

Original Article

## 2인용 치료병실 안전성 평가

분당서울대학교병원 핵의학과, 서울대학교병원 방사선안전관리실<sup>1</sup>  
이경재 · 조현덕 · 오창범 · 고길만 · 박영재 · 이인원 · 안희용<sup>1</sup>

### Evaluation on Safety of Two-bed Therapy Rooms

Kyung Jae Lee, Hyun Duck Cho, Chang Bum Oh, Kil Man Ko, Young Jae Park, In Won Lee and Hee Yong Ahn<sup>1</sup>

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Gyeonggi-do, Korea;

<sup>1</sup>Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

**Purpose:** Europe and U.S use multi-bed therapy rooms. Hereupon, this study aims to examine the safety when current one-bed therapy rooms in Seoul National University Hospital is changed into two-bed ones. **Materials and Methods:** This study evaluated external exposure by gamma radiation emitted from other patients and internal and external exposure caused by pollutions from other patients in case that Seoul National University Hospital installs a shielding wall between beds in existing therapy rooms. **Results:** When internal and external exposure was evaluated to evaluate safety of two-bed hospital rooms, 'isolation amount of patients' 5mSv exposure or below is received according to the Atomic Energy Act. **Conclusion:** With the increasing number of patients with thyroid cancer, patients using therapy rooms are on the rise. Therefore, improving one-person therapy rooms to two-person ones in line with international trend would increase cost reduction and management efficiency, and patients' alienation and isolation can be reduced to increase healing effects. (Korean J Nucl Med Technol 2011;15(1):75-80)

**Key Words :** Radioiodine therapy, two-bed hospital rooms, internal exposure, external exposure

## 서 론

‘우리나라 여성암 1위 갑상선암’ 인터넷으로 갑상선암을 검색하게 되면 갑상선암의 정의, 원인, 치료법, 검사방법, 식이요법뿐 아니라 갑상선암 전문병원, 갑상선암 치료후기 등 많은 자료가 검색된다. 이렇게 폭발적으로 증가하고 있는 갑상선암 환자에 비해 치료병실은 그 수요를 따라가지 못하고 있다. 대부분의 국내 병원에서는 치료병실을 모두 1인실로 사용하고 있기 때문이다. 이는 국제적 추세인 다인용 치료병실을 따라가지 못할 뿐 아니라 병실의 공간 활용면에서도 효

율적이지 못하다.

지금까지의 연구들은 치료병실의 폐기물 처리방안, 수용 가능한 치료병실의 최대치 산출, 치료병실의 운영에 대한 효율적인 관리방안 등의 내용만 다루었을 뿐 1인병실을 2인병실로 나누어 관리하고자 하는 연구는 진행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 1인용 치료병실을 2인용으로 나누어 운영했을 경우 안전성에 대해 평가해 보고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 대상

서울대학교병원 1인용 치료병실과 국내 최초로 서울대학교병원에서 방사선 차폐벽(납)과 납유리를 이용하여 분리한 2인용으로 운영하는 치료병실을 대상으로 했다.

• Received: December 29, 2010. Accepted: March 7, 2011.  
• Corresponding author: **Kyung Jae Lee**  
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, 300 Gumi-Dong, Bundang-Gu, Seongnam-Si, Gyeonggi-Do, 463-707, Korea  
Tel: +82-31-787-3905 Fax: +82-31-787-4018  
E-mail: kjlee@snuh.org

