

Original Article

# Dose calibrator 측정 깊이와 용량의 변화에 따른 선량 값의 성향에 대한 고찰

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

김진구 · 함준철 · 오신현 · 강천구 · 김재삼

## A Study on the Tendency of Dose value According to Dose calibrator Measurement Depth and Volume

Jin Gu Kim, Jun Cheol Ham, Shin Hyun Oh, Chun Koo Kang and Jae Sam Kim

Dept. of Nuclear Medicine, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

**Purpose** It is intended to figure out the errors derived from changes in depth and volume when measuring the Standard source and  $^{99m}\text{Tc}$ -pertechnetate by using a Dose calibrator. Then recommend appropriate measurement depth and volume.

**Materials and Methods** As a Dose calibrator, CRC-15beta and CRC-15R (Capintec, New Jersey, USA) was used, and the measurement sources were  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{99m}\text{Tc}$ -pertechnetate was also adopted due to its high frequency of use. The Standard source was respectively measured the changes according to its depth without changing the volume, in a range of 0 cm to 15 cm from the bottom of the ion chamber.  $^{99m}\text{Tc}$ -pertechnetate was measured at each depth by changing the volume with 0.1 mL, 0.3 mL, 0.5 mL, 0.7 mL and 0.9 mL Respectively. And the depth range was from 0 cm to 15 cm at the bottom of the ion chamber.

**Results** In the case of Standard source  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{99m}\text{Tc}$ -pertechnetate, there were significant differences according to the measurement depth ( $p < 0.05$ ).  $^{99m}\text{Tc}$ -pertechnetate has a negative correlation coefficient according to the depth, and the error of the measured value was negligible at a depth from 0 cm to 7 cm at 0.3 mL and 0.5 mL, and the range of error increased as the volume increased.

**Conclusion** In clinical practice, it is sometimes installed differently than the Standard depth recommended by the equipment company. If it's measured at the recommended depth and volume, it could be thought that unnecessary exposure of the operator and the patient will be reduced, and more accurate radiation exams will be possible in quantitative analysis.

**Key Words** Dose calibrator,  $^{99m}\text{Tc}$ -pertechnetate, Standard source

## 서 론

핵의학이란 방사성 및 안정된 핵종의 특이한 성질을 이용하여 신체의 해부학적, 생리학적, 생화학적 상태를 진단 및 평가하고, 개봉된 방사성 선원으로 치료하는 의학의 전문분야이다

다. 방사성동위원소 추적자를 인체에 투여하여 관심장기에 대한 형태학적인 정보와 아울러 생물학적이고 기능적인 정보를 얻고 평가한다.<sup>1)</sup>

Dose calibrator는 의료기관에서 단일 핵종의 방사능을 측정하기 위해 사용하는 장비이다. 일반적으로 기체가 고압으로 채워진 전리함(Ionization chamber)으로 되어있고, 선원이 방출하는 감마선을  $4\pi$  방향에서 측정하도록 우물형으로 구성되어있다. 다양한 핵종을 교정 계수를 통하여 등록이 가능하며, 측정된 방사성동위원소의 방사능을 측정값으로 나타낸다.<sup>2-3)</sup> 방사성동위원소의 정확한 용량의 투여는

• Received: October 12, 2019 Accepted: October 12, 2019  
• Corresponding author: **Jin Gu Kim**  
• Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Korea  
Tel: +82-2-2228-4861, Fax: +82-2-2227-7062  
E-mail: jingu0519@yuhs.ac

진단과 치료에 중요한 요인으로 작용하여 투여 전 Dose calibrator를 통한 측정은 상당히 중요하다. 일반적으로 치료 목적으로 투여 할 경우에는 5 %, 진단 목적으로 투여 할 경우에는 10 %의 오차 범위 안에서 측정되는 것을 권고한다.<sup>4)</sup>

