

Evaluation of the Shielding Effect of Lead Apron according to the Energy Spectrum Change of ^{99m}Tc

Changyong Yoon, Youngsik Ji*

Department of Nuclear Medicine, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer center

Received: October 17, 2023. Revised: November 20, 2023. Accepted: November 30, 2023.

ABSTRACT

Changes in the energy spectrum were analyzed using ^{99m}Tc as a point source and a scattering phantom, and the shielding effect of the lead apron according to the changed gamma ray energy was evaluated. In the gamma ray energy spectrum of the scattering phantom, the photo peak area decreased and the Compton scattering area increased compared to the point source. The coefficients for each energy range according to the change in the shape of the gamma ray source showed a reduction rate of up to 66.1 % at a distance of 20 cm compared to the coefficient of the point source, and in the Compton scattering area, the coefficient of the scattering phantom was 122.2 % at a distance of up to 40 cm compared to the coefficient of the point source. In the difference in shielding rate according to the distance between the source and the scattering phantom using a gamma camera, the photo peak area showed similar results, but in the Compton scattering area, the shielding rate of the scattering phantom at a distance of 20 cm increased by 29.2 % compared to the shielding rate of the point source. As the distance increased, the difference in shielding rate decreased. In measuring the shielding rate of the lead apron using a radiation dosimeter, the difference in the shielding rate of the scattering phantom was up to 15.3 %, and as the distance increased, the difference in the shielding rate between the two sources decreased. The shielding rate of the lead apron of the scattering phantom is higher than that of the point source, and the effectiveness of the lead apron increases as the distance to the source increases. As a result, wearing a lead apron when directly confronting a patient who has injected radioactive pharmaceuticals is expected to be helpful in reducing radiation exposure.

Keyword: ^{99m}Tc, Energy Spectrum, Lead Apron, Radiation Shielding

I. INTRODUCTION

핵의학과의 방사선작업종사자들은 의료 환경에서 직업적으로 방사선이 노출되는 환경에서 비교적 높은 연간 유효선량을 받는다^[1,2]. 핵의학과 방사선작업종사자들의 주요 피폭 원인은 방사성의약품 제조하고 환자에게 주사하는 과정에서 발생한다고 생각해 왔다. 하지만 방사성의약품을 취급하는 과정에서 사용되는 차폐물과 주사기 차폐체의 사용으로 이 작업과 관련된 방사선 피폭을 크게 줄이는 것으로 나타났다^[3]. 핵의학과 방사선작업종사

자들의 또 다른 주요 피폭원인은 방사성의약품이 주입된 환자와의 상호작용에서 비롯된다^[4,5]. 핵의학과에서 사용 중인 납 앞치마는 방사선작업종사자들이 방사성의약품을 제조 및 주사할 때 방사선 방호 목적으로 착용한다. 하지만 방사성의약품을 주입한 환자를 검사하는 과정에서는 장시간 착용으로 인한 불편함과 근골격계 질환을 일으키는 무거운 무게 때문에 대부분 착용하지 않고 있다^[6,7].

감마선원이 인체 내 주입되면 점선원과 에너지 분포가 달라진다. 핵의학과에서 가장 많이 사용되는 ^{99m}Tc를 주사한 환자에서 방출된 140 keV의 감

* Corresponding Author: Youngsik Ji

E-mail:120124@dirams.re.kr

Tel: *** - **** - ****

마선은 높은 비율로 상호작용 없이 환자를 통과하며 콤프톤 산란 작용으로 더 낮은 에너지의 광자를 생성한다^[8,9]. 이 중 일부는 환자에게 흡수되지만 다른 일부는 탈출하거나 추가 상호작용을 일으킨다. 이러한 낮은 에너지의 광자가 방사성작업종사자에게 입사 하면 흡수되는 광자의 비율을 더 높게 된다. 이러한 현상은 방출되는 저에너지 광자로 인해 발생하는 2차 전자의 발생으로 인해 피폭선량을 높일 수 있다^[10-13]. 그러므로 방사성의약품이 주사된 환자를 통한 피폭선량 평가는 점선원이 아닌 팬텀을 이용하여 저에너지 영역으로 에너지 스펙트럼을 변화시켜 평가해야 한다^[14].

이에 본 연구는 ^{99m}Tc 점선원과 산란 팬텀을 이용하여 감마선원 형태를 변화시켜 에너지 스펙트럼 변화에 따른 납 앞치마의 방사선 차폐효과를 평가해 보았다.

