방사성의약품 투여 시 차폐 종류에 따른 수정체선량 평가

강경원[1,2] · 김종상[2] · 정천수[3] · 동경래[4] · 김미현[4,5] · 정운관[1,*]

[1]조선대학교 원자력공학과, [2]전남대학교 핵의학과, [3]세안기술(주),
[4]광주보건대학교 방사선과, [5]전북대학교대학원 방사선과학기술학과

Evaluation of Lens Dose according to the Shield Type during Administration of Radiopharmaceuticals

Kyeong-Won Kang[1,2], Jong-Sang Kim[2], Cheon-Soo Jeong[3], Kyung-Rae Dong[4], Mi-Hyun Kim[4,5] and Woon-Kwan Chung[1,*]

[1]*Department of Nuclear Engineering, Chosun University, 375, Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju 61452, Republic of Korea*
[2]*Department of Nuclear Medicine, Chonnam National University Hospital, 42, Jebong-ro, Dong-gu, Gwangju 61469, Republic of Korea*
[3]*Sae-An Engineering Co. 184, Gasan digital2-ro, Geumcheon-gu, Seoul 08501, Republic of Korea*
[4]*Department of Radiological Technology, Gwangju Health University, 683-3 Shinchang-Dong, Gwangsan-Gu, Gwangju 62287, Republic of Korea*
[5]*Department of Radiation Science & Technology, Graduate School of Chonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea*

Abstract - Radiation workers in nuclear medicine use radioisotopes for diagnostic evaluation and treatment, so Their risk of radiation exposure of the lens is greater than for other medical staff. Furthermore, the ICRP report 118 has suggested to reduce the occupational equivalent dose limit for the lens from 150 mSv · year^{-1} to 20 mSv in a year, averaged over defined periods of 5 years, with no single year exceeding 50 mSv. Therefore, the radiation worker in nuclear medicine may have risk to exceed the equivalent dose limit of the lens. To evaluate the performance of the shield for lens protection, the dose of the lens was measured using an ED3 electron dosimeter. During administration of the radiopharmaceuticals, lens dose was measured in non-shielding and with syringe shield, lead glass, and L-block. Also, based on the measured doses, Calculated the dose per 1 mCi of used radioisotope to help make the work plan. Additionally, compared the measurements of the OSL and ED3 over 6 month period to evaluate whether the lens dose of OSL could replace the ED3 measurements.

Key words : Lens dose, Nuclear medicine workers, Shield, OSL

서 론

국내 원자력안전법 시행령에서는 방사선 작업종사자의 수정체등가선량한도를 연간 150 mSv로 정하고 있다. 또한

* Corresponding author: Woon-Kwan Chung, Tel. +82-62-230-7166, Fax. +82-62-232-9218, E-mail. wkchung@chosun.ac.kr

2007년 발간된 ICRP 103에서도 수정체등가선량한도를 연간 150 mSv로 권고하고 있다(ICRP 2007). 하지만 ICRP의 새로운 역학연구결과 백내장을 일으키는 문턱선량이 0.5 Gy 정도로 낮은 것으로 나타났다. 이에 따라 ICRP 118의 조직반응에 대한 성명서에서 장기간의 관찰과 최근 가용한 역학 조사의 결과를 통하여 수정체 등가선량한도를 5년 동안 평균 20 mSv (5년간 100 mSv), 그리고 한 해에 50 mSv를 초과하지 않는 것으로 하향 조정하였다(ICRP 2012). 하지만 아직 국내 원자력안전법에서는 이 같은 연구 결과가 반영되지 않고 있으며 수정체 피폭관리에 관하여서도 법에서 구체적으로 제시되지 않고 있다. 이전에는 수정체등가선량 한도가 몸통의 유효선량한도와 약 7배 차이가 있기 때문에 몸통에 패용하는 주 선량계가 연간 20 mSv를 넘기지 않는다면 몸통에 인접한 눈이 150 mSv를 넘을 가능성이 거의 없을 것으로 보았다(Cho *et al*. 2007). 하지만 ICRP 118에서 수정체 등가선량한도의 하향 권고로 인하여 주 선량계가 20 mSv를 넘지 않더라도 수정체 등가선량한도를 초과하여 피폭하는 종사자가 발생할 우려가 커지고 있다. 더욱이 핵의학과 방사선 작업종사자는 방사성의약품의 합성, 분배, 주사하는 등의 작업을 빈번하게 실시하고 이를 투여받은 환자에 대한 검사를 근접거리에서 실시하기 때문에 방사선피폭이 불가피하다(Germain 1986; Cabral *et al*. 2002). 특히 이러한 상황에서 차폐가 어려운 수정체에는 더욱 많은 피폭이 예상되는 상황이다. 핵의학과 방사선 작업종사자의 수정체선량을 평가한 최근의 실험에서는 ^{99m}Tc-Bone scan을 대상으로 한 측정에서 하루 평균 8.371±2.819명의 환자를 검사하는 동안 17.159±6.931 μSv·day^{-1}의 피폭이 발생하였으며 연간 4.289±1.732 μSv (약 4.3 mSv)로 피폭되는 것으로 평가하였다. 이때 적절한 차폐를 사용하지 않은 경우, 특히 방사성의약품 투여작업에서의 피폭선량이 많은 것을 확인할 수 있었다(Kang *et al*. 2017).

