} \times 9\text{명} \\ &= 252 \text{ sec} / 60 \text{ sec} = 4 \text{ min } 12\text{sec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{기계조작 시간} &= 100 \text{ sec} \times 9 \text{명} \\ &= 900 \text{ sec} / 60 \text{ sec} = 15 \text{ min} \end{aligned}$$

따라서 1일 근무 중 선원을 직접 처리하거나 근거리작업으로 인한 전체 소요시간은 상기와 같이 약 36분 27초 이었다. 작업종사자가 받은 환자 1명 당 공간선량률은 분배 및 주사작업시 분배실 작업 시간 동안 차폐체에서 가려지지 않는 상부 평균공간선량률 78.3 $\mu\text{Sv/h}$, 주사 후 즉시 환자측면 0.5 m에서 공간선량률로 173 $\mu\text{Sv/h}$ 은 환자를 안내하는 동안 받았으며, 검사를 위한 기계조작시 주사 60분 배뇨 후 0.5 m에서 63 $\mu\text{Sv/h}$ 로 ^{18}F 를 취급하는 종사자의 경우 1일 9명의 환자를 검사 했을 때 약 36분 27초 동안 0.5 m 이내 범위에서 약 314.3 $\mu\text{Sv/h}$ 의 공간선량률을 받는 것으로 나타났다.

$$\text{따라서 } 36\text{분 } 27\text{초} = 2,187\text{초} \div 3600\text{초} = 0.60$$

1인이 $0.60 \times 314.3 \mu\text{Sv/h} \times 240 \text{ 일(년 근무일수)} = 45,259 \mu\text{Sv}$ 로 년당 240일 근무했을 때 약 45 mSv으로 방사선 관계종사자 개인피폭선량 허용한도인 50 mSv/년에 가까운 선량을 피폭할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 기타 인자를 포함하면 년 허용선량한도를 초과 할 수 있다는 점에서 관리가 필요함을 시사한다.

4. 고찰 및 결론

최근 병원들이 검진을 위해 CT, PET/CT를 많이 이용한다. 환자의 불편을 최소화 하기위해 같은 날 영상의학과 CT 실시 후 당일 PET/CT를 실시하는 경우가 많

다. 또한 중증환자의 보험적용은 PET/CT장치의 보급과 이용증가요인이 된다. 따라서 주변 보호자 및 종사자의 피폭이 증가되기에 방사선피폭의 안전이 고려되어야 할 것이다.

본 연구에서 서울시내 5개 대학병원을 조사결과 PET/CT검사실에 평균 1.5명이 1일 평균 18.5 건을 실시했다.

주사 후 1명의 환자가 PET/CT실에 머무는 시간은 평균 73분, 주사 후 환자와 종사자간의 접촉시간은 평균 5분 44초로 이중 직.간접적으로 방사선에 노출할 수 있는 동위원소분배와 주사 그리고 안내 및 검사를 위한기계조작 시간은 4분 3초로 조사되었다.

PET/CT검사시 종사자에게 가장 많은 피폭을 줄 수 있는 약 분배와 주사는 숙련도에 따라 많은 작업시간의 차이를 보이며, 숙련된 5년 이상 종사자를 기준으로 평균 약 5분 내외의 분배와 주사가 이루어 졌으나 숙련도에 따라 많은 편차를 보였으며 이는 피폭선량의 증가원인으로 기인했다.

테크네슘($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$) 분배와 주사시 대부분 납치마를 착용하지 않았으며, 일부 대학병원에서만 테크네슘 주사시 납치마를 착용하였고 상시 착용은 하지 않는 것으로 조사되었다.

PET/CT의 경우 차폐블록에서 작업이 이루어지며 납치마는 사용하지 않았다. 주사 후 환자대기실은 환자간 차폐벽을 이용하여 대기실에 3 ~ 4 명의 환자가 공동사용하고 있었으며, 1개 대학병원만이 최근시설 확충으로 일부 개인대기실을 사용하였다. 또한 PET/CT촬영시 검사 Table position과 기계조작시 환자와 종사자간 이동식 차폐블록을 사용하는 병원은 없었다.

이와 같이 PET/CT 종사자는 방사선피폭의 사각지대에 대부분 노출된 환경에서 근무하고 있음을 알 수 있다. 이는 핵의학과 PET/CT작업종사자가 일반 방사선취급 종사자나 테크네슘을 이용하는 종사자보다 현저하게 많은 방사선에 노출되고 있음을 확인 할 수 있다.

조사대상 대학병원의 2011년 1월부터 6월 피폭선량을 기준으로 핵의학 스캔검사 종사자의 주사실근무자와 PET/CT근무자와의 피폭선량은 월평균 PET/CT 근무자 경우 약 0.5 mSv, 분기별(3개월) 1.5 mSv, 테크네슘을 이용한 스캔주사실 근무자 경우 월 0.3 mSv, 분기(3개월) 1.0 mSv, Scan 근무만 종사할 경우 월 0.2 mSv, 분기(3개월) 0.8 mSv 피폭되는 것으로 조사 되었다.

특히 PET/CT종사자의 경우 동위원소 분배와 주사시 가장 많은 선량에 노출되는 것으로 조사 되었으며, 주사 후 환자와 근거리 작업이 원인으로 파악되었다.