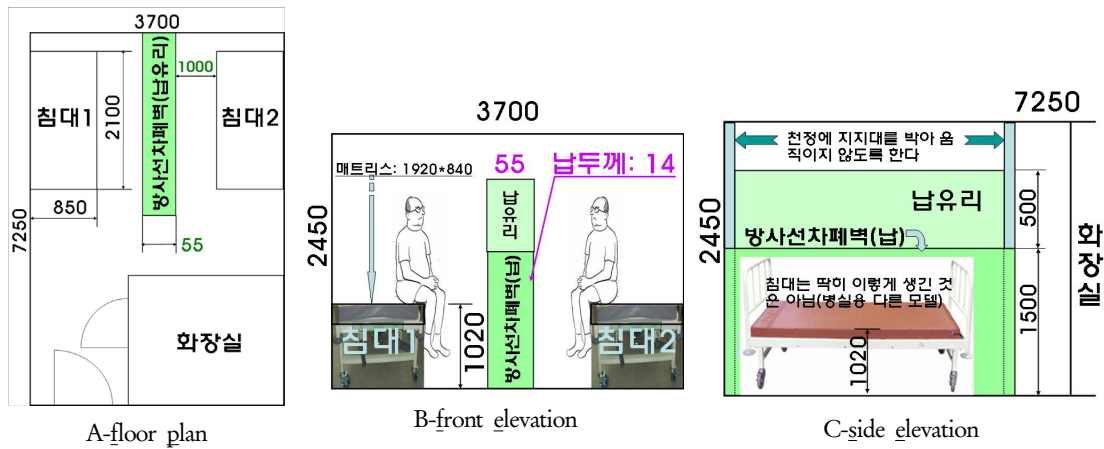


Fig. 1. Draws the installation of radiation shielding wall.

## 2. 방법

서울대학교병원 본원 12층에 위치한 1인용 치료병실을 Fig 1.과 같이 방사선 차폐벽을 이용하여 2인용 치료병실로 나눈다. 차폐벽은 230 cm(가로)× 20 cm(세로)의 크기로 침대 높이 만큼은 차폐를 크게 고려하지 않아도 되므로 철 구조물로 지지대를 만들어 병실 바닥에 튼튼하게 붙여 있도록 한다. 지지대는 납과 납유리의 무게를 넉넉히 견디도록 튼튼히 설계한다. 또한 환자들 사이에서 주고 받을 수 있는 방사선 피폭을 효과적으로 줄이기 위해 지지대 위는 납으로 시공한다. 그 위로는 환자들의 의사소통을 위해 납유리로 덧붙여 서로 보면서 이야기를 나눌 수 있도록 한다.

## 3. 분석

2인용 치료병실의 안전성 평가를 위해 상대방 환자로부터 방출되는 감마선의 산란(바닥, 천장, 벽)을 고려하기 위해 방사선 수송코드인 MCNPX 2.5를 사용함.

2인용 치료병실의 안전성 평가를 위해 상대방 환자로부터 방출되는 감마선의 산란에 의한 외부피폭과 상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 외부 및 내부피폭을 평가한다. 단, 환자 본인의 치료를 위해 받게 되는 피폭은 평가에서 제외한다. 감마선의 산란과 오염에 의한 외부 및 내부피폭을 평가하여 교육과학기술부 고시에서 제시하는 선량과 비교한다.

## 결 과

### 1. 상대방 환자로부터 방출되는 감마선의 산란(바닥, 천장, 벽)에 의한 외부피폭

상대방 환자의 자세(침대에 누워있는 경우, 침대에 앉

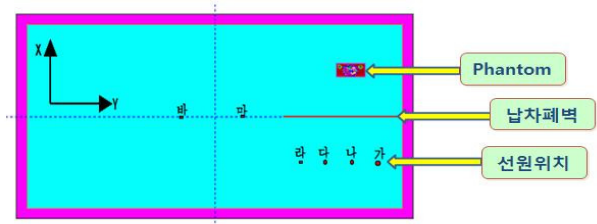


Fig. 2. X-Y front elevation drawn by MCNP.

아있는 경우, 서있는 경우)로 구분하여 평가하였다. I-131 투여량은 보수적으로  $7.4 \times 10^6$  Bq을 기준으로 하였고 다음과 같이 가정하였다.

- 선량평가 대상은 상대방 환자로부터 받을 것으로 예상되는 유효선량이며, I-131 복용으로 인한 자체 선량은 고려하지 않음.
- 감마선 산란(바닥, 천장, 벽)을 고려하기 위해 방사선 수송코드인 MCNPX 2.5를 사용함.
- 사용된 팬텀은 ICRP 110에서 제공하는 reference phantom (Rex; 남성)을 사용하며, 시물레이션을 간단히 하기 위해 내부구조물은 생략(침대, 화장실)함.
- 병실에서 환자의 위치는 침대위치에 서있는 경우와 누워있는 경우로 한정함.
- 선원향은 Fig. 2와 같이 포인트 선원으로 가정하여 병실 바닥에서 100 cm(가, 나, 다, 라), 150 cm(마, 바) 높이에 있다고 가정함.
- 차폐벽의 유무를 고려하여 차폐효과를 검증하며, 유효선량은 ICRP 103에서 제시하는 조직가중치를 사용하여 평가함.