이에 본 연구에서는 Bone scan 시행 시 ^{99m}Tc-HDP 투여작업에서 수정체 보호에 효과적인 차폐체를 알아보고자 실용량 $H_p(0.07)$로 교정된 말단선량계인 ED3 (Active Extremity Dosimeter)를 사용하여 4가지 차폐상황에서 수정체선량을 측정하였다. 또한 기관마다 수정체선량 전용의 선량계를 구비할 수 없는 점을 고려하여 추가적으로 ED3 측정값과 법정선량계(OSL)의 수정체선량 판독값과 비교평가를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 차폐 종류별 수정체선량 측정

^{99m}Tc-Bone scan 투여작업을 대상으로 수정체 보호에 가장 효과적인 차폐체를 선별하기 위하여 차폐를 사용하지 않았을 경우와 차폐체 종류별로 각 30회 ED3 선량계를 이용하여 수정체에 피폭하는 선량을 측정하였다. 실험에 사용된 차폐체는 Syringe shield, Lead glass, L-block이다(Table 1). 환자에게 방사성의약품 투여 절차는 모든 차폐상황에서 동일하게 환자 주사라인확보, 검사 절차 및 시간 설명, ^{99m}Tc-HDP 투여, 환자에게서 주사바늘 제거 순서로 구성하였다. 수정체선량 측정에 포함된 시간은 선원의 노출로 피폭이 시작되는 ^{99m}Tc-HDP 투여부터 환자에게서 주사바늘 제거까지이다. 측정은 투여 중 시간이나 사용량에 따른 피폭선량의 변동을 고려해 투여시간은 80초 이내, 투여량은 환자 체중에 따라 25~31 mCi 사이로 제한하였다.

2. 사용기기

2.1 ED3 Active Extremity Dosimeter

ED3 Active Extremity Dosimeter는 Rounda S.T에서 나온 제품으로써 에너지별로 디텍터를 다르게 두고 있는 전자선량계이다(Fig. 1). 이 선량계는 중재적 방사선, 방사선 치료, 핵의학, 높은 선량 환경 등에서도 측정이 가능하다. 주요특징은 베타와 광자(감마, X선)에 대한 $H_p(0.07)$을 실시간으로 기록 또는 ALARA의 영향에 대해 모니터링할 수 있고, 소프트웨어를 사용하여 PC에 보관할 수 있다.

각각의 디텍터 ED3D1은 2개의 실리콘 다이오드로 구성되어 $H_p(0.07)$ 말단선량에 대하여 60 keV~1.25 MeV까지 광자의 선량을 측정하는데 적합하다(Table 2). ED3 디텍터는 눈의 수정체에 가깝게 위치시키기 위하여 안경테에 부착하여 착용하였다(Fig. 2).

2.2 OSL 및 판독시스템

2017년 2월부터 2017년 7월까지 6개월간 검사 준비 전에 ED3 선량계를 착용하여 당일 검사가 모두 끝날 때까

Table 1. Types and characteristics of shield

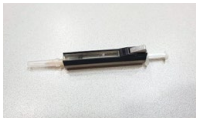
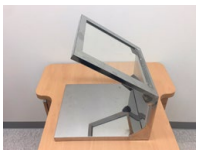
Types	Picture	Characteristics
Syringe shield		Syringe: 2 mm·W Lead glass: 1.5 mm·Pb
Lead glass		Lead glass: 0.5 mm·Pb
L-block		L-block: 2 mm·Pb Lead glass : 2 mm·Pb

Table 2. ED3 detector specification

Detector	2× Silicon diodes
Radiation measured	Standard $H_p(0.07)$ photon measurements 60 keV~1.25 MeV
Uses	Suitable for most $H_p(0.07)$ photon extremity dose equivalent requirements
Dose range	0.0 μSv to 1 Sv $H_p(0.07)$ [0.00 mrem to 100 rem]
Dose accuracy	±20% ^{137}Cs
Dose rate range	0.0 μSv·h^{-1} to 100 mSv·h^{-1} $H_p(0.07)$ [0.00 mrem·h^{-1} to 10 rem·h^{-1}]
Dose rate accuracy	±20% ^{137}Cs
Energy response	Typical ± 30% 60 keV to 1.25 MeV
Response time	16 seconds < 735 μSv·h^{-1} and 2 seconds > 735 μSv·h^{-1} $H_p(0.07)$
Linearity	±20%
Angular response	±30%
Energy compensation	Tin/lead filter
Active area of detectors	7.0 mm^2
Dose temperature stability	±20% from 0°C to 40°C
EMC	European EMC Directive 2004/108/EC for radiated emissions and susceptibility.
Maintenance	Annual calibration & physical checks
Lead length	1.4 m

Fig. 1. ED3 active extremity detector.

