

PET, PET/CT 방사선 종사자의 피폭 관련요인

신구대학교 방사선과, 연세대학교 보건대학원¹⁾,
연세대학교 의과대학 세브란스병원 영상의학과교실 핵의학과²⁾,
연세대학교 의과대학 예방의학교실-산업보건연구소³⁾

박훈희 · 이정배³⁾ · 정필균¹⁾ · 이종두²⁾ · 원종욱³⁾ · 노재훈³⁾

— Abstract —

Radiotechnologists and Radiation Exposure from PET and PET/CT Systems

Hoon-Hee Park, Jeongbae Rhie³⁾, PilkyunJung¹⁾, Jong Doo Lee²⁾, Jong Uk Won³⁾, Jaehoon Roh³⁾

*Department of Radiology, Shingu University, Graduate School of Public Health Yonsei University¹⁾,
Division of Nuclear Medicine, Department of Radiology, Yonsei University Health System²⁾,
Department of Preventive Medicine-Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University³⁾*

Objectives: In this study, radiotechnologists who work performing PET and PET/CT methodologies were analyzed in order to find the cause for the differences in radiation exposure as they applied to general characteristics, work characteristics, knowledge, and exposure recognition or conduct.

Methods: From April 15th, 2010 to May 14th, 2010, we conducted a retrospective analysis on 80 radiotechnologists using data garnered from their individual general characteristics, work characteristics, knowledge, and exposure recognition or conduct. Their average annual radiation exposure dosages were measured using a thermoluminescence dosimeter. A multiple regression analysis was performed as a statistical tool.

Results: Regarding the general PET and PET/CT characteristics, when the work experience was short, the exposure dose was higher. The factors of age, marriage, work experience in nuclear medicine, PET, PET/CT, and sex were found to have statistically significant effects. The knowledge, recognition, and conduct factors for the radiotechnologists were affected by unsecure radiation exposure at the moment of carrying, unsecure radiation exposure at the moment of injection, the application of protection at the moment of injection, and the use of auto distributor. It was found that, the use of an auto distributor, efforts in reducing the radiation exposure, unsecure exposure when with a patient, and the application of protective procedures at the moment of injection affected the overall factor of radiotechnologists radiation exposure dose.

Conclusions: We believe that if radiotechnologists would reduce their radiation exposure by using auto distributors, make efforts to reduce the chance of exposure, and be conscious of radiation, they would be able to reduce the radiation exposure dose even during unavoidable circumstances.

Key words: Radiotechnologist, Radiation exposure dose, PET, PET/CT

서 론

방사선을 이용한 영상 진단학의 한 분야인 핵의학은 헝가리의 Hevesy가 1923년에 방사성추적자(tracer) 원리를 개발한 후 1927년에 미국의 Blumgart에 의해 최초로 임상연구에 이용되면서 물리학, 화학, 생물학, 그리고 약학 분야를 연구하는 학자들의 도움으로 발전되었다¹⁾.

우리나라 핵의학의 최초 도입은 1959년 3월 원자력법이 제정된 후에 갑상선기능 항진증 환자에게 ¹³¹I을 투여하여 치료한 것이 시작이었다. 이어서 각 대학병원에 핵의학 검사실이 설립되고 1961년에 대한핵의학회의 발족과 미국 원자력위원회의 연구장비 보급, 그리고 1969년에 감마카메라의 도입으로 핵의학 분야의 초석을 마련하였다. 1978년에 컴퓨터시스템이 핵의학 장비에 도입되면서 심장과 신장 등에서 동적검사가 가능해 졌고 1990년에는 삼중검출기단층촬영기가 설치되면서 영상의 해상력이 이전보다 우수해졌고, 특히 1986년 원자력 병원에 사이클로트론의 도입과 1994년 양전자방출단층촬영(PET, positron emission tomography) 장비의 보급으로 핵의학 분야가 발전을 하였다. 2003년 국내에 양전자방출단층촬영과 컴퓨터단층촬영이 결합된 장비(PET/CT)가 설치되기 시작하면서 현재는 우리나라에 PET과 PET/CT가 140여대 보급되었다²⁾.

PET은 각종 생화학적 물질의 생체 내 분포를 영상화하면서 생리적 지표들을 정량적으로 측정하여 생화학 또는 병리현상의 규명과 질병 진단, 치료 후 예후 판정, 치료계획 등에 이용되고 있다³⁾. 그러나 PET이 생체기능의 평가와 종양 분야에서 활용도가 높지만, 영상의 해상도가 X-선을 이용한 영상 진단학보다 상대적으로 낮고 해부학적 위치와 주변 조직과의 관계를 명확하게 구분하기 어려워 영상의 활용에 한계가 있었으나 X-선을 이용한 CT와 결합하면서 이를 극복할 수 있었다⁴⁾.

2000년대 초에 상용화에 성공한 PET/CT는 두 영상 획득장치를 병렬로 배열하여 환자가 동일한 위치에서 CT를 촬영한 후 이어서 PET를 촬영하여 두 검사영상을 바로 획득하고 PET과 CT의 융합된 영상을 얻을 수 있었다⁵⁾. 또한 이전 PET에서 발생한 문제인 체내 스캔위치에 따른 감마선의 감쇠 정도와 방사선 물리적 현상인 콤프턴 산란(Compton scattering)에 의한 배경잡음 유발에 따른 문제를 CT 영상으로 대체함으로써 전체 영상획득에 걸리는 시간을 크게 줄일 수 있었다. 이러한 장점들 때문에 PET/CT는 단독 PET을 빠르게 대체하고 있다⁶⁾.