II. MATERIAL AND METHOD

1. 실험 재료

감마선원으로 사용된 방사성동위원소는 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 를 사용하였으며 점선원은 실제 임상환경과 유사한 조건을 위하여 1 cc 주사기에 0.1 cc 용량으로 사용하였다. 산란팬텀으로 NEMA Phantom (IEC NEMA body Phantom)을 사용하였으며 인체 조직과 유사한 방사선 산란 환경을 만들기 위해 물을 혼합하여 사용하였다. 사용된 방사능량은 에너지스펙트럼 및 에너지영역별 차폐 실험에서 점선원과 산란팬텀에 각각 0.3 μCi 를 검량계 측정 후 즉시 사용하였고 방사선 선량계를 이용한 차폐실험에서는 점선원과 산란팬텀에 각각 10 mCi를 검량계 측정 후 즉시 사용하였다. 방사선량 측정에 사용된 계측기는 Tracerco사의 PED+로 국가측정표준기관으로부터 측정 소급성이 확보된 표준장비를 이용하여 2023년 4월 27일 교정하여 사용하였다. 에너지 스펙트럼 실험에는 SIEMENS Symbia E 장비의 Analyzer 기능을 사용하였으며 장비의 계측 불감시간을 고려하여 0.3 μCi 의 방사능을 사용하였다. 에너지 영역별 차폐 효과 실험에는 감마카메라 SIEMENS Symbia E 장비의 Acquisition 모드를 이용하여 에너지영역을

설정 후 0.3 μCi 의 방사능을 사용하여 측정하였다. 차폐효과 실험을 위해 납 앞치마가 0.5 mmPb를 사용하였다. Fig. 1에 실험재료를 나타내었다.

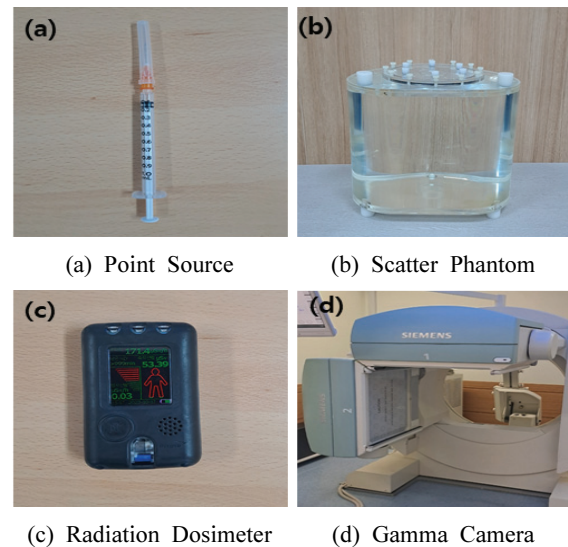


Fig. 1 Experimental Material.

2. 에너지 스펙트럼 측정 및 에너지 영역 별 계수치 측정

감마카메라의 조준기를 제거하고 디텍터와 점선원 및 산란 팬텀의 거리를 20 cm로 하여 60초간 측정하였다. ^{99m}Tc 선원의 에너지 스펙트럼 영역을 Table 1과 같이 Photo peak 영역과 팬텀 내 물과 상호작용에 의한 Compton scatter 영역으로 2 부분으로 나누어 측정하였다. 측정 시 실험실의 방사선원을 모두 제거하고 60초간 백그라운드를 측정한 후 계수치에 반영하였다.

3. 납 앞치마의 차폐율 측정

에너지 영역별 차폐효과 실험에는 감마카메라 SIEMENS Symbia E 장비를 조준기를 제거하고 사용하였으며 ^{99m}Tc 선원의 에너지 스펙트럼 영역을 Table 1과 같이 Photo peak 영역과 팬텀 내 물과 상호작용에 의한 Compton scatter 영역으로 2 부분으로 나누어 측정하였다. 점선원과 Phantom에 각각 ^{99m}Tc 0.3 μCi 로 일반적인 환자 대면 거리를 반영하여 20, 40, 60, 80, 100 cm 거리에서 선원의 중심부를 기준으로 60초간 감마카메라의 계수치를 측정

하였다. 차폐 효과 측정을 위하여 납 앞치마로 감마카메라의 디텍터를 완전히 차폐한 후 동일한 조건으로 측정하였다. 차폐율 평가에는 Eq. (1)을 활용하여 납앞치마의 차폐율을 계산하였다.