핵의학 검사에서 정량분석은 영상기법의 하나로 측정하는 방사능의 크기는 방사성동위원소 추적자의 양과 비례한다. 따라서 방사능 분포를 정확히 측정한다면 추적자 분포에 대한 정량적 평가가 가능하다. 관심영역 내의 총계수를 구하거나 이를 관심영역의 크기(면적 또는 체적) 및 영상 획득시간으로 나눈 평균 계수율(count/pixel/min or count/ml/min)을 구하기도 하며, 이를 표준선원의 계수율과 비교하여 방사능 농도(MBq/ml or  $\mu$  Ci/ml)로 나타내기도 한다. PET-CT (Positron Emission Tomography - Computed Tomography) 분야에서 통상적으로 쓰이는 표준섭취계수(SUV: Standardized Uptake Value)는 이러한 방사능 농도를 주입한 추적자가 체내에 고루 분포했을 때의 농도로 나누어 그 상대적 섭취율을 정량적으로 표현한 것이다. 정량평가는 영상의 판독 및 추적 관찰에 있어서 큰 역할을 하고 있다. 최근 Q-matrix와 같은 정량분석을 위한 여러 시스템이 개발되고 있고 ERPF (Effective Renal Plasma Flow), GFR (Glomerular Filtration Rate) 등 정량분석이 필요한 검사에 있어서 정확한 투여 용량 및 재현성 있는 측정이 더욱 중요해지고 있다. 정확한 측정이 이루어지지 않는다면, 검사자와 환자는 불필요한 피폭에 노출이 되고 정량적 평가가 이루어지지 않아 진단의 오차가 발생할 수 있다.<sup>6)</sup>

방사성동위원소의 용량 측정 시 각 의료기관의 검사자에 따라 방사능 대비 용량에 의한 차이가 발생하고 Auto dispenser의 사용여부와 Air compressor의 노후화 등 기타요인으로 인한 기하학적인 차이가 발생한다. 그 결과 Dose calibrator의 정도관리에서도 재현성 있는 측정이 이루어지지 않기 때문에 편차(Deviation)가 발생한다. 또한 단일 의료기관에서 Dose calibrator를 2개 이상 보유하고 있는 경우 동일 방사성동위원소를 측정 하더라도 각 Dose calibrator간 편차가 있을 수 있다. 이러한 다양한 이유로 투여 용량에 차이가 발생하면 정량적인 분석에 영향을 미칠 수 있다.

장비회사에서 권고하는 일정한 깊이에서 방사성동위원소를 측정하는 것은 중요하다. 우리는 정확한 검사를 위해 각 의료기관의 검사자 마다 동일한 측정 깊이를 통해 선량 값의 차이를 최소화 하여 재현성 있는 정량평가를 해야 한다. 따라서 본 논문은 Dose calibrator의 측정 깊이와 용량에 따른 선량 값의 성향을 알아보고 적절한 측정 깊이 및 용량에 대해 알아 보

고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험 장비 및 재료

실험에 사용한 Dose calibrator는 CRC-15R과 CRC-15 $\beta$  eta (Capintec, New Jersey, USA)를 사용하였다(Fig. 1). 선원으로는 정도관리를 위한 용량이 고정되어 있는 고체 형태의 표준선원(Standard source) <sup>137</sup>Cs, <sup>133</sup>Ba, <sup>57</sup>Co(Fig. 2)가 사용했다. 방사성의약품은 핵의학과에서 사용 빈도가 가장 많은 <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate를 <sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc generator에서 용출하여 사용하였으며, <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate 측정 시에는 26 G needle이 고정된 1 mL 주사기를 사용하여 측정했다.



Fig. 1. CRC-15R and CRC-15beta Dose calibrator was used for measurement.



Fig. 2. Standard source(<sup>137</sup>Cs, <sup>133</sup>Ba, <sup>57</sup>Co) was used for measurement.