Fig. 2. Where to wear ED3.

지 측정을 실시하였다. 동시에 법정 선량계와의 비교 평가를 위해 실험을 실시한 기관에서 사용 중인 OSL를 가슴 부위에 착용하여 1달 주기로 판독을 실시하였다. OSL은 실험을 시행한 기관과 동일하게 한일원자력에 판독을 의뢰하였고 판독에 사용된 장비는 Landauer (USA)사의 Auto 200 Dosimetry Reader이다(Table 3).

3. 분석방법

방사성의약품 투여작업을 Non-shielding, Syringe shield, Lead glass, L-block 사용 시의 네 가지 상황으로 구분하였으며 ED3를 통하여 측정된 수정체선량 데이터는 ED3 data manager ver.2.3 program을 통하여 분석하였다(Fig. 3). 네 가지 차폐상황에서 수정체선량 차이를 비교하고 추가적으로 ED3로 측정된 수정체선량과 OSL 판독치 비교를 위하여 SPSS (ver21.0 for Windows, SPSS Inc, Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계분석을 실시하였다.

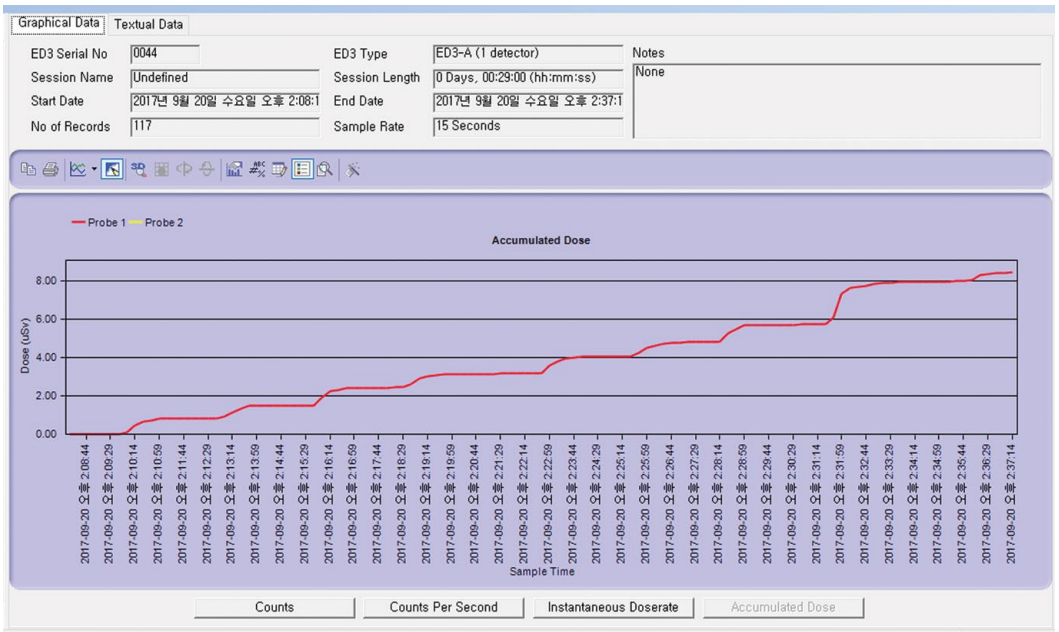
결 과

1. 방사성의약품 투여작업 시 차폐종류별 수정체선량

방사성의약품 투여작업 시 Non-shielding 상황일 때와 Syringe shield, Lead glass, L-block을 사용한 상황에서 수정체선량을 측정하였다. 위 네 가지 경우의 수정체선량 측정값을 SPSS (ver21.0 for Windows, SPSS Inc, Chicago, IL, USA)를 이용하여 기술통계 값은 백분율(%) 또는 평균±표준편차(Mean±SD)로 표시하였다. 네 군 간의 연속변수는 One-Way-Anova (일원배치분석)을 이용하여 검증하였다. 통계적 유의성은 p value가 0.05 미만인 경우로 간주하였다. 실험결과 수정체선량은 평균적으로 Non-shielding일 때 0.782±0.334 μSv이고 Syringe shield 0.459±0.122 μSv,

Table 3. Technical specifications of auto 200 dosimetry reader

Operation	Al_2O_3 with OSL; high-sensitivity photon counting system and dose calculation algorithm
Speed	Readout in 12∼13 sec.
Capacity	4 magazines, 50 dosimeters each, 200 dosimeters per load
Energy dependence	Within ± 10% over diagnostic energy; within ± 1% for photons and electrons from 5∼20 MeV (please confirm)
LED array	36
Size	24.5″H × 17.5″W × 15″D (40″ × 27″ × 25″ with crate)
Power requirement	120∼240 V
Weight	100 lb. (150 lb. with crate)
Bar code input	Internal optical reader