결과는 차폐벽이 없는 경우와 있는 경우로 나누어 평가하였으며 차폐벽이 있는 경우의 결과는 Table 1과 같다. 실제

**Table 1.** Evaluation result of exposed dose of patients by exposure scenarios

선원위치	서있는 경우		침대에 누워 있는 경우	
	선량률(mSv/h)	유효선량(mSv)	선량률(mSv/h)	유효선량(mSv)
가	1.32×10 <sup>-2</sup>	0.633	8.02×10 <sup>-3</sup>	0.385
나	1.46×10 <sup>-2</sup>	0.701	8.35×10 <sup>-3</sup>	0.401
다	1.39×10 <sup>-2</sup>	0.665	8.09×10 <sup>-3</sup>	0.388
라	1.15×10 <sup>-2</sup>	0.554	7.23×10 <sup>-3</sup>	0.347
마	7.91×10 <sup>-2</sup>	3.797	4.90×10 <sup>-2</sup>	2.350
바	2.99×10 <sup>-2</sup>	1.437	2.05×10 <sup>-2</sup>	0.982

**Table 2.** Converted value reflecting the measured area to radioactivity

오염된 곳	침대	병실 바닥	화장실(변기)
넓이	1.7 m <sup>2</sup>	26.83 m <sup>2</sup>	0.38 m <sup>2</sup> (지름 35 cm)
방사능량(Bq)	51	300	6,737
측정면적 반영	10배	100배	256배
환산값(Bq)	510	30,000	1.7×10 <sup>6</sup>

**Table 3.** Expected exposed dose according to pollutions

건너편 환자 상태	분율(시간)	심부선량(μSv/1 m)	침대와 환자 사이의 거리*(m)	예상피폭선량(μSv)
침대에 누워있는 경우	32	1.06×	2.8	1.35×
침대에 앉아있는 경우	8	2.65×	2.4	4.60×
서있는 경우	8	2.65×	1.5	1.18×
합계	48			2.99×

로 환자를 치료하는 경우 환자가 48시간 동안 마와 바의 위치에서 있어 다른 환자에게 피폭되는 경우는 매우 드물다. 차폐벽을 통한 피폭을 받게 되므로 선원(다른 환자)의 위치는 차폐벽이 설치된 경우인 가, 나, 다, 라의 경우의 피폭을 받게 됨을 알 수 있다. 이 경우 피폭은 0.347~0.701 mSv이다.

**2. 상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 외부 및 내부피폭**

상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 피폭량을 평가하기 위해 7.4×10<sup>6</sup> Bq을 먹은 치료환자 퇴원 뒤 병실의 주요지점에서 오염값을 측정하였으며, 이 값을 입원한 후 I-131 선원을 먹었을 때의 측정값으로 예측하여 계산한다. 또한 표면오염측정기로 측정한 값으로 보정해 주었으며 각각 침실의 침대, 병실 바닥, 변기의 넓이와 크기에 대한 보정을 하였다. 오염된 넓이에 대한 방사능량 환산값은 Table 2와 같다. 이들 값을 기준으로 하여 각각의 경우에 대한 예상피폭선량을 평가한다.

- 1) 상대방환자에 의해 발생하는 외부피폭
    - (1) 상대방환자의 침대에 존재하는 오염에 의한 피폭
- I-131의 심부선량률 정수가 0.0648 μSv·m<sup>2</sup>·MBq<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>이므로 510 Bq은 100 cm거리에서 3.31×10<sup>-5</sup> μSv/h의 심부선량을



**Fig. 3.** Draws floor plan related to the distance from contaminated beds or patients

준다. 따라서 환자가 투약에서 퇴원까지 실제 48시간 동안 입원해 있는 동안 환자가 있는 곳에 따라 환자에게 미치는 예상피폭선량은 다음과 같다.

각각의 환자상태에 대한 침대로부터의 거리는 침대중양을 기준으로 설정하였고 분율은 잠자는 시간, TV시청, 운동 등을 고려하여 보수적으로 설정하였다. 차폐물은 없는 것으로 가정한다. 오염된 침대 및 환자가 있는 곳에 따른 거리는 Fig. 3과 같이 설정하여 계산하였다. 상대방 환자의 침대에 존재하는 오염으로부터의 피폭은  $2.99 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$ 이다.