$$\frac{\text{차폐를 하지 않은 값} - \text{차폐를 한 값}}{\text{차폐를 한 값}} \times 100 = \text{차폐율}(\%) \quad (1)$$

Table 1. Energy Spectrum Measurement Range

Spectrum	Windows
Photo peak	120 ~ 160 keV
Compton scatter	20 ~ 119 keV

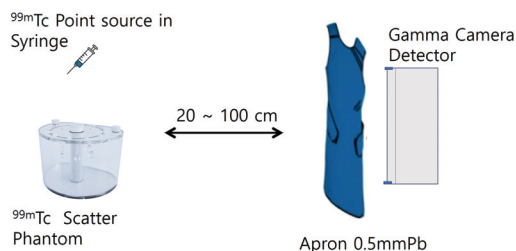
방사선 선량계를 이용한 차폐효과 실험을 위하여 점선원과 산란팬텀에 각각 핵의학검사 시 투여되는 평균 방사능 10 mCi의 ^{99m}Tc를 사용하였다. 일반적인 환자 대면 거리를 반영하여 20, 40, 60, 80, 100 cm 거리에서 각 선원의 중심부를 기준으로 10회 측정하였다. 방사선 선량계 PED+는 최소 분단위부터 시간 단위, 일 단위 별로 분류하여 데이터를 저장할 수 있으며, 측정된 피폭 선량은 제조사에서 제공하는 프로그램을 이용하여 실험실의 백그라운드를 측정하여 방사선량률(μSv/h)을 분석하였다. 차폐 효과 측정을 위하여 납 앞치마로 방사선 선량계를 완전히 차폐한 후 동일한 조건으로 측정하였다. Fig. 2에 각 실험을 위한 개념도를 나타내었다. 차폐율 평가에는 Eq. (1)을 활용하여 납 앞치마의 차폐율을 계산하였다.

III. RESULT

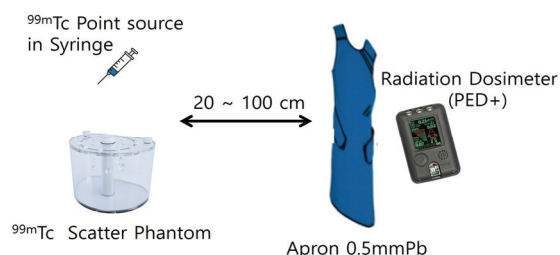
1. 에너지 스펙트럼 분석

Fig. 3은 ^{99m}Tc 점선원과 산란팬텀의 에너지 스펙트럼이다. 점선원의 스펙트럼은 ^{99m}Tc의 방출 감마선 에너지 140 keV를 중심으로 좁은 스펙트럼 피크가 나타났다. 이것은 ^{99m}Tc에서 140 keV 감마선의 입사광자의 전체 에너지가 검출기내에서 흡수되어 나타난 광전피크이다. 이 피크는 핵의학 영상 및 계측에서 주요한 영역으로 방사선방어 측면에서는 이 영역의 피크에 감마선 분포가 높을수록

감마선의 에너지가 높아 광전효과의 확률을 줄여



(a) Shielding experiment with gamma camera detector



(b) Shielding experiment with radiation dosimeter

Fig. 2. The Geometries for shielding experiments.

납 앞치마의 차폐율이 감소하게 된다. 산란 팬텀의 스펙트럼은 점선원 보다 140 keV를 중심의 스펙트럼 피크는 감소하고 낮은 광자의 비율이 증가하는 결과를 보여주었다. 이것은 산란팬텀 내 ^{99m}Tc의 감마선은 여전히 광자가 팬텀 내 물과 상호작용 없이 팬텀을 통과하여 광전 피크를 나타낸다. 하지만 높은 비율의 광자와 산란팬텀 내 물과 컴프턴 산란작용으로 더 낮은 에너지의 광자를 생성하게 되어 넓은 영역의 저에너지 스펙트럼을 나타나게 된다.