### 2. 실험방법

실험방법으로는 방사성동위원소를 일정한 깊이에서 측정하기 위해 Dose calibrator에 구성되어 있는 Dipper를 사용했다. Dipper의 높이는 25 cm로 아크릴 재질로서 각 두께는 5 mm이다. Chamber의 깊이는 26.5 cm이며, 각 장비마다 Dipper의 높이와 Chamber의 깊이에서 미세한 차이는 발

생한다(Fig. 3). 선원 측정시 T자형 Dipper가 Chamber 상단에 걸렸을 때 바닥으로부터 1.5 cm 높이에서 선원이 측정되는데 그 높이가 장비회사에서 권고하는 측정 깊이이다.

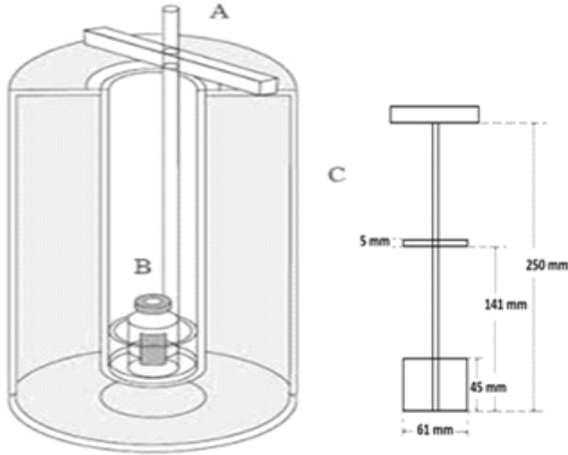


Fig. 3. Diameter of the Dipper, one of the components of the Dose calibrator.

1) 표준선원(Standard source)을 이용한 측정 방법

고체 형태의 표준선원인 <sup>137</sup>Cs, <sup>133</sup>Ba, <sup>57</sup>Co를 Dipper에 고정시킨 후 측정 깊이만 변화하여 Chamber 하단의 0 cm부터 15 cm까지 1 cm 깊이마다 각각 15회씩 측정했다(Fig. 4). 처음 측정 시작 시점과 마지막 시점간의 시간 차이가 발생하여 그에 대한 보정은 Dose calibrator의 Time setting 기능을 사용했다. 사용된 Dose calibrator는 CRC-15R과 CRC-15β eta로 두 장비에서 모두 동일한 표준선원으로 실험을 진행했다.

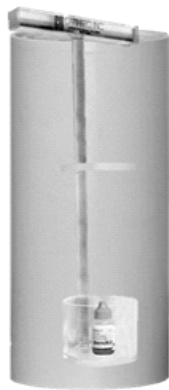


Fig. 4. This is the method used to measure the Standard source.

2) <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate를 이용한 측정 방법

<sup>99m</sup>Tc-pertechnetate의 경우에는 1 mL 주사기를 사용하여 Chamber 하단 0 cm부터 15 cm까지 각각 1 cm의 깊이마다 동

일하게 반복 측정을 했다(Fig. 5). 표준선원을 제외한 방사성 동위원소는 용량이 고정되어 있지 않고 비방사능과 검사자에 따라 용량의 차이가 발생한다. 이러한 변화를 고려하여 0.1 mL, 0.3 mL, 0.5 mL, 0.7 mL, 0.9 mL로 각 깊이마다 15회씩 측정했다. <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate은 CRC-15β eta만을 이용하여 실험을 진행하였고, 표준선원과 동일하게 시간에 대한 보정은 Time setting 기능을 사용했다.

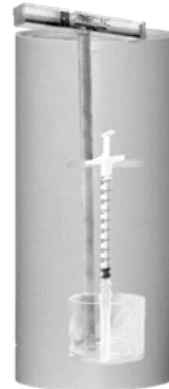


Fig. 5. This is the method used to measure the <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate.

두 가지 실험 모두 0 cm에서 2 cm의 깊이에서는 기존 Dipper의 형태로는 측정할 수 없기 때문에 Dipper 상단의 걸리는 부분이 없는 것을 사용했다. 통계 프로그램은 SPSS Ver. 20.0으로 기술통계량에서 데이터 탐색을 통하여 정규분포를 확인하였고, 정규분포를 따르지 않아 이에 상응하는 비모수적 방법인 Kruskal-wallis test를 진행했다. p값을 통하여 유의성 확인 후 대응별 사후검정을 이용하여 분석했다.