PET, PET/CT는 ¹⁸F, ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O 등의 불안정한 방사성동위원소를 이용하는 영상법이다. 방사성동위원소를 이용한 영상획득의 기본원리는 원자핵의 양성자 1개가 중성자로 변환되면서 양전자를 방출하고, 이때 방출된 양전자

는 일정거리를 비행한 후 원자핵 주변의 전자와 만나 소멸된다. 이때 511 keV의 에너지를 갖는 두 개의 감마선이 방출되며 이를 통해 영상을 획득한다⁷⁾. 이런 물리화학적 현상에 의해 방사선의약품이 주입된 환자의 영상을 획득하는 방사선 종사자는 많은 피폭이 발생하게 된다. 이때 방사선 종사자의 피폭에 영향을 미치는 요인은 주사된 방사성의약품의 방사능량과 에너지, 방사성의약품의 체내 분포, 영상 획득에 소요되는 시간, 검사 시 환자와 방사선 종사자와의 거리, 방사성의품을 준비하는 동안에 국부적으로 손의 피폭선량이 많이 발생하지만 환자로 부터 받는 선량이 더 높았다⁸⁾.

핵의학의 방사선 종사자의 피폭요인에 대한 선행연구가 이루어졌으나, PET, PET/CT 업무 세분화에 따른 관련된 연구는 미비하였으며, 방사선 종사자의 피폭선량 감소를 위한 노력과 높아진 환경의식 및 안전문화 정착으로 인한 연구의 필요성이 증가하고 있었다.

이에 본 연구에서는 핵의학 분야의 PET, PET/CT 종사자의 일반적 특성, 근무 특성, 지식, 인식 및 행태에 따라 방사선 피폭 선량의 차이가 있는지 분석하고, 방사선 피폭 선량의 차이가 어떤 요인에 의한 것인지 규명하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

PET, PET/CT가 설치된 우리나라 2, 3차 종합병원에 근무하는 PET, PET/CT 방사선 작업종사자 120명 중에서 개인 방사선피폭선량 측정 현황이 정기적으로 조사 관리되지 않았던 36명과 불충분한 응답자 4명을 제외한 80명을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

1) 개인 방사선 평균피폭선량 조사 방법

핵의학 종사자의 피폭선량 측정은 현재 의료기관에서 사용하고 있는 열형광선량계(TLD, Thermoluminescence dosimeter)를 이용하여 매분기별로 조사된 피폭선량을 합하여 연간 피폭선량을 구하였다. 그 대상은 PET, PET/CT 업무에 종사하거나 종사한 경험이 있는 방사선 종사자로서 유사한 항목들끼리 분류하여 직종은 방사선사 단일 직종으로 수집하였다. 방사선피폭선량은 분기별로 집계된 피폭선량을 모두 합한 것이지만 피폭된 선량으로 대표될 수 있으며, 모든 피폭선량 값은 국제단위(SI단위)인 mSv로 표시하였다.

2) 설문조사 방법

설문조사 기간은 2010년 04월 15일부터 동년 05월 14일까지(30일간)이며 조사방법은 작성한 설문지를 직접 방문과 전자메일 등을 통해 보내고 작성된 설문지를 회수하였다.

2, 3차 종합병원에 근무하는 PET, PET/CT 방사선 작업종사자 전수를 대상으로 총 120부를 배부하여 84부(70.0%)를 회수하였으며, 그 중에서 문항별의 미응답자 4명을 제외한 최종적으로 80명을 연구대상으로 하였다. 조사응답자 84명이 근무하는 병원규모는 대학병원이 28명(33.3%), 종합병원 20명(23.8%) 및 일부 중소규모의 병원 36명(42.9%)이었다.

방사선에 관한 지식수준, 인식수준 및 행태수준 조사, 방사선 작업 종사자의 피폭선량에 영향을 미치는 요인들에 대한 평가 내용은 설문지를 통하여 자료를 수집하였다. 설문지는 문항 선택 식으로 일반적 특성은 성별, 연령, 결혼 상태, 방사선 관련 업무 종사기간, PET, PET/CT 근무기간을 조사하였고, 근무 중에서 방사선 노출 선량과 방사선의약품 관리할 때 방어용구 착용 여부와 분배, 주사, 이동, 환자 접촉시의 방사선 방어용구 착용 여부, 방사선 피폭 저감 노력에 관한 직무관련 방사선 노출정도와 방사선 작업 종사자의 피폭관리실태의 특성과 방사선 안전관리 및 방에 대한 지식수준, 인식수준 및 행태수준으로 분류하여 방사선 종사자에 대한 전반적인 평가를 위한 문항으로 구성된 구조화된 설문지를 이용하였다.

일반적 특성에서 PET, PET/CT 방사선 종사자의 지식수준 점수는 2문항으로 관련법과 선량한도에 관한 문항을 통하여 점수화 하였으며, 인식수준과 행태수준은 4문항과 10문항으로 5단계 척도로 나누어 “매우 잘 안다” 5점, “잘 안다” 4점, “보통이다” 3점, “잘 모른다” 2점, “전혀 모른다” 1점으로 하여 각 문항마다 5점 만점으로 하였으며 각 수준은 평균으로 비교하였다. 방사선안전관리 및 방에 대한 인식수준 및 행태수준은 각 문항을 5단계 척도로 나누어 “매우 그렇다” 5점, “그렇다” 4점, “보통이다” 3점, “그렇지 않다” 2점, “매우 그렇지 않다” 1점으로 점수화 하였다.