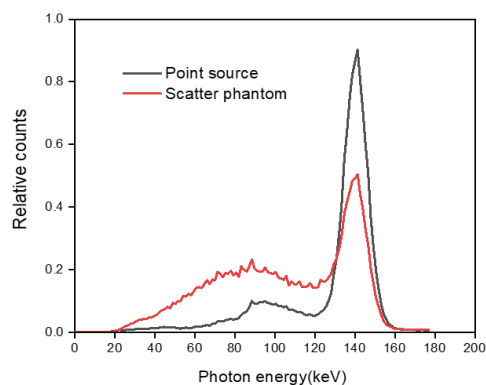


Fig. 3. Energy spectrum of point source and scatter phantom.

2. 감마선 에너지 영역 별 계수치 측정

점선원과 산란팬텀의 에너지 영역별 계수치는 에너지 스펙트럼 실험의 결과와 유사하게 광전피크 영역에서 산란팬텀의 계수치는 점선원의 계수치보다 20 cm 거리에서 최대 66.1 %의 감소율을 보였으며 거리에 따라 감소율은 소폭 감소하였다. 콤프턴 산란 영역에서는 산란팬텀의 계수치가 점선원의 계수치보다 최대 40 cm 거리에서 122.2 % 증가하는 결과를 보였으며 거리 증가에 따라 소폭 감소하였다. 이것은 ^{99m}Tc의 140 keV의 감마선이 산란팬텀의 물과 상호작용으로 저에너지 영역의 감마선이 증가하는 결과를 보여 준다. Table 2와 Table 3에서 점선원과 산란팬텀의 에너지 영역에 따른 감마선 계수치 및 증감을 변화를 나타내었다.

Table 2. Coefficient and rate of decrease according to distance of photo peak area

Distance (cm)	Point Source (K counts)	Scatter phantom (K counts)	Increase rate(%)
20	7666 ± 347	2601 ± 140	-66.1
40	3343 ± 169	1333 ± 61	-60.1
60	1817 ± 82	770 ± 30	-57.6
80	1197 ± 49	501 ± 22	-58.1
100	802 ± 36	339 ± 15	-57.7

Table 3. Coefficient and rate of increase according to distance of Compton Scatter area

Distance (cm)	Point Source (K counts)	Scatter phantom (K counts)	Increase rate(%)
20	2112 ± 89	4274 ± 185	102.4
40	1025 ± 52	2278 ± 110	122.2
60	619 ± 29	1364 ± 78	120.4
80	442 ± 24	914 ± 36	106.8
100	328 ± 14	638 ± 29	94.5

3. 납 앞치마의 차폐율 평가

Fig. 4과 Fig. 5는 감마카메라로 측정한 점선원과 산란팬텀의 에너지 영역에 따른 계수 및 차폐율을 거리 별로 나타내었다. 광전피크 영역에서 점선원

의 납 앞치마를 이용한 차폐율은 거리에 따라 일정하며 평균 75.0 %의 차폐율을 보였다. 산란팬텀의 납 앞치마를 이용한 차폐율도 점선원과 유사한 차폐율을 보였다. 콤프턴 산란 영역에서 점선원의 납 앞치마 차폐율은 20 cm에서 47.4 %로 가장 낮았으며 거리가 증가할수록 차폐율이 증가하는 것으로 나타났다. 이 영역에서는 산란 팬텀의 납 앞치마 차폐율은 점선원의 차폐율보다 평균 22.3 % 증가한 78.3 %의 증가율을 보였으며 거리에 따라 일정한 차폐율을 보였다. 점선원과 산란팬텀의 거리에 따른 차폐율 차이에서 광전피크 영역은 유사한 결과를 보였으나 콤프턴 산란영역에서는 20 cm 거리에서 산란팬텀의 차폐율이 점선원의 차폐율보다 29.2 % 증가하였으며 거리가 증가함에 따라 차폐율 차이는 감소하였다.

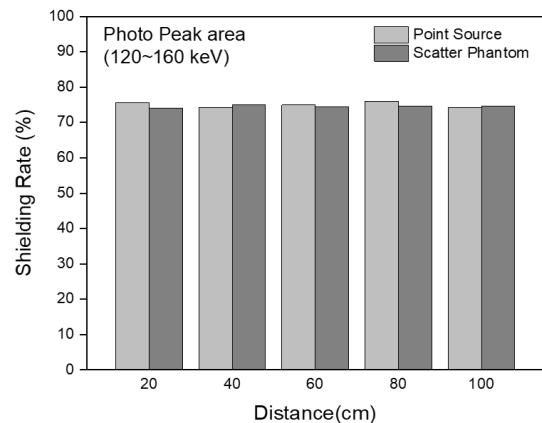


Fig. 4. Shielding rate of point source and scatter phantom in Photo Peak area.