결 과

비모수적 검정인 Kruskal-wallis test에서 표준선원인 <sup>137</sup>Cs, <sup>133</sup>Ba, <sup>57</sup>Co의 깊이의 변화에서는 3가지 선원 모두 깊이에 따른 선량 값의 변화가 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate의 경우에도 깊이에 따른 용량의 변화에서 선량 값이 0.1 mL, 0.3 mL, 0.5 mL, 0.7 mL, 0.9 mL 에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 표준선원과 <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate 모두 깊이에 따른 유의한 차이가 있었고 <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate는 용량의 변화에 따른 영향도 있는 것을 확인했다.

Table 1. Average activity of Standard source in CRC-15R and CRC-15β eta Dose calibrator (fifteen times: average)

Depth (cm)	CRC-15R			CRC-15β eta		
	Activity (MBq)	Activity (MBq)	Activity (MBq)	Activity (MBq)	Activity (MBq)	Activity (MBq)
	<sup>57</sup> Co	<sup>133</sup> Ba	<sup>137</sup> Cs	<sup>57</sup> Co	<sup>133</sup> Ba	<sup>137</sup> Cs
0	31.39	8.197	6.458	31.25	7.974	6.354
1	31.56	8.377	6.492	31.36	8.096	6.413
2	31.71	8.515	6.551	31.53	8.958	6.470
3	31.87	8.569	6.573	31.64	8.429	6.497
4	31.95	8.599	6.585	31.72	8.432	6.542
5	32.03	8.616	6.591	31.85	8.462	6.549
6	32.04	8.618	6.594	31.85	8.492	6.564
7	32.03	8.626	6.596	31.86	8.503	6.569
8	31.92	8.616	6.591	31.85	8.506	6.572
9	31.72	8.608	6.566	31.81	8.506	6.554
10	31.38	8.574	6.529	31.69	8.499	6.527
11	31.06	8.497	6.490	31.45	8.462	6.487
12	30.62	8.456	6.388	31.17	8.414	6.418
13	30.08	8.345	6.275	30.71	8.325	6.349
14	29.49	8.162	6.157	30.06	8.196	6.253
15	28.61	7.970	5.964	29.27	8.055	6.080

1) 표준선원(Standard source)을 이용한 측정 결과

CRC-15R에서 측정한 표준선원 사후검정 중 다중검정의 대응별 비교 그래프(Fig. 6)에서 <sup>137</sup>Cs, <sup>133</sup>Ba, <sup>57</sup>Co는 0 cm에서 1 cm까지는 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). Plateau를 그리기 시작한 2 cm에서 9 cm까지는 각 선원마다 비교시 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 하지만 10 cm의 깊이부터는 각 깊이별 대응검정시 통계적으로 유의한 차이가 발생하는 측정 깊이가 존재하여 Plateau 구간에서 제외되었다( $p < 0.05$ , Table 1).

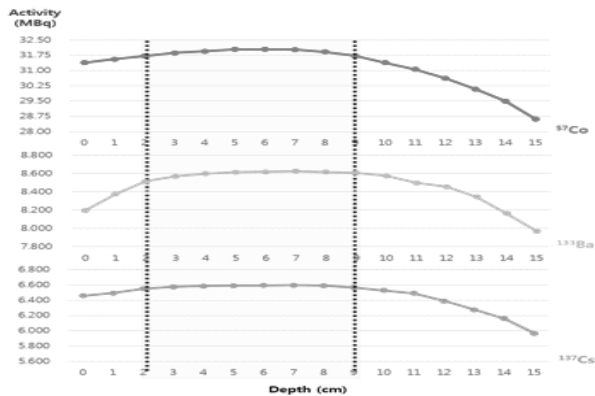


Fig. 6. The measurement value of a Standard source that depends on the depth in the CRC-15R Dose calibrator.