또한 개인방호 방법에 납치마의 사용은 광전효과, 컴프턴 효과 및 전자쌍 생성과정에서 발생하는 주된 현상 등으로 인한 효과[5]로 납치마 사용시 더 많은 선량에 노출되는 것을 확인할 수가 있다. 따라서 PET/CT 작업종사자의 피폭감소를 위해서는 동위원소 분배시 불필요한 방사선 피폭을 방지하기 위해서 미리 주사선을 확보하고 Syringe shielding 상태에서 주사하거나 자동주사장치 (autoinjector)의 사용 및 방사선원과의 거리 및 각 행위별 작업시간 단축이 요구되며 분배실과 주사실의 완전한 차폐시설이 필요하다. 또한 스캔을 위한 기계조작시 환자와 종사자간 Lead Mobile Screen(≥ 30 mm)을 이용함 [10]으로서 방사선 피폭의 감소를 기대 할 수 있다. 특히 임상에서 방사선을 이용한 검사를 실시 할 때 실보다 득이 많을 때 한하여 검사를 실시하여 가능한 방사선 피폭을 줄임으로서 방사선피폭으로 인한 확률적 영향과 결정적 영향을 최소화 시킬 수 있다. 또한 정당화(justification), 최적화(optimization), 선량제한(limitation)의 3원칙과 방어 3원칙인 시간(time), 거리(distance), 차폐(shielding)를 충실히 지키므로써 종사자의 피폭감소를 기대할 수 있다. 또한 환자에게 주사 전 충분한 설명으로 주사 후 환자(방사선 발생원)와의 접촉을 줄임으로서 피폭의 감소를 기대할 수 있다.

2011년 피폭선량관리센터의 보고에 의하면, 핵의학과의 치료방사선 종사자를 제외한 통계에서 2010년 5 mSv/분기 초과자는 총인원수 대비 비율은 방사선 관계 종사자 55,614명중 1.6%(887명)로 동일한 것으로 나타났고, 개인 평균값은 0.58 mSv/년으로 2004년 0.97 mSv에서 지속적으로 감소됨을 알 수 있었다.[1] 그러나 핵의학과 PET/CT 종사자의 경우 피폭관리를 위해 순환근무를 실시함에도 불구하고 월평균 약 0.5 mSv, 분기별(3개월) 1.5 mSv로 많은 방사선 피폭에 노출됨을 알 수 있었다. 따라서 본 연구결과 의료방사선 관계종사자 중 특히 PET/CT종사자의 방사선피폭이 많음을 입증할 수 있었으며, 방사선피폭으로부터 보호하기 위하여 방사선의 적절한 사용과 관리 및 방어대책이 필요함을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 적절한 개인피폭의 감소를 위한 개인 피폭선량 감소화 설계와 방사선 방어시설, 누설선량 목표 설정에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 2010년도 의료기관 방사선관계종사자의 개인피폭 선량 연보(2011), 피폭선량관리센터.
- [2] 건강보험심사평가원-년도별 방사성 동위원소 치료건 수 통계자료(2010).
- [3] ICRP: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26(1977), Pergamon Press, Oxford, New York.
- [4] 정준기, 이명철(2008), 핵의학 3판, 고려의학, pp. 145.
- [5] J. S. Germain(1986), The radioactive patient, Semin. Nucl. Med., 16, pp.179-183.
- [6] 김창균(1996), 방사선 계측학, 신광출판사, pp.54-57.
- [7] 박수성, 김건상, 이관세, 이용철, 박경진, 김건중(1985), 진단방사선원리, 대학서림, pp.228-238
- [8] Tomas S. Curry, III, James E. Dowdey, Robert C. Murry, Jr.(1990) Christensen's Physic of Diagnostic Radiology. 4th rd, Lee & Febiger, Pennsylvania, MD, pp. 219-226.
- [9] Robin J. Wilks(1987), Principles of Radiological Physics. 2nd ed, Churchill Livingstone, New York, New York, pp. 28-53.
- [10] Peter Hogg, Giorgio Testanera,(2010) Principles and Practice of PET/CT Part 1. A Technologist's Guide, EANM, pp. 28
- [11] <http://www.convert-me.com/en/convert/radiation>

나 수 경



- 1985년 2월: 방송대학교 행정학과 (행정학사)
- 1988년 2월: 중앙대학교 보건행정학과(행정학석사)
- 2001년 2월: 경기대학교 물리학과 (박사)
- 1992년 9월~현재: 김천대학교 방사선학과 교수

· 관심분야: 방사선중양학, 핵의학
 · E-Mail: skna@gimcheon.ac.kr

박 병 섭



- 1985년 2월: 방송대학교 행정학과 (행정학사)
- 1997년 2월: 중앙대학교 보건행정과 (보건석사)
- 2000년 2월: 대전대학교 생물학과 (박사)
- 1988년 3월~현재: 김천대학교 방사선학과 교수

· 관심분야: 의료영상학, 핵의학
 · E-Mail: pk1718@hanmail.net

강 용 길



- 2000년 2월: 서울과학기술대학교 전기공학과(공학사)
- 2003년 2월: 고려대학교 의용과학대학원 의료정보.기기학(의공학석사)
- 2011년 8월: 광운대학교 일반대학원 전기공학과(박사수료)
- 2002년 9월~2004년 2: 김천대학교 방사선학과 강사

· 2006년 3월~현재: 고려대학교안암병원 핵의학과
 · 2004년 3월~현재: 김천대학교 방사선학과 겸임조교수
 · 관심분야: OLED, 고전압, 의용공학, 의료영상, 핵의학
 · E-Mail: koreatzp@korea.ac.kr