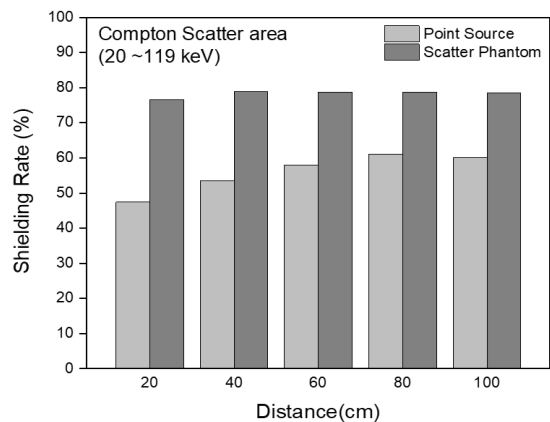


Fig. 5. Shielding rate of point source and scatter phantom in compton scatter area.

방사선 선량계를 이용하여 점선원과 산란팬텀의 납 앞치마 차폐율을 측정된 결과 점선원과 산란팬텀 모두 거리가 증가할수록 선량률은 감소하였으며 점선원의 납 앞치마 차폐율은 20 cm에서 69.0 %로 거리가 증가할수록 유사한 감소율을 보였다. 산란팬텀의 납 앞치마 차폐율은 20 cm 거리에서 84.3 %로 점선원의 차폐율보다 높게 나타났으며 20 cm 거리에서 최대 15.3 %의 차이를 보였으며 거리가 증가할수록 두 선원의 차폐율 차이는 감소하였다. Table 4와 Table 5에서 점선원과 산란팬텀의 납 앞치마 유무에 따른 방사선량률 및 차폐율을 나타내었다.

Table 4. Radiation dose and shielding rate of lead apron in Point source (p<.001)

Distance (cm)	N	Non shield (μSv/h)	Lead apron (μSv/h)	Shielding (%)
20	10	141.32 ± 6.76	43.81 ± 3.46	69.0
40	10	46.71 ± 2.28	12.67 ± 0.95	72.2
60	10	23.06 ± 0.78	6.72 ± 0.51	70.9
80	10	12.99 ± 0.62	4.04 ± 0.26	68.9
100	10	9.09 ± 0.46	2.93 ± 0.22	67.8

Table 5. Radiation dose and shielding rate of lead apron in Scatter Phantom (p<.001)

Distance (cm)	N	Non shield (μSv/h)	Lead apron (μSv/h)	Shielding (%)
20	10	92.54 ± 4.76	14.56 ± 1.08	84.3
40	10	34.31 ± 1.42	6.46 ± 0.36	81.2
60	10	17.49 ± 1.10	3.61 ± 0.35	79.4
80	10	10.50 ± 0.36	2.33 ± 0.16	77.7
100	10	6.85 ± 0.30	1.91 ± 0.26	72.1

IV. DISCUSSION

핵의학과에서 주로 사용하는 방사성동위원소 ^{99m}Tc은 140 keV의 감마선을 단일 에너지로 방출한다. 140 keV의 감마선의 공기나 물질과 상호작용하여 2차 전자를 생성하고 에너지를 잃거나 변화하게 된다. ^{99m}Tc이 인체에 주입되어 고려되는 두 가지 상호작용은 광전효과와 콤프턴 산란이다. 이러한 상호작용이 발생할 확률은 입사 방사선의 에너지

와 흡수 물질의 원자번호 및 단위 면적당 원자수에 따라 달라진다^[15]. 공기보다 원자번호가 높은 인체 구성 물질을 통과하는 140 keV의 감마선은 여전히 높은 비율로 상호작용 없이 인체를 통과하지만 콤프턴 산란작용의 확률이 높아지며 더 낮은 에너지의 방사선 생성을 초래 하게 된다^[16].