CRC-15β eta의 표준선원 사후검정 중 다중검정의 대응별 비교 그래프(Fig. 7)에서는 0 cm에서 2 cm까지 표준선원 모두 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). Plateau를 그리기 시작한 영역은 3 cm에서 9 cm로 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 10 cm의 깊이부터는 각 깊이별 대응검정시 통계적으로 유의한 차이가 발생하는 측정 깊이가 존재하여 Plateau 구간에서 제외되었다( $p < 0.05$ , Table 1).

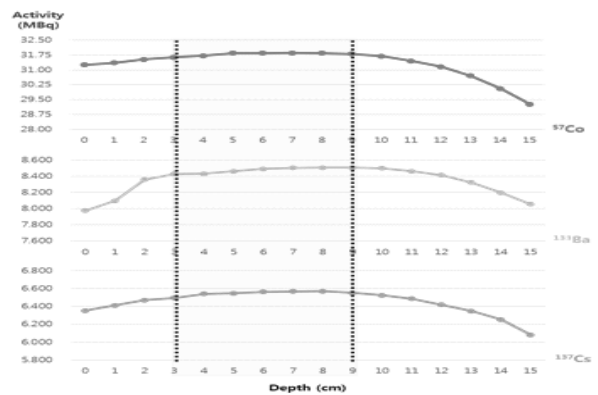


Fig. 7. The measurement value of a Standard source that depends on the depth in the CRC-15beta Dose calibrator.

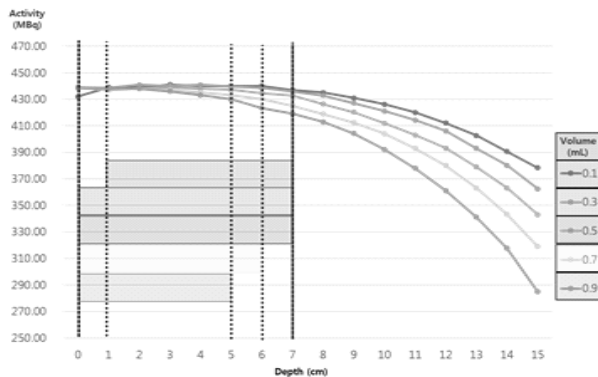
2) <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate를 이용한 측정 결과

<sup>99m</sup>Tc-pertechnetate의 사후검정 중 다중검정의 그래프(Fig. 8)는 0.1 mL에서 1 cm에서 7 cm, 0.3 mL와 0.5 mL에

**Table 2.** Average activity of <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate in CRC-15β eta Dose calibrator (fifteen times: average)

Depth (cm)	Activity (MBq)				
	Volume (mL)				
	0.1 mL	0.3 mL	0.5 mL	0.7 mL	0.9 mL
0	432.0	439.07	439.51	438.2	438.7
1	439.0	438.59	437.07	437.13	438.0
2	439.0	441.0	438.13	438.13	438.07
3	441.07	440.07	439.0	437.07	436.07
4	440.07	441.0	438.07	435.07	433.07
5	440.07	439.53	437.2	433.07	430.0
6	440.07	438.62	434.66	430.13	423.4
7	437.0	436.0	432.7	425.0	419.07
8	435.13	433.0	426.4	419.0	413.0
9	431.0	427.07	420.27	412.4	404.2
10	426.2	421.2	412.0	404.07	392.13
11	420.2	414.27	403.0	393.07	378.0
12	412.07	406.2	393.2	380.07	361.2
13	402.67	393.07	379.07	363.13	341.2
14	390.6	380.27	363.2	343.2	317.73
15	378.4	362.47	343.07	319.07	285.0

서는 0 cm에서 7 cm, 0.7 mL에서는 0 cm에서 6 cm, 0.9 mL에서는 0 cm에서 5 cm에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다( $p>0.05$ ). 표준선원과 마찬가지로 일정구간에서는 Plateau를 그리고 0.1 mL에서는 0 cm 구간에서 유의한 차이가 나타남으로 Plateau를 그리는 영역에서 벗어났고, 0.7 mL에서는 7 cm, 0.9 mL에서는 6 cm 깊이 이후에 Plateau를 그리는 영역에서 벗어났다. 즉 높이에 따른 변화가 가장 적은 Plateau 구간이 0.3 mL와 0.5 mL에서 가장 넓게 분포했다(Table 2).