(2) 상대방 환자로 인해 병실 바닥에 존재하는 오염에 의한 피폭

I-131의 심부선량률 정수가  $0.0648 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이므로 30,000 Bq은 100 cm거리에서  $1.95 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$  심부선량률을 준다.

$$30,000 \text{ Bq} \times 0.0648 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1} = 1.95 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$$

병실 바닥의 오염은 오랫동안 측정해 온 경험으로 미루어 보면 화장실 입구 쪽의 오염이 가장 크다. 따라서 화장실 입구를 기준점으로 하여 환자가 머무는 곳을 시뮬레이션하여 각각의 환자 상태에 대한 거리를 보수적으로 설정하였다. 침대가 오염된 경우와 마찬가지로 차폐물은 없는 것으로 가정한다.

Fig. 4 에서 보듯이 화장실 입구는 침대2의 환자에게 화장실 벽으로 가려져 있고 오염지점으로 설정한 A로부터 거리도 B보다 멀리 떨어져 있다. 따라서 오염지점(방사선원) A로 인한 예상피폭선량도 B지점의 예상피폭선량보다 작을 것이다.

따라서 환자가 투약에서 퇴원까지 실제 48시간 또는 72시간 입원해 있는 동안 환자가 받을 것으로 보이는 예상피폭선량은 Table 4와 같다. 상대방 환자로 인해 병실 바닥에 존재하는 오염으로부터의 피폭은 48시간을 기준으로 하였을 경우  $8.08 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 이다.

(3) 상대방 환자에 의해 화장실에 존재하는 오염에 의한 피폭



Fig. 4. Draws floor plan related to the distance between pollutions in the hospital floor and patients

I-131의 심부선량률 정수가  $0.0648 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이므로  $1.7 \times 10^6$  Bq은 100 cm 거리에서  $0.11 \mu\text{Sv/h}$  심부선량률을 준다.

$$1.7 \times 10^6 \text{ Bq} \times 0.0648 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1} = 0.11 \mu\text{Sv/h}$$

환자가 하루에 10번 화장실을 가는 것을 기준으로 필요할 설비를 평가한다. 화장실에서 볼일을 볼 때 보통 5분 동안 앉아 있는 것으로 가정하면 하루에 50분을 머문다고 볼 수 있다. 위 값은 한 시간 동안 피폭되는 양이므로 50분 동안에 피폭되는 양은 약  $0.1 \mu\text{Sv}$ 이다.

환자는 변기에 앉아서 볼일을 본다. 아주 보수적으로 변기와 환자가 5 cm떨어져 있다고 가정하고 50분 동안 피폭되는 양을 계산할 경우 상대방 환자에 의해 화장실에 존재하는 오염으로부터의 피폭은  $40 \mu\text{Sv}$ 이다.

Table 4. Expected exposed dose according to pollutions

환자 상태	분율 (시간)	심부선량 ( $\mu\text{Sv}\cdot 1 \text{ m}$ )	침대와 환자 사이의 거리(m)	예상피폭선량 ( $\mu\text{Sv}$ )
A에 대하여 B에 있음	48	9.33×	3.4	8.08×
	72	1.40×		1.21×

(4) 상대방 환자와의 접촉으로 인한 오염에 의한 피폭  
침대와 차폐벽 사이의 거리는 100 cm, 오염된 침대 건너편 환자는 차폐벽에서 10 cm 떨어져 있는 것으로 가정할 때, I-131의 심부선량률 정수가 0.0648  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^3\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이므로  $7.4\times 10^6$  Bq을 먹은 환자로부터 100 cm 떨어진 거리에서 받는 선량은 시간 당 약 0.48 mSv(479.52  $\mu\text{Sv}$ )이다. 환자가 차폐벽 뒤에 서있는 경우 10 cm 떨어져 서있는 것으로 보고 있으므로, 두 환자가 차폐벽을 사이에 두고 각각 10 cm씩 떨어져 서 있을 때 환자 사이의 거리는 20 cm이므로 상대방에게 미칠 수 있는 방사선 영향은 12 mSv/h이다.

피폭선량 감쇄 공식에 따라 차폐벽 뒤에 서있는 환자가 받을 것으로 예상되는 피폭선량은

$$I = I_0 \times e^{-\mu x} \quad (\text{납의 } \mu \text{ 값: } 3.198 \text{ cm}^{-1})$$

$$= 12 \text{ mSv/h} \times e^{-3.198 \times 1.4} \approx 0.14 \text{ mSv/h}$$

$$\therefore 0.14 \text{ mSv/h} \times 8\text{h} = 1.12 \text{ mSv}$$

따라서 환자가 입원해 있는 2박 3일 동안 실제 입원시간 48시간 또는 72시간 사이에 환자들 사이의 접촉에 따른 오염으로 받을 수 있을 것으로 예상되는 피폭선량은 1.12~1.68 mSv이다.