본 연구에서는 인체와 상호작용으로 에너지가 낮아진 방사선이 방사성의약품이 주입된 환자를 직접 대면하는 방사선작업종사자에게 더 높은 피폭선량을 부여할 것으로 생각되어 환자를 대면하는 선량평가는 점선원이 아닌 산란팬텀으로 측정하였다. 에너지 스펙트럼 측정 결과에서 산란팬텀의 에너지 스펙트럼은 광전피크 영역이 감소하고 저에너지 영역이 증가하여 콤프턴 산란에 의한 에너지 변화를 관찰하였다. 이러한 에너지 영역 변화는 두 가지 측면에서 고려된다. 첫 번째 측면은 낮아진 에너지의 방사선은 방사선작업종사자에게 더 쉽게 흡수되고 2차 산란전자를 생성시켜 피폭선량을 증가시킬 수 있다^[17]. 감마카메라를 이용한 에너지 영역별 계수치 변화 실험에서 산란팬텀의 저에너지 영역 계수치는 거리별 평균 109.3 % 증가하여 감마카메라에 흡수되었다. 이는 근접하여 방사성의약품이 주입된 환자를 대면하는 방사선작업종사자들의 방사선피폭선량을 높이는데 크게 기여한다. Smart는 핵의학 방사선작업종사자의 작업별 피폭선량 모니터링 연구에서 방사선작업종사자가 받은 총 방사선량의 가장 큰 부분이 주사 후 환자와 상호작용에서 비롯된 것 이라고 밝혔다^[5]. 두 번째 측면은 에너지가 낮아진 감마선은 높은 원자번호의 물질과 상호작용에서 광전효과와 콤프턴 산란의 증가로 더 쉽게 차폐된다^[18]. 본 연구에서 실험 결과에서도 저에너지 영역의 납 앞치마 차폐율은 광전피크 영역 보다 최대 29.2 % 높게 나타났다. 방사선 선량계를 이용한 실험에서도 산란팬텀의 납 앞치마 차폐율이 20 cm 거리에서 최대 15.3 % 높게 차폐되었다. 이권성 등은 납 앞치마를 이용한 ¹⁸F 차폐 효율 분석에서 아크릴을 이용하여 이중 차폐한 경우 저에너지 영역 차폐 작용으로 납 앞치마 단독 사용보다 4 ~ 8 % 차폐효과가 있다고 보고하였다^[19]. 또한 이번 실험을 통하여 납 앞치마가 고에너지 광자를 신체조직에 더 쉽게 흡수되는

저에너지 광자로 전환하여 방사선작업종사자들의 피폭선량을 높일 수 있다^[20,21]는 의견에 반하여, 본 연구의 납 앞치마 차폐율은 방사선측정기를 이용한 실험에서 점선원은 평균 69.7 %, 산란팬텀은 78.9 %의 차폐율을 보였다. 이 결과 납 앞치마를 통하여 더 저에너지의 광자로 전환은 있겠지만 납 앞치마 착용자에게 입사되는 방사선의 양도 함께 감소되어 실제 방사선작업종사자의 방사선 피폭선량은 감소할 것으로 보인다. 특히 실험 결과 20 cm 거리에서 가장 많은 차폐율의 차이를 보여 방사선원으로서 환자를 대면할 때 가까운 거리일수록 납 앞치마의 효과는 증가 할 것이다.

본 연구는 방사선원으로서 환자를 대면하기 위해 산란팬텀을 이용하여 방사선작업종사자들의 환자 대면 시 피폭선량을 줄이기 위한 납 앞치마 착용의 효과를 증명하였다는 점에서 그 의미가 있다. 다만 인체 근육의 질량흡수계수치(cm^2/g)는 150 keV에서 80 keV까지는 흡수선량에 큰 차이가 없다^[22]. 하지만 80 keV 이하에서 흡수선량이 증가하고 실제 인체는 뼈 등 원자번호가 높은 물질로 구성되어 실제 저에너지 영역에서 생물학적효과는 더 높을 거라 사료된다. 더 세분화된 에너지 영역의 설정으로 저에너지 광자의 생물학적 효과의 연구가 필요해 보인다. 또한 인체에 투여된 방사성의약품의 에너지 분포는 인체 뼈 등 원자번호가 높은 물질 때문에 차폐된 방사선량이 증가하여 방사선작업종사자의 피폭선량은 실험치보다 적을 수 있으나 에너지스펙트럼은 저에너지 영역으로 더 증가하여 방사선작업종사자에게 흡수되는 낮은 에너지의 광자 및 산란선을 줄이기 위해 납 앞치마 착용이 필요해 보인다. 이에 인체 등가물질을 이용한 추가적인 실험을 통하여 납 앞치마의 필요성 및 선량 측정의 후속 연구가 필요할 것이다. 또한 더 높은 에너지의 방사성의 약품을 상대로 에너지 스펙트럼 변화에 따른 차폐의 필요성 연구도 필요해 보인다.