3) 조사변수

이 연구의 종속변수는 열형광선량계로 측정한 1년간의 피폭선량이다. PET, PET/CT 방사선 종사자의 일반적 특성은 성별, 연령, 결혼여부, 핵의학과 근무 기간과 PET, PET/CT 근무 기간과 방사선에 대한 지식수준, 인식수준, 행태수준으로 구분하였으며, 지식수준에 관련된 변수는 관련법에 관한 지식, 선량한도에 관한 지식이었고, 인식에 관련된 변수는 방사선이 인체에 미치는 여러 가지 생물학적인 영향에 대한 위험 평가 정도에 관한

사항이었다. 행태에 관련된 변수는 방사선 종사자의 분배, 주사, 이동, 환자와의 접촉 중 방사선 노출정도와 피폭관리 실태에 관한 사항이었다.

3. 분석 방법

일반적 특성은 빈도분석을 이용하였고, 지식, 인식 및 행태의 관련인자 검증은 t검정과 일원분산분석(ANOVA)을 시행하였다. 방사선 작업종사자의 피폭선량에 대한 각 요인별 관련인자 분석과 최종모형의 전체인자를 대상으로 한 관련인자 분석은 다중회귀분석(stepwise multiple regression)을 이용하였다.

수집된 자료는 SPSS ver 18.0.0 kr 통계패키지를 이용하였다.

결 과

1. 연구대상자의 특성

1) 일반적 특성

조사 대상자의 일반적 특성은 남자가 72명(90.0%)이고 연령대는 25~29세가 41명(51.3%), 결혼 상태는 기혼자가 48명(60.0%)으로 다수를 차지했다.

핵의학과와 총 근무 기간은 6~9년이 29명(36.2%)과 3~5년이 27명(33.8%)로 다수를 차지했으며 PET, PET/CT 근무기간은 3~5년이 39명(48.7%)과 1~2년이 30명(37.5%)순으로 으로 많았다(Table 1).

2) 일반적 특성에 따른 지식, 인식 및 행태 수준

(1) 지식

일반적 특성에 따른 지식수준은 평균 5점 만점 중에서 남자가 평균 3.64점, 여자가 평균 4.48점으로 남자보다 여자가 지식수준이 평균 0.84점이 높았다. 연령에서는 40~44세가 평균 4.02점, 기혼자가 평균 3.96점으로 미혼자보다 지식수준이 평균 0.19점이 높게 나타났다. 그리고 핵의학과에서 총 근무기간이 3~5년이 평균 4.25점, PET, PET/CT 근무기간이 1~2년이 평균 3.83점으로 지식수준이 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p>0.05$).

(2) 인식

일반적 특성에 따른 인식수준은 평균 5점 만점 중에서 남자가 평균 3.70점, 여자가 평균 4.12점으로 남자보다 여자가 인식수준이 평균 0.42점이 더 높았고 연령은 40~44세가 평균 4.25점으로 높았고, 기혼자가 평균 3.87점으로 미혼자의 평균 3.55점보다 인식수준이 평균

Table 1. Subject characteristics

Characteristic	Condition	Number	%
Sex	Male	72	90.0
	Female	8	10.0
Age	25~29	41	51.3
	30~34	27	33.7
	35~39	8	10.0
	40~44	4	5.0
	Single	32	40.0
Marital Status	Married	48	60.0
	<1 year	3	3.7
Work experience period in nuclear medicine	1~2	13	16.3
	3~5	27	33.8
	6~9	29	36.2
	10~19	8	10.0
	<1 year	11	13.8
Work experience period in PET and PET/CT	1~2	30	37.5
	3~5	39	48.7

Table 2. Knowledge score, cognitive score, and conduction score of subjects

Characteristic	Condition	Knowledge Score		Cognitive Score		Conduction Score	
		Mean \pm S.D.	p	Mean \pm S.D.	p	Mean \pm S.D.	p
Sex	Male	3.64 \pm 0.66	p>0.05*	3.70 \pm 0.77	p>0.05*	3.35 \pm 0.78	p<0.05*
	Female	4.48 \pm 0.59		4.12 \pm 0.21		4.50 \pm 0.57	
Age	25~29	3.84 \pm 0.94	p>0.05**	3.66 \pm 0.79	p>0.05**	3.22 \pm 1.23	p>0.05**
	30~34	3.92 \pm 0.90		3.91 \pm 0.65		3.57 \pm 1.11	
	35~39	3.56 \pm 1.21		3.68 \pm 0.55		3.60 \pm 0.33	
	40~44	4.02 \pm 1.11		4.25 \pm 0.39		3.80 \pm 0.38	
	Married	3.96 \pm 0.99	p>0.05*	3.87 \pm 0.69	p>0.05*	3.51 \pm 0.69	p>0.05*
Marital status	Single	3.77 \pm 0.90		3.55 \pm 0.80		3.27 \pm 0.44	
Work experience period in nuclear medicine	<1 year	3.00 \pm 0.96	p>0.05**	2.50 \pm 0.52	p>0.05**	3.00 \pm 0.46	p<0.05**
	1~2	3.37 \pm 0.89		3.50 \pm 0.78		2.72 \pm 0.38	
	3~5	4.25 \pm 0.38		4.00 \pm 0.78		3.52 \pm 0.49	
	6~9	3.95 \pm 0.65		3.77 \pm 0.61		3.64 \pm 0.69	
	10~19	3.25 \pm 1.70		3.66 \pm 1.22		3.60 \pm 0.94	
Work experience period in PET and PET/CT	<1 year	3.57 \pm 0.77	p>0.05**	3.64 \pm 0.89	p>0.05**	3.05 \pm 0.51	p<0.05**
	1~2	3.83 \pm 0.90		3.76 \pm 0.84		3.33 \pm 0.90	
	3~5	3.82 \pm 0.95		4.06 \pm 0.67		3.81 \pm 0.58	

*t-test, **ANOVA.