	Record N	Record Date	P1 Count	P1 CPS	P1 Instantaneous Doserate (uSv/h)	P1 Accumulated Dose (uSv)	Enabled
▶	1	오후 2:08:14 2017-09-20	0	0,0	0,000	0,000	☑
	2	오후 2:08:29 2017-09-20	1	0,1	0,980	0,004	☑
	3	오후 2:08:44 2017-09-20	1	0,1	0,980	0,008	☑
	4	오후 2:08:59 2017-09-20	0	0,0	0,000	0,008	☑
	5	오후 2:09:14 2017-09-20	1	0,1	0,980	0,012	☑
	6	오후 2:09:29 2017-09-20	2	0,1	1,961	0,020	☑
	7	오후 2:09:44 2017-09-20	1	0,1	0,980	0,025	☑
	8	오후 2:09:59 2017-09-20	23	1,5	22,549	0,118	☑
	9	오후 2:10:14 2017-09-20	81	5,4	79,412	0,449	☑
	10	오후 2:10:29 2017-09-20	48	3,2	47,059	0,645	☑
	11	오후 2:10:44 2017-09-20	21	1,4	20,588	0,731	☑
	12	오후 2:10:59 2017-09-20	19	1,3	18,627	0,809	☑
	13	오후 2:11:14 2017-09-20	3	0,2	2,941	0,821	☑
	14	오후 2:11:29 2017-09-20	2	0,1	1,961	0,829	☑
	15	오후 2:11:44 2017-09-20	0	0,0	0,000	0,829	☑
	16	오후 2:11:59 2017-09-20	0	0,0	0,000	0,829	☑
	17	오후 2:12:14 2017-09-20	1	0,1	0,980	0,833	☑
	18	오후 2:12:29 2017-09-20	0	0,0	0,000	0,833	☑
	19	오후 2:12:44 2017-09-20	0	0,0	0,000	0,833	☑
	20	오후 2:12:59 2017-09-20	16	1,1	15,686	0,899	☑

0 Rows Disabled ☑ Display Gridlines Max Dosera
Edit Enabled Rows Total Do

Fig. 3. ED3 data manager ver.2.3 program.

Table 4. Lens dose according to the type of shielding at administration

Number of measurements	Non-shielding			Syringe shield			Lead glass			L-block		
	Time[1]	Administration dose[2]	Exposure dose[3]	Time[1]	Administration dose[2]	Exposure dose[3]	Time[1]	Administration dose[2]	Exposure dose[3]	Time[1]	Administration dose[2]	Exposure dose[3]
1	65	29.7	0.784	68	29.6	0.446	53	29.5	0.364	62	30.5	0.077
2	61	29.5	0.646	67	29.3	0.155	42	29.3	0.257	60	30.0	0.053
3	58	29.4	0.903	73	28.9	0.613	69	27.8	0.262	47	29.7	0.090
4	63	29.3	0.666	76	28.4	0.707	71	29.4	0.327	76	29.5	0.107
5	66	29.0	0.870	63	28.3	0.335	47	29.1	0.237	69	29.3	0.082
6	60	28.9	0.699	80	28.1	0.589	35	28.8	0.454	77	27.9	0.073
7	63	28.7	0.870	65	29.0	0.478	46	28.6	0.339	47	28.8	0.094
8	61	28.3	0.445	55	28.7	0.462	62	28.5	0.331	63	28.2	0.111
9	63	27.9	0.789	71	28.3	0.519	58	28.9	0.253	64	28.0	0.094
10	47	29.5	1.365	56	28.2	0.494	44	28.7	0.352	50	27.7	0.074
11	46	29.3	0.768	55	28.1	0.494	45	28.3	0.294	67	27.3	0.102
12	46	29.2	0.686	64	27.9	0.584	56	27.5	0.237	53	26.9	0.042
13	70	29.0	0.706	67	27.8	0.466	41	27.3	0.491	67	26.8	0.073
14	45	28.8	1.524	70	27.6	0.363	47	27.0	0.192	65	26.8	0.057
15	62	28.5	0.482	56	27.4	0.515	50	26.9	0.147	73	29.7	0.143
16	48	28.4	0.861	72	30.0	0.642	62	29.6	0.192	68	29.5	0.074
17	51	30.5	0.682	73	29.3	0.674	47	29.4	0.237	52	29.3	0.118
18	62	30.0	0.621	63	29.5	0.294	53	29.2	0.196	57	29.0	0.094
19	49	29.4	0.593	65	29.2	0.441	63	29.0	0.318	54	29.8	0.086
20	63	30.1	0.666	68	26.7	0.413	53	28.4	0.286	68	29.2	0.164
21	45	29.9	1.524	69	29.0	0.503	52	28.2	0.147	66	28.6	0.077
22	62	29.4	0.800	57	27.8	0.335	66	28.1	0.245	67	29.7	0.122
23	63	29.3	0.552	64	27.4	0.474	43	30.1	0.511	53	29.5	0.093
24	61	29.1	0.474	75	27.1	0.375	41	29.8	0.359	64	29.3	0.065
25	52	29.0	0.482	53	27.0	0.331	47	29.7	0.241	57	29.9	0.094
26	61	28.7	0.507	55	29.4	0.335	44	29.6	0.355	58	26.9	0.087
27	45	28.6	1.773	55	29.2	0.474	52	29.4	0.237	63	26.8	0.074
28	62	29.0	0.560	59	29.0	0.486	46	29.2	0.176	76	28.5	0.057
29	68	28.9	0.621	63	28.5	0.323	49	29.1	0.229	56	28.4	0.082
30	62	28.5	0.555	54	29.7	0.466	53	28.9	0.205	63	28.1	0.061
Mean ±SD	57.667 ±7.836	29.127 ±0.574	0.782 ±0.334	64.367 ±7.554	28.480 ±0.879	0.459 ±0.122	51.223 ±8.866	28.777 ±0.837	0.282 ±0.093	62.067 ±8.296	28.653 ±1.114	0.087 ±0.026