V. CONCLUSION

핵의학과에서 가장 많이 사용되는 ^{99m}Tc 를 점선원과 산란팬텀을 이용하여 에너지스펙트럼 변화를 분석하고 변화된 감마선 에너지에 따른 납 앞치마

의 차폐효과를 평가하였다. 산란팬텀의 에너지 스펙트럼은 저에너지 영역이 증가하였으며 감마카메라를 이용한 계수치 결과에서도 컴프턴 산란 영역의 계수치가 증가하는 결과를 보여주었다. 이렇게 낮아진 에너지의 감마선은 방사선계측기 및 감마카메라를 이용한 납 앞치마 차폐 실험에서 차폐율 증가의 결과를 보여주었다. 이에 방사성의약품을 주입한 환자를 직접 대면할 때 납 앞치마의 착용은 방사선피폭을 감소시키는데 주요할 것으로 생각되며 본 연구를 기초자료로 하여 핵의학분야에서 추가적인 환자로부터 방사선 피폭 방어 연구가 필요할 것으로 판단된다

Acknowledgement

이 연구는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 동남권원자력의학원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.50601-2023)

Reference

- [1] M. Mario, J. M. Colin, R. Sietske, T. Sera, A. Zayda, T. Leonel, "Radiation Safety and Accidental Radiation Exposures in Nuclear Medicine", *Seminars in Nuclear Medicine*, Vol. 52, No 2, pp. 94-113, 2022. <http://dx.doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2021.11.006>
- [2] W. H. Lee, S. M. Ahn, "A Study on Reduction of Radiation Exposure by Nuclear Medicine Radiation Workers", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 2, pp. 271-281, 2019. <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.2.271>
- [3] N. L. McElroy, "Efficacy of various syringe shields for ^{99m}Tc ", *Health Physics*, Vol. 41 No. 3, pp. 535-542, 1981. <http://dx.doi.org/10.1097/00004032-198109000-00011>
- [4] H. Warren-Forward, P Cardew, B Smith, L. Clack, K. McWhirter, S. Johnson, K. Wessel, "A comparison of dose savings of lead and lightweight aprons for shielding of ^{99m}Tc radiation", *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 124, No. 2, pp. 89-96, 2007. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncm176>
- [5] R. Smart, "Task specific monitoring of nuclear medicine technologists' radiation exposure", *Radiation*