0.32점이 더 높았다. 핵의학과에서 총 근무기간과 PET, PET/CT 근무기간이 3~5년일 때 평균 4.00점과 평균 4.06점으로 인식수준이 가장 높았지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p>0.05).

(3) 행태

일반적 특성에 따른 행태수준은 평균 5점 만점 중에서 남자가 평균 3.35점, 여자가 평균 4.50점으로 남자보다 여자가 평균 1.15점이 행태수준이 더 높았고, 핵의학과에서의 총 근무기간이 6~9년일 때 평균 3.64점, PET, PET/CT 근무기간 3~5년일 때 평균 3.81점으로 행태수

준이 가장 높았으며 통계학적으로도 유의한 차이가 있었다(p<0.05, Table 2). 연령은 40~44세에서 평균 3.80점, 미혼자 평균 3.27점보다 기혼자 평균 3.51점으로 기혼자가 평균 0.24점이 행태수준이 더 높았으나 통계학적인 유의한 차이는 없었다(p>0.05, Table 2).

2. 방사선 종사자의 피폭선량

1) 일반적 특성과 지식, 인식 및 행태에 따른 방사선 종사자의 피폭선량

핵의학과에서의 총 근무기간이 1~2년차 였을 때가

12.43mSv로 그리고 PET, PET/CT 근무기간 1년 미만 이 4.87mSv로 방사선 종사자의 피폭선량 가장 많았으며 유의한 차이가 있었다($p<0.01$). 성별은 여자보다는 남자가 연령은 25~29세에서 결혼 상태는 기혼자보다 기혼자가 방사선 종사자의 피폭선량이 많았지만 통계적인 차이는 없었다($p>0.05$, Table 3).

지식수준에 따른 방사선 종사자의 피폭 선량의 결과는 관련법에 관한 지식수준과 선량한도에 관한 지식수준에서 점수에 따른 방사선 종사자의 피폭선량에는 차이가 없었다($p>0.05$). 인식수준에 따른 방사선 종사자의 피폭선량의 결과에서도 분배업무로 인한 피폭선량에 대해 불안정도 및 주사업무로 인한 피폭선량에 불안정도와 이동업무로 인한 피폭선량에 대한 불안정도, 업무 중 환자와의 접촉으로 인한 피폭선량에 대한 불안 정도에서 방사선 종사자의 피폭선량에는 차이가 없었다($p>0.05$). 그러나 행태수준에 따른 방사선 종사자의 피폭선량 결과에서는 방사선의약품의 관리할 때에 분배 시 보호 장구를 적극적으로 사용했을 때가 사용하지 않았을 때보다 평균 2.50mSv의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추었으며($p<0.05$), 분배 시 자동 분배기를 잘 사용했을 때가 그렇지 않았을 때 보다 방사선 종사자의 피폭선량을 평균 6.28mSv를 낮추었다($p<0.01$).

그리고 환자에게 방사선의약품의 주입할 때에 주사 시 보호 장구를 적극적으로 사용하였을 때 그렇지 못했을 때 보다 평균 4.56mSv의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추었지만($p<0.01$). 주사 시 자동분배기를 사용하는 유무에 따라서는 방사선 종사자의 피폭선량에 차이가 없었다($p>0.05$).

방사선의약품의 이동 시킬 때 보호 장구를 적극적으로 사용했을 때가 그렇지 못했을 때 보다 평균 5.76mSv가 더 낮추었으며($p<0.01$). 방사선의약품이 주입된 환자와 접촉할 경우에도 보호 장구를 적극적으로 사용하였을 때가 그렇지 못했을 때보다 방사선 종사자의 피폭선량을 평균 4.70mSv를 낮추었다($p<0.01$).

방사선 종사자가 방사선 주변 방어를 목적으로 방사선 노출에 대한 충분히 저감 노력을 기울였을 때가 그렇지 않았을 때보다 평균 5.20mSv의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추었고($p<0.01$), 방사선 종사자가 업무 수행 시 선원과의 적정거리를 유지했을 때가 그렇지 않았을 때보다 평균 6.07mSv를 낮추었다($p<0.01$).

업무 수행 시 방사선 종사자의 보호를 위해 적정 차폐체를 사용했을 때 평균 2.55mSv의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추었다. ($p<0.05$). 또한 방사선원의 격납을 잘 수행했을 때가 그렇지 않았을 때보다 평균 2.54mSv의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추었다($p<0.05$, Table 4).

3. 방사선 피폭선량과 관련된 요인

1) 방사선 종사자의 피폭선량과 관련된 일반적 특성

방사선 종사자의 일반적 특성을 교정한 상태에서 방사선 종사자의 피폭선량과의 관련성은 남성보다 여성일때 0.01배, 30세미만인 그룹보다 30대 이상의 그룹이 0.47배, 그리고 미혼자보다는 기혼자가 0.27배, 핵의학과 근무기간과 PET, PET/CT 근무기간이 3년이하인 그룹이

Table 3. Exposure dose of radiation workers by General characteristics

Characteristic	Condition	Exposure Dose (mSv)	p
Sex	Male	9.42±4.10	$p>0.05^*$
	Female	8.51±2.44	
Age	25~29	9.78±3.66	$p>0.05^{**}$
	30~34	9.06±3.38	
	35~39	8.57±2.44	
	40~44	8.51±3.33	
	45~49	8.51±3.33	
Marital status	Married	8.86±2.02	$p>0.05^*$
	Single	9.70±3.34	
Work experience period in nuclear medicine	<1 year	11.36±2.45	$p<0.01^{**}$
	1~2	12.43±2.38	
	3~5	9.73±2.78	
	6~9	8.95±1.05	
	10~19	6.31±1.56	
Work experience period in PET and PET/CT	<1 year	4.87±2.74	$p<0.01^{**}$
	1~2	3.47±1.09	
	3~5	2.83±1.23	

*t-test, **ANOVA.