[1]The unit is the number of sec. [2]The unit is the number of mCi. [3]The unit is the number of μSv.

Table 5. Result of a comparative analysis of lens dose according to the type of shielding at administration

Variable	Type of shield	Mean	SD	F	Scheffe
Time[1]	Non-shielding (a)	57.667	7.836	15.073/0.000	b > a, c d > a, b, c (Dunnett T3)
	L-block (b)	62.067	8.296		
	Lead glass (c)	51.233	8.865		
	Syringe shield (d)	64.367	7.554		
Administration dose[2]	Non-shielding (a)	29.127	.573	2.949/0.036	a > b, c, d b > d, c > b, c (Dunnett T3)
	L-block (b)	28.653	1.114		
	Lead glass (c)	28.777	.837		
	Syringe shield (d)	28.480	.879		
Exposure dose[3]	Non-shielding (a)	.782	.334	76.896/0.000	b < a, c, d (Dunnett T3)
	L-block (b)	.087	.026		
	Lead glass (c)	.282	.092		
	Syringe shield (d)	.402	.121		

[1]The unit is the number of sec. [2]The unit is the number of mCi. [3]The unit is the number of μSv.

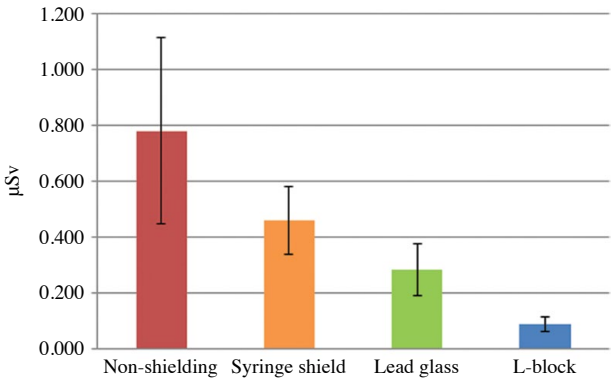


Fig. 4. Average lens dose according to the type of shield.

Lead glass 0.282 ± 0.093 μSv, L-block 0.087 ± 0.026 μSv로써 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p < 0.05) (Tables 4, 5). 이 중 수정체에 대한 차폐 성능이 가장 우수한 것은 L-block이었다. Non-shielding 상태를 기준으로 비교했을 때 각각 차폐체별로 Syringe shield 41.3%, Lead glass 63.9%, L-block 88.9% 수정체에 대한 피폭선량을 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다(Fig. 4).

2. 방사성의약품 투여작업 시 동위원소 사용 1 mCi당 차폐체별 수정체선량

핵의학 방사선 작업종사자는 동일한 양의 방사성동위원소를 사용하더라도 검사환경에 따라 받게 되는 피폭선량의 차이가 날 수 있다. 그러나 일반적인 환경에서는 사용량에 따른 피폭량을 미리 알고 작업계획을 세운다면 더욱 효과적인 피폭관리를 할 수 있다. 검사종류별, 환자 체중별로 사용되는 방사성동위원소의 투여량이 각각 다르기 때문에 사용되는 선원 1 mCi당 피폭되는 수정체선량을 분석하여 체계적인 피폭관리에 도움이 되고자 했다. 분석결과 1 mCi 당 피폭선량은 Non-shielding일 때 0.027 ± 0.011 μSv이고 Syringe shield 0.016 ± 0.004 μSv, Lead glass 0.010 ± 0.003 μSv, L-block 0.003 ± 0.001 μSv로 나타났다(Table 6).