**Fig. 8.** The measurement value of a <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate that depends on the depth and volume in the CRC-15βeta Dose calibrator.

## 고찰

본 연구는 진단 영역에 많이 사용하는 <sup>99m</sup>Tc-pertechnetate를 제한적인 선량으로만 실험을 진행했다. 추후에는 진단영역에서 사용되는 다양한 선량과 소아에 대한 투여량 그리고 고용량 치료에 대한 선량에 대해 고려한 연구도 진행되어야 할 것으로 생각된다. 표준선원을 제외하고 실제 진단에 사용하는 다른 핵종으로 핵의학과에서 사용 빈도가 높은 <sup>201</sup>Tl, <sup>131</sup>I, <sup>123</sup>I, <sup>18</sup>F의 핵종에 대한 연구의 진행도 요구된다. 또한 감마카메라 검사실에서 사용하는 기종의 Dose calibrator를 포함하여, 추후에는 치료병실과 PET-CT 검사실에서 사용하는 다른 기종의 Dose calibrator에서도 차이를 확인해야한다. 마지막으로 1 mL 주사기를 이용하여 깊이에 대한 변화만 측정하였지만 추후에는 들레에 따른 차이와 다양한 용량으로 확인해야한다.<sup>7)</sup>

## 결론

측정 깊이와 용량에 따라 기하학적인 변화에 의한 선량의 성향을 살펴보았다. 각 의료기관마다 Dose calibrator 장비 설치 시 혹은 장비의 노후화에 의해 측정하는 깊이의 차이가 발생한다. 동일한 검사를 하더라도 검사자에 의해 혹은 Generator의 특성상 용출한 날에 따라 비방사능 차이

가 발생한다. 본 연구를 통해 방사성동위원소를 환자에게 주입하거나 정도관리를 진행 시 편차가 적고 재현성을 위해 신뢰할 수 있는 구간을 확인 할 수 있었다. 본원의 주사실에서 자주 사용하는 1 mL 주사기를 기준으로 높이에 따른 변화가 가장 적은 Plateau의 구간이 0.3 mL 혹은 0.5 mL의 용량으로 0 cm 에서 7 cm의 깊이에서 측정한다면, 편차를 최소한으로 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 또한 표준선원의 경우에는 본 연구의 결과에 따라 장비마다 Plateau의 변화가 가장 적은 구간의 깊이에서 재현성 있게 측정하는 것이 중요하다고 생각된다. 기하학적인 변화가 일어나더라도 사용하는 장비의 성향을 파악하고 선량을 측정하면 오차를 최소한으로 줄일 수 있을 것이다. 따라서 의료기관마다 적절한 구간을 찾아서 재현성 있는 검사를 시행하면 검사의 품질향상 및 피폭선량저감 그리고 진단능을 높이는데 이바지 할 것이라고 생각된다.