2년이하인 그룹보다 0.14배와 0.03배의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추는 경향만이 있었다($p>0.05$, Table 5).

Table 4. Exposure dose of radiation workers by knowledge, cognition, and conduct

Characteristic	Classification	Condition	Exposure Dose (mSv)	p
Knowledge	Radiation related rules, regulations and laws	Low score	9.24 ± 3.75	$p>0.05^*$
		High score	7.78 ± 5.32	
	Radiation dose limit	Low score	9.40 ± 3.80	$p>0.05^*$
		High score	8.88 ± 5.22	
Cognition	Uneasiness of radiation exposure from radioisotope distribution	High	9.28 ± 4.21	$p>0.05^*$
		Low	9.28 ± 3.40	
	Uneasiness of radiation exposure from radioisotope injection	High	9.02 ± 3.45	$p>0.05^*$
		Low	9.48 ± 4.11	
	Uneasiness of radiation exposure from carrying radioisotope	High	9.02 ± 4.17	$p>0.05^*$
		Low	9.89 ± 3.45	
	Uneasiness of radiation exposure from patient contact	High	9.01 ± 3.74	$p>0.05^*$
		Low	10.09 ± 4.44	
Conduct	Using radiation shielding equipment in distribution	Use	9.09 ± 3.88	$p<0.05^*$
		Not use	11.59 ± 2.88	
	Using auto-distribution equipment in distribution	Use	4.49 ± 1.83	$p<0.01^*$
		Not use	10.77 ± 3.21	
	Using radiation shielding equipment in injection	Use	6.88 ± 2.32	$p<0.01^*$
		Not use	11.44 ± 3.44	
	Using auto-distribution equipment in injection	Use	8.62 ± 4.55	$p>0.05^*$
		Not use	9.33 ± 4.83	
	Using radiation shielding equipment in carrying	Use	5.23 ± 2.42	$p<0.01^*$
		Not use	10.99 ± 3.56	
	Using radiation shielding equipment in patient contact	Use	6.62 ± 2.54	$p<0.01^*$
		Not use	11.32 ± 3.46	
	Effort to reduce the radiation exposure	Sufficient	7.12 ± 2.74	$p<0.01^*$
		Insufficient	12.32 ± 3.36	
	Effort to keep the proper distance	Sufficient	6.62 ± 2.33	$p<0.01^*$
		Insufficient	12.69 ± 3.24	
	Effort to have the proper shield	Sufficient	8.40 ± 3.44	$p<0.05^*$
		Insufficient	10.95 ± 4.42	
	Effort to do the proper housing	Sufficient	7.88 ± 3.60	$p<0.05^*$
		Insufficient	10.42 ± 4.11	

*t-test.

Table 5. General characteristic of work related to exposure dose of radiation workers

Characteristic		β	p
Sex	Male*	1.00	
	Female	0.01	$p>0.05$
Age	<30 years*	1.00	
	30 years ≤	0.47	$p>0.05$
Marital status	Single*	1.00	
	Married	0.27	$p>0.05$
Work experience period in nuclear medicine	≤ 2 years*	1.00	
	3 years ≤	0.14	$p>0.05$
Work experience period in PET and PET/CT	≤ 2 years*	1.00	
	3 years ≤	0.03	$p>0.05$

$R^2_{adj}=0.229$

*reference group.

2) 방사선 종사자의 피폭선량과 관련된 지식수준, 인식수준, 행태수준 요인

방사선 종사자의 지식수준과 인식수준, 행태수준을 교정한 상태에서 방사선 종사자의 피폭선량과의 관련성은 지식수준과 관련된 문항 중에서 관련법에 관한 지식수준과 선량한도에 관한 지식수준이 없을 때보다 있을 때가 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추는 경향은 있었으나 유의한 의미는 없었다($p>0.05$).

인식수준과 관련된 문항 중에서 주사업무로 인한 피폭선량에 인식정도와 이동업무로 인한 피폭선량에 대한 인식정도는 인식하지 못할 때보다 인식했을 때에 0.49배와 0.63배의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮출 수 있었으며 ($p<0.05$), 분배업무로 인한 피폭선량에 대해 인식정도와

업무 중 환자와의 접촉으로 인한 피폭선량에 대한 인식정도에서도 인식하지 못할 때보다 인식했을 때에 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추는 경향은 있었으나 유의한 의미는 없었다($p>0.05$).