- Protection Dosimetry, Vol. 109, No. 3, pp. 201-209, 2004. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/nch301>
- [6] N. E. Bolus, "Review of Common Occupational Hazards and Safety Concerns for Nuclear Medicine Technologists", *Journal of Nuclear Medicine Technology*, Vol. 36, No. 1, pp. 11-17, 2008. <http://dx.doi.org/10.2967/jnmt.107.043869>
- [7] A. M. Ross, J. Segal, D. Borenstien, E. Jenkins, S. Cho. "Prevalence of spinal disc disease among interventional cardiologists", *The American Journal of Cardiology*, Vol. 79, No. 1 pp. 68-70, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9149\(96\)00678-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9149(96)00678-9)
- [8] S. R. Cherry, J. A. Sorenson, M. E. Phelps, *Physics in Nuclear Medicine*, 3rd edn, Philadelphia, 2003.
- [9] J. A. Bearden, A. F. Burr, "Reevaluation of x-ray atomic energy levels", *Reviews of Modern Physics*, Vol. 39, pp. 125-142, 1967. <http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.39.125>
- [10] M. A. Hill, "The variation in biological effectiveness of X-rays and gamma rays with energy" *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 112, No. 4, pp. 471-481, 2004.
- [11] A. V. Belousov, A. S. Osipov, "Simulation of Irradiation of Thin Layers of Biological Matter by Low Energy Photon Radiation" *Moscow University Physics Bulletin*, Vol. 13, No. 4, pp. 311-316, 2013.
- [12] M. H Park, D. M. Kwon, "Measurement of Apron Shielding Rate for X-ray and Gamma-ray", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 30, No. 3, pp. 245-250, 2007.
- [13] M. Semwal, "Khan's the physics of radiation therapy", *Journal of Medical Physics*, Vol. 45, No. 2, pp. 134-135, 2020. http://dx.doi.org/10.4103/jmp.JMP_17_20
- [14] J. S. Germain, "The radioactive patient", *Seminars In Nuclear Medicine*, Vol. 16, No. 3, pp. 179-183, 1986. [http://dx.doi.org/10.1016/s0001-2998\(86\)80033-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0001-2998(86)80033-2)
- [15] C. S. Koh. *Nuclear Medicine*, 4th edition. Korea Medical Publisher Co. PP.34-36 2019
- [16] L. S. Fog, P. Collins, "Monte Carlo simulation of the dose to nuclear medicine staff wearing protective garments", *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, Vol. 31, No. 4, pp. 307-316, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03178600>
- [17] D. G. Jang, S. H. Lee, H. S. Choi, et al., "A Study on The Apron Shielding Ratio According to Electromagnetic Radiation Energy", *Journal of Korean Society of Radiological Technology*, Vol. 37, No. 4, pp. 247-252, 2014.
- [18] E. Mansouri, A. Mesbahi, R. Malekzadeh, "Shielding characteristics of nanocomposites for protection against X- and gamma rays in medical applications: effect of particle size, photon energy and nano-particle concentration" *Radiation and Environmental Biophysics*, Vol 59, pp. 583-600 (2020)
- [19] G. S. Lee, Y. R. Jeon, Y. M. Kim, "Analysis on Fluorine-18 Shielding Efficiency of Double Shield Apron using Acrylic", *Journal of Korean Society of Radiology*, Vol. 15, No. 7, pp. 957-964, 2021. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2021.15.7.957>
- [20] S. L. Svegborn, "Radiation exposure of patients and personnel from a PET/CT procedure with 18F-FDG", *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 139, No. 1-3, pp. 208-213, 2010. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncq026>
- [21] D. G. Jang, S. H. Lee, H. S. Choi, J. C. Son, C. Y. Yoon, Y. S. Ji, Y. I. Cho, H. J. Lee, S. O. Yang, "A Study on The Apron Shielding Ratio According to Electromagnetic Radiation Energy", *Journal of Korean Society of Radiological Technology*, Vol. 37, No. 4, pp. 247-252, 2014.
- [22] H. Cember. *Introduction to health physics*, 4th edition. The McGraw-Hill Co, pp. 182, 2009

^{99m}Tc 의 에너지 스펙트럼 변화에 따른 납 앞치마의 차폐 효과 평가

윤창용, 지영식*

동남권원자력의학원 핵의학과

요 약

핵의학과에서 가장 많이 사용되는 ^{99m}Tc 를 점선원과 산란팬텀을 이용하여 에너지스펙트럼 변화를 분석하고 변화된 감마선 에너지에 따른 납 앞치마의 차폐효과를 평가하였다. 산란팬텀의 감마선 에너지 스펙트럼은 점선원보다 광전피크 영역은 감소하고 컴프턴 산란영역은 증가하였다. 감마선원 형태 변화에 따른 에너지 영역별 계수치는 점선원의 계수치보다 20 cm 거리에서 최대 66.1 %의 감소율을 보였으며 컴프턴 산란 영역에서는 산란팬텀의 계수치가 점선원의 계수치보다 최대 40 cm 거리에서 122.2 % 증가하는 결과를 보였다. 감마카메라를 이용한 선원과 산란팬텀의 거리에 따른 차폐율 차이에서 광전피크 영역은 유사한 결과를 보였으나 컴프턴 산란영역에서는 20 cm거리에서 산란팬텀의 차폐율이 점선원의 차폐율보다 29.2 % 증가하였으며 거리가 증가함에 따라 차폐율 차이는 감소하였다. 방사선 선량계를 이용한 납 앞치마 차폐율 측정에서 산란팬텀의 차폐율은 최대 15.3 %의 차이를 보였으며 거리가 증가할수록 두 선원의 차폐율 차이는 감소하였다. 산란팬텀의 납 앞치마 차폐율이 점선원보다 높고 선원과 가까운 거리일수록 납 앞치마의 효과는 증가하는 결과로 방사성의약품을 주입한 환자를 직접 대면할 때 납 앞치마의 착용은 방사선피폭 저감화에 도움이 될 것으로 판단된다.

중심단어: ^{99m}Tc , 에너지스펙트럼, 납앞치마, 방사선차폐

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	윤창용	동남권원자력의학원 핵의학과	방사선사
(교신저자)	지영식	동남권원자력의학원 핵의학과	방사선사