Table 6. Conversion of dose per 1 mCi at using ^{99m}Tc-Bone scan isotope

Type of shield	ED3 measures[1]	Use amount[2]	Dose per 1 mCi[3]
Non-shielding	0.782 ± 0.334	29.127 ± 0.574	0.027 ± 0.011
Syringe shield	0.459 ± 0.122	28.480 ± 0.879	0.016 ± 0.004
Lead glass	0.282 ± 0.093	28.777 ± 0.837	0.010 ± 0.003
L-block	0.087 ± 0.026	28.653 ± 1.114	0.003 ± 0.001
Mean ± SD	0.027 ± 0.011	0.016 ± 0.004	0.010 ± 0.003

[1]The unit is the number of μSv. [2]The unit is the number of mCi. [3]The unit is the number of μSv · mCi^{-1}.

Table 7. Lens dose of measured with ED3 and OSL

Period	OSL[1]			ED3[1]
	Deep dose[1]	Shallow dose[1]	Lens dose[1]	
2017 02	0.21	0.2	0.21	0.294
2017 03	0.31	0.33	0.31	0.314
2017 04	0.3	0.29	0.3	0.177
2017 05	0.35	0.36	0.35	0.184
2017 06	0.14	0.14	0.14	0.120
2017 07	0.09	0.11	0.09	0.092

[1]The unit is the number of mSv.

3. ED3로 측정된 수정체선량과 OSL로 평가된 수정체선량 비교

법정선량계로 가장 많이 사용되고 있는 TLD와 OSL은 판독기관에 의뢰하여 소자반응도를 선량평가 알고리즘에 적용하여 수정체선량 평가치를 알 수 있다. 이러한 수정체선량 평가치와 ED3 실측치와의 관계를 평가하기 위하여 ED3를 측정한 같은 기간 동안 OSL을 가슴 부위에 착용하

여 1달 주기로 판독된 결과를 비교하였다(Table 7).

결과적으로 ED3와 OSL 두 수정체선량값은 통계적으로 유의한 차이는 없었다(t=0.659, p=0.525) (Table 8). 2, 3, 7월은 ^{99m}Tc 검사실에서 측정이었으며 ED3 측정값이 OSL값보다 더 높게 나온 것은 투여작업 시 가슴에 착용한 OSL은 납치마로 인해 차폐 효과가 있었지만 수정체에 대해서는 별다른 차폐를 사용하지 않은 것이 원인으로 생각된다. 4, 5, 6월은 ^{18}F 검사실에서의 측정이었으며 ED3 측정값이 OSL값보다 더 낮게 나온 것은 투여작업 시 L-block 사용으로 수정체에 적절한 차폐가 적용되었으나 ^{18}F의 다소 높은 에너지 때문에 검사 작업에서의 납치마의 차폐 효과가 거의 나타나지 않은 것으로 여겨진다. 6회의 측정에서 OSL과 ED3 측정 간의 정확한 상관관계를 확인하기 어려웠으나 대체적으로 ED3로 실측한 값이 OSL 수정체선량값을 크게 초과하지는 않는 것으로 보였다.

Table 8. Result of a comparative analysis of ED3 and OSL

Dosimeter	Mean±SD[a]	t	p
OSL	0.233±0.104	0.659	0.525
ED3	0.197±0.088		

[a]The unit is the number of mSv. Interaction effect using Independent Sample t-test. p>0.05.

4. 동일 기관 방사선사들의 OSL 수정체선량 비교

최근 1년간 동일 기관의 방사선사 12명이 법정선량계로 착용 중인 OSL 판독결과 모든 방사선사들의 평균 수정체선량은 3.37±1.88 mSv로 연간선량한도 평균치인 20 mSv 미만을 기록하였다(Table 9). OSL의 수정체선량 평가치가 실측치와 유사한 점을 고려하면 동일한 기관에서 수정체등가선량한도를 초과한 방사선사는 없을 것으로 판단된다. 또한 수정체선량이 8.56 mSv를 기록한 1명의 방사선사를 제외한 모든 구성원들의 수정체선량 뿐만 아니라 심부선량도 3.36±1.87 mSv로 선량제약치로 제시된 6 mSv 이하의 판독치를 기록하였다(원자력안전위원회 2014).