(5) 상대방 환자의 토사물로 인한 오염에 의한 피폭

환자가 구토를 한 상대방 환자에게 다가갈 가능성은 없으며 I-131 투여량  $7.4\times 10^6$  Bq중 토사물을 1%인  $7.4\times 10^3$  Bq로 가정하고, 토사물이 있는 곳은 차폐벽 바로 앞, 차폐벽으로부터 거리 10 cm, 상대방 환자가 있는 곳은 차폐벽 바로 뒤. 차폐벽으로부터 거리 10 cm로 가장 보수적으로 평가한다.

I-131의 심부선량률 정수가 0.0648  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^3\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이므로 토사물의 방사능량이  $7.4\times 10^3$  Bq일 때 100 cm 떨어진 거리에서 받을 수 있는 선량률은 4.80  $\mu\text{Sv/h}$  이다.

$$7.4\times 10^3 \text{ Bq} \times 0.0648 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^3\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1} \approx 4.80 \mu\text{Sv/h}$$

토사물과 환자 사이의 거리가 20 cm이므로 환자가 받을 수 있는 방사선량은 120 Sv/h이다.

차폐벽에 의한 방사선 차폐와 토사물이 치워지기 까지 걸리는 시간 동안 받게 되는 선량을 고려하여 이 시나리오에서 환자가 받을 수 있는 예상피폭선량은 다음과 같다.

$$I = I_0 \times e^{-\mu x} \quad (\text{납의 } \mu \text{ 값: } 3.198 \text{ cm}^{-1})$$

$$= 120 \times e^{-3.198 \times 1.4} \approx 1.37 \mu\text{Sv/h}$$

따라서 환자가 입원해 있는 2박 3일 동안 실제 입원시간 48시간 또는 72시간 사이에 환자의 토사물로 인한 오염에 따라 받을 수 있을 것으로 예상되는 피폭선량은 65.8~98.7  $\mu\text{Sv}$  이다.

2) 상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 내부 피폭  
I-131 캡슐을 환자에게 구강 투여 후 환자로부터 발생된 고체 및 액상의 방사성폐기물의 최종 처리까지의 전 과정에서 내부피폭을 초래할 수 있는 원인은 공기 및 표면오염이다. 표면오염은 옥소캡슐에 의해 직접 발생되지 않고 환자의 토사물과 배설물의 부주의한 처리, 누설에 의해 발생할 가능성이 가장 크다. 공기오염은 표면오염에 의해 유발된다.

표면 및 공기오염은 취급하는 방사성물질의 종류와 양, 물리화학적 특성, 취급상태, 취급장소의 환경조건 등에 따라 영향을 받으므로 정량적으로 평가한다는 것은 실질적으로 거의 불가능하다. 따라서 일반적으로 방사성물질을 취급하는 특정조건을 고려한 내부피폭 모델을 개발하여 이를 통해 내부피폭을 평가하는 것이 방사선안전관리의 관행이다. 여기에서도 모델을 개발하여 내부피폭선량을 평가한다.

$$E(T) = \frac{L \times B \times e_{50}}{Vr}$$

- E(T) = 예탁유효선량(Sv)
- L = 시간당 병실내로 비산되는 방사능(Bq/h)
- B = 성인 중사자의 가벼운 활동기간에 흡입하는 공기양 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
- $e_{50}$  = 선량환산인자(Sv/Bq)
- V = 치료병실의 체적( $\text{m}^3$ )
- r = 환기설비에 의해 교환되는 시간당 체적율( $\text{h}^{-1}$ )

위의 식으로부터 계산한 결과 총 내부피폭선량은  $7.68 \times 10^2 \mu\text{Sv}$ 수준으로서 방사선방어학적 측면에서 의미있는 값은 아니다. 만일 어느 특정 의료관계자가 치료병실을 연 50 회 출입하였다고 가정하여도 이 관계자의 연간 총 내부피폭 선량은 3.84  $\mu\text{Sv}$ 밖에 되지 않는다.