## 요 약

핵의학이란 방사성동위원소 추적자를 인체에 투여하여 관심장기에 대한 형태학적인 정보와 생물학적이고 기능적인 정보를 얻고 평가한다. Dose calibrator는 의료기관에서 단일 핵종의 방사능을 측정하기 위해 사용하는 장비이며, 방사성동위원소의 정확한 용량의 투여는 진단과 치료에 중요한 요인이다. 최근 정량분석을 위한 여러 시스템이 개발되고 있고 ERPF (Effective Renal Plasma Flow), GFR (Glomerular Filtration Rate) 등 정량분석이 필요한 검사에 있어서 정확한 투여 용량 및 재현성 있는 측정이 중요해지고 있다. 따라서 본 논문을 통해 Dose calibrator의 측정 깊이와 용량에 따른 선량 값의 성향을 알아보고 적절한 측정 깊이 및 용량에 대해 알아 보고자 한다. 실험에 사용한 Dose calibrator는 CRC-15R과 CRC-15β eta (Capintec, New Jersey, USA)를 사용하였다. 선원으로는 표준선원 (Standard source)  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{57}\text{Co}$ 를 사용하였고, 방사성 의약품은  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnetate를 사용하였다. 표준선원은 측정 깊이만 변화하여 0 cm부터 15 cm까지 1 cm 깊이마다 15회씩 측정했고,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnetate의 경우에는 1 mL 주사기로 표준선원과 동일한 깊이로 실험을 진행했고, 용량의 변화를 고려하여 0.1 mL, 0.3 mL, 0.5 mL, 0.7 mL, 0.9 mL로 각 깊이마다 15회씩 측정했다. 표준선원인  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{57}\text{Co}$ 의 깊이의 변화에서는 모두 깊이에 따른 선량 값의 변화가 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnetate도 깊이에 따른 용량의 변화에서 선량 값이 모

두 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).

CRC-15R의 표준선원 비교 그래프에서  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{57}\text{Co}$ 는 Plateau를 그리기 시작한 2 cm에서 9 cm까지는 각 선원마다 비교시 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). CRC-15β eta의 표준선원 비교 그래프에서는 Plateau를 그리기 시작한 영역은 3 cm에서 9 cm로 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnetate의 그래프는 0.1 mL에서 1 cm에서 7 cm, 0.3 mL와 0.5 mL에서는 0 cm에서 7 cm, 0.7 mL에서는 0 cm에서 6 cm, 0.9 mL에서는 0 cm에서 5 cm에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 본 연구를 통해 방사성동위원소를 환자에게 주입하거나 정도관리를 진행 시 편차가 적고 재현성을 위해 신뢰할 수 있는 구간을 확인 할 수 있었다. 높이에 따른 변화가 가장 적은 Plateau의 구간이 0.3 mL 혹은 0.5 mL의 용량으로 0 cm 에서 7 cm의 깊이에서 측정한다면, 편차를 최소한으로 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 표준선원의 경우에는 본 연구의 결과에 따라 장비마다 Plateau의 변화가 가장 적은 구간의 깊이에서 재현성 있게 측정하는 것이 중요하다고 생각된다. 적절한 구간을 찾아서 재현성 있는 검사를 시행하면 검사의 품질향상 및 피폭선량저감 그리고 진단능을 높이는데 이바지 할 것이라고 생각된다.

## Reference

1. 고창순, 고창순 핵의학. 제 3판. 고려의학 2008. p1
2. Zimmerman BE, Cessna JT. Experimental determinations of commercial 'dose calibrator' settings for nuclides used in nuclear medicine. *Applied Radiation Isotopes*, 2000;52:615-19
3. 식품의약품안전청 의료기기안전국 방사선표준과, 의료용 방사능측정기의 품질관리에 대한 가이드라인. 식품의약품안전처 2008. p. 1-3
4. Gadd R, Baker M, Nijran KS, Owens S, Thomas W, Woods MJ, et al. Protocol for establishing and maintaining the calibration of medical radionuclide calibrators and their quality control. *Measurement Good practice Guide*, 2006;93:12-13
5. Sentry D. The Canadian experience in performing accuracy checks on administered doses of radiopharmaceuticals. *Applied radiation Isotopes*, 1998;49:1453-1458.
6. Joseph L, Anuradha R, Kulkarni DB. Quality audit

programme for  $^{99m}\text{Tc}$  and  $^{131}\text{I}$  radioactivity measurements with radionuclide calibrators. *Applied Radiation Isotopes*. 2008;66:994–997.

7. Santos JAM, Carrasco MF, Lencart J, Bastos AL. Syringe shape and positioning relative to efficiency volume inside dose calibrators and its role in nuclear medicine quality assurance programs. 2009;67:1104–1109.