Table 9. OSL dose of radiation worker at the institution that performed the measurement for the last year

Worker	Quarter	Deep dose[1]	Shallow dose[1]	Lens dose[1]	Worker	Quarter	Deep dose[1]	Shallow dose[1]	Lens dose[1]
A	1	1.04	1.1	1.04	G	1	0.16	0.18	0.16
	2	1.26	1.64	1.42		2	0.62	0.6	0.62
	3	1	0.95	1		3	0.39	0.38	0.39
	4	2	1.97	2		4	0.7	0.71	0.7
	Total	5.3	5.66	5.46		Total	1.87	1.87	1.87
B	1	0.83	0.84	0.83	H	1	0.34	0.37	0.34
	2	0.88	0.84	0.88		2	0.74	0.77	0.74
	3	0.61	0.63	0.61		3	0.51	0.49	0.51
	4	1.01	0.97	1.01		4	0.34	0.32	0.34
	Total	3.33	3.28	3.33		Total	1.93	1.95	1.93
C	1	0.55	2.94	0.55	I	1	0.83	0.88	0.83
	2	0.32	0.35	0.32		2	0.84	0.88	0.84
	3	0.8	0.79	0.8		3	1.11	1.11	1.11
	4	0.69	0.72	0.69		4	0.52	0.54	0.52
	Total	2.36	4.8	2.36		Total	3.3	3.41	3.3
D	1	1.34	1.32	1.34	J	1	0.36	0.37	0.36
	2	2.18	2.22	2.18		2	0.47	0.48	0.48
	3	3.5	3.6	3.5		3	1.14	1.18	1.14
	4	1.54	1.56	1.54		4	0.93	0.94	0.93
	Total	8.56	8.7	8.56		Total	2.9	2.97	2.91
E	1	0.92	0.93	0.92	K	1	0.28	0.27	0.28
	2	0.19	0.18	0.19		2	0.87	0.89	0.87
	3	0.88	0.91	0.91		3	0.7	0.72	0.7
	4	0.45	0.43	0.45		4	0.57	0.6	0.57
	Total	2.44	2.45	2.47		Total	2.42	2.48	2.42
F	1	0.84	0.84	0.84	L	1	0.38	0.38	0.38
	2	0.57	0.56	0.57		2	0.7	0.73	0.7
	3	0.86	0.84	0.86		3	0.82	0.88	0.82
	4	0.88	0.83	0.88		4	0.81	0.83	0.81
	Total	3.15	3.07	3.15		Total	2.71	2.82	2.71
Mean±SD		Deep dose[1]: 3.36±1.87, Shallow dose[1]: 3.62±1.94, Lens dose[1]: 3.37±1.88							

[1]The unit is the number of mSv.

고 찰

의료기관 방사선 작업종사자의 피폭관리의 관심이 높아짐과 더불어 수정체등가선량한도의 하향 권고로 인하여 수정체선량의 평가 및 관리에 필요성이 대두되고 있다. 하지만 현재 국내원자력법에서는 수정체등가선량한도 수치만 제시되어 있을 뿐 그 관리방법에 대해서는 구체적으로 기술되어 있지 않다. 따라서 적절한 관리기준이 마련되기 위해서는 각 기관의 특성에 맞는 수정체선량의 평가가 필요하다. 국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurement. ICRU) 보고서 51에 따르면 개인감시를 위한 실용량인 개인선량당량 $H_p(d)$로써 눈 수정체선량을 감시하는 특별한 경우 d = 3 mm 깊이가 적합한 것으로 권고하고 있다. 하지만 방향성선량당량 $H'(3,\Omega)$와 개인선량당량 $H_p(3)$는 실제로 거의 사용하지 않으며, 눈 수정체선량을 다른 실용량으로 평가할 수 있다면 눈 수정체 피폭감시는 충분히 달성될 수 있으므로 3 mm 길이에서의 선량 사용 중단을 제안하고 있다. 보통 $H_p(0.07)$를 이 특별 목적으로 사용한다. 투과력이 큰 방사선일 경우 3 mm 깊이의 수정체선량이 0.07 mm 깊이의 피부선량보다 다소 높지만 그 차이는 이전의 선량한도의 차이에 비해 작기 때문이다(ICRU 1993). 그러나 새롭게 권고된 ICRP의 수정체 등가선량한도가 이전에 비해 크게 낮아짐에 따라 $H_p(3)$와 $H_p(0.07)$의 차이를 고려하면 유효선량한도를 충족하는 것이 반드시 수정체 등가선량한도를 충족하지 못할 우려가 있다. 최근의 연구결과 베타피폭에서는 핵종에 따라 차이는 있지만 $H_p(3)$은 수정체 등가선량을 만족할 수준으로 대표할 수 있으나 $H_p(0.07)$은 용인할 수 없을 정도로 과대평가할 위험이 있는 것으로 나타난다. 하지만 광자 방사선에서는 $H_p(0.07)$과 $H_p(3)$의 차이가 현저하지 않아 $H_p(0.07)$를 대체량으로 사용할 수 있는 것으로 나타났다(Behrens and Dietze 2010). 따라서 핵의학과에서 주로 사용되는 광자장에서 $H_p(0.07)$이 수정체선량을 대체할 수 있다고 판단하였다. 이에 본 연구는 방사성의약품 투여작업 시 수정체선량을 실용량 $H_p(0.07)$로 교정된 말단선량계인 ED3 (Active Extremity Dosimeter)를 사용하여 차폐체 종류별로 수정체선량을 측정하였다. 실험결과 수정체선량은 평균적으로 Non-shielding일 때 0.782 ± 0.334 μSv이고 Syringe shield 0.459 ± 0.122 μSv, Lead glass 0.282 ± 0.093 μSv, L-block 0.087 ± 0.026 μSv로 나타났다. 이 중 수정체에 대한 차폐 성능이 가장 우수한 것은 L-block이었다. Non-shielding 상태를 기준을 비교했을 때 L-block은 88.9%까지 수정체에 대한 피폭선량을 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 방사성의약품 투여작업 시에는 L-block을 사용하는 것이 좋으며 Syringe shield와 Lead glass 또한 차폐 효과가 뚜렷한 만큼 상황별로 적절한 차폐체를 사용하여 수정체를 보호할 필요가 있다.