## 고찰 및 결론

상대방 환자로부터 방출되는 감마선의 산란에 의한 외부 피폭, 상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 외부 및 내부피폭을 평가하였다. 상대방 환자로부터 방출되는 감마선의 산란은 상대방 환자의 자세 별로 나누어서 평가하였으며, 상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 외부 및 내부피폭은 상대방 환자의 침대, 병실 바닥, 화장실의 오염에 의한 경우 상대방 환자와의 접촉, 상대방 환자에 의한 토사물, 상대방 환자의 호흡, 기침, 재채기로 인한 공기 중 오염에 의한 경우로 각각 나누어서 평가하였다. I-131 투여량은 보수적으로  $7.4 \times 10^3$  Bq로 가정하였고 병실에서 머무르는 시간은 최소 48시간에서 최대 72시간으로 역시 보수적으로 적용하였다.

상대방 환자로부터 방출되는 감마선의 산란에 의한 외부 피폭 0.347~0.701 mSv, 상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 총 외부 및 내부피폭 1.23~1.82 mSv였다. 이 피폭량은 방사선안전기준 규칙 제45조 및 교육과학기술부 고시 2009-37호 '의료분야의 방사선안전관리에 관한 기술기준'12조에서 고시하는 '진료환자의 격리 수량, 5 mSv이하의 피폭량임을 알 수 있었다. 따라서 진료환자의 격리 수량인 유효선량 5 mSv를 초과할 우려가 없으므로 치료환자 상호 간의 격리시설이 필요하지 않음을 알 수 있다.

또한 이러한 피폭을 미연에 방지하기 위해서 환자들의 피폭관리방안을 계획, 수립하였으며 치료에 들어가는 환자들에 교육을 실시하도록 하여 불필요한 피폭을 방지하고 사고에 대처하도록 하였다.

현재 갑상선암 환자의 증가에 따라 치료병실을 이용하는 환자가 적체되고 있는 추세이며, 국제적인 흐름인 다인용 치료병실을 따라가지 못하고 있는 실정이다. 1인용 치료병실을 2인용 치료병실로 개선함으로써 치료병실의 차폐벽 설치에 의한 비용 절감, 치료병실의 효율적 공간 사용, 관리의 효율성 증대 등을 기대할 수 있다. 또한 2인실 운영으로 인해 환자의 소외감과 고립감을 해소하여 치료효과를 높일 수 있을 것으로 생각된다. 본 논문이 앞으로 치료병실을 설치하는 타병원에 가이드라인을 제시하여 치료병실을 계획하고 운영하는데 도움이 되었으면 한다.

## 요 약

유럽 및 미국에서는 다인용 치료병실을 사용하고 있는 실정이다. 이에 서울대학교병원에서 현재 1인용 치료병실로 사용하고 있는 병실을 2인용 치료병실로 운영할 때 안전성에 대해 알아보려고 한다.

서울대학교병원 기존 치료병실에 침대와 침대 사이 차폐벽을 설치하여 2인용 치료병실로 운영할 경우, 상대방 환자로부터 방출되는 감마선의 산란에 의한 외부피폭과 상대방 환자에 의해 발생하는 오염으로 인한 외부 및 내부피폭을 평가하였다.

2인용 치료병실의 안전성 평가를 위해 외부 및 내부피폭을 평가하였을 때 원자력법에서 고시하는 '진료환자의 격리 수량, 5 mSv'이하의 피폭을 받게 됨을 알 수 있었다. 그리고 환자들의 피폭관리방안을 수립하여 교육 및 관리함으로써 환자 상호 간의 불필요한 피폭을 방지할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

갑상선암 환자의 증가에 따라 치료병실 이용하는 환자가 적체되고 있는 추세이다. 이에 국제적 추세에 발맞춰 현행 1인용 치료병실을 2인용 치료병실로 개선함으로써 비용절감 및 관리의 효율성을 증대할 수 있으며 환자의 소외감과 고립감을 해소하여 치료효과를 높일 수 있다.

## REFERENCES

1. 高田茂地 : 방사성물질의 종류와 취급방법에 따른 비산물 계산법, *Radioisotopes*, 1983;32(5):260-269
2. Human respiratory tract model for radiation protection, ICRP Publ.66. *Pergramon Press*(1994)
3. 교육과학기술부고시 제 2009-37호 '의료분야의 방사선안전관리에 관한 기술기준'
4. 국내 핵의학분야 종사자 중심의 내부피폭 기초자료 획득 및 I-131 방사성의약품 치료시설 실태조사를 통한 이용활성화 연구. *한국원자력안전기술원*. 79-103
5. 우리나라에서 방사성옥소입원치료 관리 최적화. *대한핵의학 회지*(2008)