행태수준과 관련된 문항 중에서 방사선의약품을 관리할 때에 분배시에 자동 분배기를 잘 사용했을 때가 그렇지 않았을 때 보다 0.47배, 환자에게 방사선의약품을 주입할 때에 주사 시 보호 장구를 적극적으로 사용했을 때가 그렇지 못했을 때보다 0.48배의 방사선 종사자의 피폭선량을 낮출 수 있었고($p<0.05$), 방사선 종사자가 방사선 주변 방어를 목적으로 방사선 노출에 대한 충분히 저감 노력을 기울였을 때가 그렇지 않았을 때보다 0.40배, 업무 수행 시 선원과의 적정거리를 유지했을 때가 그렇지

Table 6. Exposure dose of radiation workers related to knowledge, cognition, and conduct

Characteristic			β	p
Knowledge	Radiation related rules, regulations and laws	without	1.00	
		with	0.11	$p>0.05$
	Radiation dose limit	without	1.00	
		with	0.06	$p>0.05$
Cognition	Uneasiness of radiation exposure from radioisotope distribution	without	1.00	
		with	0.20	$p>0.05$
	Uneasiness of radiation exposure from radioisotope injection	without	1.00	
		with	0.49	$p<0.05$
	Uneasiness of radiation exposure from carrying radioisotope	without	1.00	
		with	0.63	$p<0.05$
Conduct	Uneasiness of radiation exposure from patient contact	without	1.00	
		with	0.12	$p>0.05$
	Using radiation shielding equipment in distribution	without	1.00	
		with	0.01	$p>0.05$
	Using auto-distribution equipment in distribution	without	1.00	
		with	0.47	$p<0.01$
	Using radiation shielding equipment in injection	without	1.00	
		with	0.48	$p<0.01$
	Using auto-distribution equipment in injection	without	1.00	
		with	0.08	$p>0.05$
	Using radiation shielding equipment in carrying	without	1.00	
		with	0.19	$p>0.05$
	Using radiation shielding equipment in patient contact	without	1.00	
		with	0.02	$p>0.05$
	Radioactive material management	without	1.00	
		with	0.13	$p>0.05$
	Effort to reduce the radiation exposure	without	1.00	
		with	0.40	$p<0.05$
	Effort to keep the proper distance	without	1.00	
		with	0.38	$p<0.05$
	Effort to have the proper shield	without	1.00	
		with	0.10	$p>0.05$
	Effort to have the proper housing	without	1.00	
		with	0.23	$p<0.05$

$R^2_{adj}=0.592$

Reference group: without

않았을 보다 0.38배, 방사선원의 격납을 잘 수행했을 때가 그렇지 않았을 때보다 0.23배의 방사선 종사자에 대한 피폭선량을 낮출 수 있었다($p<0.01$). 그러나 이외의 행태수준과 관련된 문항에서는 행위를 하지 않을 때보다 했을 때에 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추는 경향은 있었으나 유의한 의미는 없었다($p>0.05$, Table 6).

3) 방사선 종사자의 피폭선량에 관련된 요인

전체 요인을 교정한 상태에서 방사선 종사자의 피폭선량에 영향을 많이 준 요인은 방사선의약품을 관리할때에 분배시 자동분배기 사용여부(0.42배), 방사선 노출감소 노력(0.29), 환자 접촉시 피폭선량 불안감(0.21배), 이 동시 보호장구 착용여부(0.19배), 주사시 보호장구 착용여부(0.19배)순으로 방사선 종사자의 피폭선량에 영향력이 있었다($P<0.05$, Table 7).

고 찰

방사선의 의학적 이용이 증가하므로 직무상 피폭이 점차로 증가하고 있다고 할 수 있으며, 1928년 결성된 국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서는 새로운 권고안에서 직업상피폭을 연간 50mSv에서 5년간 100mSv를 초과하지 않는 범위 내에서 연간 최대 20mSv으로 선량 한도를 하향 조정하여 권고하였다⁹⁾.

의료기관에서의 방사선의 의학적 이용도는 증가되고 있으나 방사선 진단기기 및 방호시설의 발전에도 불구하고 방사선 종사자의 방사선에 대한 노출의 기회는 점점 늘어나고 있는 실정이고, 방사선학적 검사에 이용되는 방사선이 대부분 전리방사선을 사용하고 있어 생물학적 효과가 커 생체에 손상을 더 많이 주고 있다. Miller의 보고에 의하면 임신동안 0.2~0.4Gy의 저선량의 방사선을 받고

태어난 아이에서 정신장애(mental retardation)가 심했다고 하였다¹⁰⁾. 또한 Hendee의 연구에서도 1cGy 당 0.2~0.3 포인트의 IQ(intelligency quotient)가 낮아진다고 했다. 그러므로 직업상의 방사선 피폭에 따른 방사선 장해를 방지하기 위해 선량한도 기준 내에서 방사선 피폭을 최소한으로 줄이는 노력이 필요하다¹¹⁾.

방사선 방어에 대한 관심이 점차 증가되고 있으며, 이에 따른 다양한 선행연구가 진행되었다. 직종별, 업무별로 구분한 연구 중 핵의학과의 평균피폭선량이 높았고, 실제 방사선 종사자 근무 분야별 피폭에 관한 분석은 1998년부터 2003년까지 방사선 종사자 피폭선량 분석에서 종사자가 연간 평균선량 0.59~2.02mSv 범위였다. 이는 전체 방사선 종사자를 대상으로 분석 결과이지만, 병원 방사선 종사자의 피폭분석 현황에서 핵의학과의 다른 과보다 방사선 피폭이 높았고, 동위원소를 환자에게 주입하는 과정에서 가장 많은 피폭을 받게 되는 것을 지적했다. 이는 핵의학과에서 방사성동위원소의 사용량이 많으며, 의료장비의 발달로 인하여 검사시간 단축으로 인한 검사처리 속도의 빨라짐과 PET, PET/CT 장비의 폭넓은 보급화로 인해 고에너지 방사성동위원소 사용의 증가와 의료기관의 대형화에 따른 검사수의 빈도가 증가했기 때문이다. PET 검사 건수와 방사선 종사자의 피폭선량에 대해서 Seierstad 등은 매년 500명의 환자를 덜 검사할 경우 방사선 종사자의 연간 피폭이 2~3mSv 낮아진다는 연구 결과를 발표하였다¹²⁾.