추가적으로 실시된 ED3 측정값과 법정선량계(OSL)의 수정체선량 판독값과 비교평가에서는 ED3와 OSL 두 수정체선량값은 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 따라서 수정체선량 측정을 위한 선량계가 구비되어있지 않다면 지난 OSL 판독치를 참고하여 다소 높은 피폭이 발생한 종사자에게는 방사선장해방호를 위한 적절한 조치를 취할 수 있을 것이다. ED3를 이용한 측정 결과 수정체 등가선량한도에 못 미치는 값이지만 작업환경에 따라 높은 선량에 피폭되는 작업자가 발생할 우려가 있는 만큼 수정체선량에 대한 지속적인 관리가 요구된다.

결 론

이번 실험을 통해 방사성의약품 투여작업 시 수정체 보호를 위한 차폐체의 성능을 평가하였다. 실험에 사용된 차폐체 모두 수정체선량을 현저히 감소시킬 수 있는 것으로 나타났으며 그에 따라 본 실험결과가 투여작업 뿐만 아니라 다른 작업 상황에 맞는 적절한 차폐체를 선택함에 있어 참고가 될 수 있을 것이라 생각한다. 또한 사용된 방사성의약품 1 mCi당 수정체에 대한 피폭량을 제시함으로써 검사종류별, 환자 체중별로 달라지는 사용량에 따라 달라지는 피폭선량을 예측할 수 있도록 하였다. 작업에 따른 방사선피폭선량을 예측할 수 있다면 보다 면밀한 작업계획으로 효과적인 피폭관리를 할 수 있을 것으로 기대된다. ED3 측정값과 법정선량계(OSL)의 수정체선량 판독값은 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 따라서 수정체선량 측정을 위한 선량계가 구비되어있지 않다면 지난 OSL 판독치를 참고하여 다소 높은 피폭이 발생한 종사자에게는 방사선장해방호를 위한 적절한 조치를 취할 수 있을 것이다. 향후 기관별로 사용하는 방사성동위원소 특성에 따른 수정체선량의 측정이 이루어진다면 수정체선량의 구체적인 관리방안 마련에 도움이 될 것이다.

사 사

This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Radiation Safety Foundation (KORSAFe) and the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC), Republic of Korea (Grant No. 1305033).

참 고 문 헌

원자력안전위원회. 2014. 개인 피폭방사선량의 평가 및 관리

에 관한 규정. 원자력안전위원회고시 제2014-69호.
원자력안전위원회. 2016. 원자력안전법 시행령 대통령령 제27678호.
원자력안전위원회. 2016. Establishment of Dose Constrains for Radiation Workers in Nuclear Medicine. NSTAR-15NS11-01.
Behrens R and Dietze G. 2010. Monitoring the eye lens: which dose quantity is adequate?. *Phys. Med. Biol.* **55**(14):4047-4062.
Cabral G, Amaral A, Campos L and Guimaraes MI. 2002. Investigation of maximum doses absorbed by people accompanying patients in nuclear medicine departments. *Radiat. Prot. Dosim.* **101**(1):435-438.
Cho JK, Cho HS and Han TJ. 2007. Efficacy of Lens Shielding Device to Prevent Cataract with Radiotherapy for Orbit or Ocular Adnexal Tumor. *J. Korea Cont. Assoc.* **7**(12):139-144.
ICRP. 1990. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press, New York.
ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Pergamon Press, New York.
ICRP. 2012. ICRP Statement on Tissue Reaction and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs-Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Pergamon Press. Oxford.
ICRU. 1993. Quantities and units in radiation protection dosimetry. ICRU Report 51. Bethesda.
Kang KW, Song HJ, KIm HG, Dong KR, Kim MH and Chung WK. 2017. Evaluation of Lens Dose of Nuclear Medicine Radiation Workers. *J. Radia. Ind.* 11(4):241-250.
St Germain J. 1986. The radioactive patient. *Semin. Nucl. Med.* **16**(3):179-183.

Received: 4 January 2018
Revised: 20 January 2018
Revision accepted: 17 February 2018