따라서, 본 연구는 PET, PET/CT 방사선 종사자의 업무 특성에 따른 다양한 요인과 방사선 피폭과의 관련성을 평가하기 위하여 전국에 PET, PET/CT가 설치된 병원의 방사선 종사자 80명을 대상으로 하여 일반적인 특성과 지식, 인식 및 행태 등을 파악하여 피폭선량과의 관련성을 분석하였다.

대상자의 연령은 29세 이하가 전체의 51.3%로 대부분

Table 7. Factor of radiation-worker exposure dose

Characteristic		β	p
Using auto-distribution equipment in distribution	without	1.00	p<0.01
	with	0.42	
Effort to reduce the radiation exposure	without	1.00	p<0.01
	with	0.29	
Uneasiness of radiation exposure from patient contact	without	1.00	p<0.01
	with	0.21	
Using radiation shielding equipment in carrying	without	1.00	p<0.05
	with	0.19	
Using radiation shielding equipment in injection	without	1.00	p<0.05
	with	0.19	
R ² _{adj} =0.863			

Reference group: without.

PET, PET/CT 방사선 종사자가 젊은 연령대에서 많았고, 그에 따라 실제 PET, PET/CT에 근무기간도 2년 이하의 경력을 가진 대상자가 전체의 51.3%였다.

지식, 인식, 행태에 있어서는 일관성을 보이지 않았으나, 피폭선량에서 근무기간이 길수록 피폭선량이 낮아지는 추세를 보이고 있으며, 선임의 경우 행정적 업무를 병행하는 경우가 많아 직접적인 피폭선량이 저감함을 예상할 수 있으며, 근무기간이 짧은 경우 업무 숙련도가 근무기간이 긴 종사자보다 떨어지는 것을 감안한다면 위와 같은 결과를 설명할 수 있다. PET, PET/CT의 근무기간에 따른 피폭선량의 비교에서도 2년 이하의 근무자가 피폭선량이 많았고, 이는 근무 숙련도로 설명이 가능하다. Robinson 등은 PET의 근무경력이 많을수록 방사선 피폭정도가 적다는 결과와 일치한다¹³⁾.

방사선 종사자의 행태에 따른 방사선 피폭선량 분석 결과 방사선 피폭 저감을 위한 보호 장구의 착용, 적극적인 방사선 방호의 노력이 방사선 피폭 저감에 직접적으로 영향을 미치고 있음을 설명하고 있다. 특히, 실제 업무에서 간과 할 수 있는 이동시의 방사선 보호 장구의 착용, 분배시의 자동주입기 사용 여부에서 의미 있는 차이를 나타냈다. Guillet 등은 PET 검사에 사용되는 방사성 동위원소의 분배와 주사 시 방사선 피폭 경감을 위해 차폐체를 추가로 제작하는 것을 강조하였으며¹⁴⁾, 실제 업무에서 주의를 기울인다면, 현재의 방사선 피폭을 감소하는데 중요한 역할을 할 수 있다고 생각된다.

방사선 종사자의 피폭선량에 영향을 미치는 요인은 이동 시 피폭 불안감, 주사 시 피폭 불안감, 주사 시 보호 장구 착용, 분배 시 자동분배기 사용, 방사선노출 감소 노력, 적정거리 유지 노력, 방사선원 격납 노력, 분배 시 피폭 불안감, 이동 시 보호 장구 착용, 방사성물질 관리, 환자접촉 시 피폭 불안감, 관련법에 대한 지식, 적정 차폐 노력, 주사 시 보호 장구 착용, 선량한도에 관한 지식, 접촉 시 보호 장구 착용, 분배 시 보호 장구 착용의 요인의 순서로 피폭선량에 대한 영향력이 있었다. Zanzonico 등의 연구에서는 PET 검사 시 방사선원의 방사선 종사자의 거리가 멀어질수록 방사선 피폭을 현저하게 감소시킬 수 있다는 연구 결과와 일치하며¹⁵⁾, Benatar 등의 연구에서 환자 대기 시 방사선원, 대기환자와의 접촉을 줄이면 방사선 피폭을 경감할 수 있다는 연구 내용과도 일치한다¹⁶⁾. 실제 업무에 적용하여 각별한 주의와 피폭감소를 위한 노력을 지속한다면, 전체 피폭선량 감소에 도움이 되리라 사료된다.

방사선 종사자의 피폭선량에 영향을 미치는 전체 요인 중 분배 시 자동분배기의 사용, 방사선 노출감소 노력, 환자 접촉 피폭 불안감, 이동 시 보호 장구 착용, 주사 시 보호 장구 착용 순서로 의미 있는 요인이었다($p<0.05$).

위의 다른 분석결과와 관련지어 불필요한 방사선에 의한 피폭을 줄이는데 도움이 되리라 생각되며, 이는 Robert의 연구에서 PET 검사 시 환자와의 접촉을 줄이고, 방사선에 대한 차폐를 잘 한다면 피폭을 줄일 수 있다는 연구결과와 일치한다¹⁷⁾. 위의 요인에 보다 적극적인 방사선 방어를 한다면 만성적인 방사선 피폭으로 인한 건강상의 불이익을 미연에 방지 할 수 있을 것으로 기대 할 수 있다.

본 연구는 PET, PET/CT의 고에너지 방사선 동위원소의 사용과 기하급수적으로 증가하고 있는 검사건수에 비해, 이와 유사 연구가 그 동안 미비하였으며, 업무에 따른 세부적인 분석이 그간 없었던 점을 감안할 때, PET, PET/CT 방사선 종사자의 업무에 대한 방사선 피폭선량과의 관련성을 확인하는데 그 의미가 있다고 여겨진다. 앞으로 보다 PET, PET/CT 방사선 종사자의 피폭선량에 대한 더 많은 연구가 진행된다면, 방사선 종사자의 피폭 경감에도 도움이 되리라 생각된다.

요 약

목적: 본 연구는 핵의학 분야의 PET, PET/CT 종사자의 특성에 따라 방사선 피폭 선량의 차이가 있는지 분석하고, 방사선 피폭 선량의 차이가 어떤 요인에 의한 것인지 규명하는 것이 목적이다.

방법: 2010년 4월 15일부터 1개월간 PET, PET/CT 방사선종사자 80명을 대상으로 일반적 특성, 근무 특성, 지식, 인식 및 행태를 조사하고, 열형광선량계를 이용하여 연 피폭선량을 측정하였다. 피폭 관련 요인은 단계별 다중회귀분석을 실시하여 파악하였다.

결과: 방사선 종사자의 피폭선량과 관련된 지식수준, 인식수준, 행태수준별 요인중에서 인식수준과 행태수준의 인자에서 방사선 종사자의 피폭선량을 낮추는 것이 유의한 의미가 있었다. 그리고 전체모형에서 방사선 종사자의 피폭선량에 관련된 요인으로 분배 시 자동분배기 사용 여부, 방사선 노출감소 노력, 환자 접촉 시 피폭 불안감, 이동 시 보호 장구 착용, 주사 시 보호 장구 착용 여부였고, 위의 순서로 방사선 종사자의 피폭선량에 대한 영향력이 컸다.

결론: PET, PET/CT 방사선 종사자는 가급적 자동분배기를 사용하고, 방사선 노출을 감소하려는 노력을 적극적으로 하며, 환자 접촉 시 보다 방사선 피폭에 대해 경각심을 가지고 일을 한다면, 업무 상 불가피하게 발생되는 방사선 피폭의 저감에 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. Physics in

- nuclear medicine. 3rd ed. Saunders. 2003. pp 325-9.
- 2) Kim HJ. Current status of imaging physics and instrumentation in nuclear medicine. Nucl Med Mol Imaging 2008;42(2):83-7.(Korean)
- 3) Townsend DW. Multimodality imaging of structure and function. Phy Med Bio 2008;53:R1-R39.
- 4) Lang TF, Hasegawa BH, Liew SC, Brown JK, Blankespoor Sc, Reilly SM, Gingold EL, Cann CE. Description of a prototype emission-transmission CT system. J Nucl Med 1992;33(10):1881-7.
- 5) Hasegawa BH, Iwata K, Wong KH. Dual-modality imaging of function and physiology. Acad Radiol 2002;9:1305-21.
- 6) Ruhlmann J, Oehr P, Menzel C, Kley K, Bender H, Grunwald F, Biersack HJ. Fdg-pet in clinical oncology; Review and evaluation of results of private clinical pet center. Clinical Oncology 1998;20(7):168-79.
- 7) Gambhir SS. A tabulated summary of the FDG PET literature. J Nucl Med 2001;42(suppl 5):1S-79S.
- 8) Kearns WT, Urbanic JJ, Hampton CJ, McMullen KP, Blackstock AW, Stieber VW, Hinson WH. Radiation safety issues with positron-emission/computed tomography simulation for stereotactic body radiation therapy. J Appl Clin Med Phys 2008;9(3):2736-40.
- 9) ICRP Report 60. Recommendation of the international commission on radiological protection. Pergamon Press. 1990.
- 10) Miller RW. Lowdose radiation exposure. West J Med 1990;24(1):1166-7.
- 11) Hendee WR. Real and perceived risks of medical radiation exposure. West J Med 1998;11(1):380-6.
- 12) Seierstad T, Strandén E, Bjering K, Evensen M, Holt A, Michalsen HM, Wetteland O. Doses to nuclear technicians in a dedicated PET/CT centre utilising 18F fluorodeoxyglucose(FDG). Radiat Prot Dosimetry 2007;123(2):246-9.
- 13) Robinson CN, Young JG, Ibbetson VJ. A study of the personl radiation dose received by nuclear medicine technologists working in a dedicated PET center. Health Phys 2005;88(suppl 1):17S-21S.
- 14) Guillet B, Quentin P, Waultier S, Bourrelly M, Pisano P, Olivier Mundler. Techologist radiation exposure in routine clinical practice with ¹⁸F-FDGPET. J Nucl Med Technol 2005;33:175-9.
- 15) Zanzonico P, Dauer L, Germain JS. Health Phys Operational radiation safety PET-CT, SPECT-CT and cyclotron facilities. Health Phys 2008;95(5):554-70.
- 16) Benatar NA, Cronin BF, O'Doherty MJ. Radiation dose rates from patients undergoing PET: implication for technologists and waiting areas. Eur J Nucl Med 2000; 27(5):583-9.
- 17) Roberts FO, Gunawardana DH, Pathmaraj K, Wallace A, U PL, Mi T, Berlangieri SU, O'Keefe GJ, Rowe CC, Scott AM. Radiation dose to PET technologists strategies to lower occupational exposure. J Nucl Med Technol 2005;33(1):44-7.