

<원저>

방사성요오드(I-131) 격리병실 치료 관리를 위한 환자의 체외방사선량률과 상주 보호자의 피폭선량평가

강석진¹⁾·이두현^{1),2)}·소영^{1),3)}·이정우^{1),4)}¹⁾건국대학교 산업대학원 의학물리융합학과·²⁾굿모닝병원 방사선종양학과³⁾건국대학교병원 핵의학과·⁴⁾건국대학교병원 방사선종양학과

Evaluation of Caregivers' Exposed Dose and Patients' External Dose Rate for Radioactive Iodine (I-131) Therapy Administration in Isolated Ward

Seok-Jin Kang¹⁾·Doo-Hyeon Lee^{1),2)}·Young So^{1),3)}·Jeong-Woo Lee^{1),4)}¹⁾Department of Convergent Medical Physics, Graduate School of Engineering, Konkuk University²⁾Department of Radiation Oncology at Good Morning Hospital³⁾Department of Nuclear Medicine at Konkuk University Hospital⁴⁾Department of Radiation Oncology at Konkuk University Hospital

Abstract In this study, the radiation dose rate was measured by time and distance and evaluated whether radiation dose rate was suitable for domestic and international discharge criteria. In addition, the radiation dose emitted from the patient was measured with a glass dosimeter to evaluate the exposure dose if the caregiver stays in the isolated ward by placing a humanoid phantom instead of the caregiver at a distance of 1 m from the patient, on the second day of treatment. After 23 hours of isolation, the radiation dose rates at a distance of 1 m were $20.54 \pm 6.21 \mu\text{Sv/h}$ at 2.96 GBq administration and $27.94 \pm 12.33 \mu\text{Sv/h}$ at 3.70 GBq administration. The radiation dose rates at a distance of 1 m were $25.90 \pm 2.21 \mu\text{Sv/h}$ when 2.96 GBq was administered and $34.22 \pm 10.06 \mu\text{Sv/h}$ when 3.70 GBq was administered after 18 hours of isolation. However, if the isolation period is short may cause unnecessary radiation exposure to the third person. The reading of the attached dosimeter from the morning of the second day of treatment until removal was 0.01 to 0.95 mSv, which is a surface dose determined by the International Commission on Radiation Units and Measurements. And the depth dose was 0.01 to 0.99 mSv. On the second day of treatment, even if the patient caregivers stayed in the isolation ward, the exposure dose of the patient family did not exceed the effective dose limit of 5 mSv recommended by the ICRP and NCRP.

Key Words : I-131, Radioisotope, Humanoid Phantom, Isolation Ward, Discharge Criteria, Exposure Dose

중심 단어 : 방사성요오드, 방사성동위원소, 인체모사팬텀, 격리병실, 퇴원기준, 피폭선량

I. 서론

갑상선암으로 외과적 절제술을 받은 환자들 중 I-131 방사성동위원소 치료를 받는 환자들은 투여량이 1,100 MBq 이상이면 주변 사람의 피폭선량을 고려하고 잠재적인 방사

선 피폭을 최소화하기 위해 격리병실에서 격리가 된 상태로 치료가 필요하다[1]. I-131 방사성동위원소 투여량은 남아 있는 갑상선 조직의 양과 주변조직으로의 전이 등 암의 진행 정도에 따라 결정되나 보통 2.77 GBq~7.40 GBq 정도이다[2]. 치료를 위해 I-131 방사성동위원소가 투여되면 국

Corresponding author: Jeong-Woo Lee, Department of Convergent Medical Physics Graduate School of Engineering, Konkuk University, 120, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05029, Republic of Korea / Tel: +82-2-2030-5393 / E-mail: polirain@naver.com

Received 14 June 2022; Revised 30 June 2022; Accepted 10 August 2022

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

가 방사선방호 규정에 따라 방사선량률이 허용 수준으로 떨어질 때까지 일반적으로 2~3일 동안 격리병실에서 격리를 해야 한다[3, 4]. 또한 주로 체내 잔류 방사능 양과 서있는 환자로부터 1 m 거리에 있는 방사선량률을 기반으로 하는 국제 프로토콜은 I-131 방사성동위원소 치료를 받은 환자가 언제 퇴원하여 일상 활동으로 돌아갈 수 있는지를 결정한다[5, 6]. 미국원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission U.S, USNRC)에 따르면 체내 잔류 방사능이 1.2 GBq 미만 이거나 측정 방사선량률이 1 m 거리에서 0.07 mSv/h 미만 이어야만 퇴원이 가능하다고 권고하고 있다[7]. 국내의 경우 환자의 체내 잔류 방사능이 1.2 GBq 미만 또는 1 m 거리에서의 방사선량률이 0.07 mSv/h 미만일 때 격리병실에서 퇴원할 수 있다고 규정하고 있다[8, 9]. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP) 103, 미국방사선방호측정위원회(National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP) Reprot No. 155에 따르면 방사선 치료는 일생 동안 몇 번 또는 한번 이상 발생하지 않는 사건이기 때문에 방사성핵종 치료로 인한 환자 가족의 피폭은 유효 선량한도를 5 mSv까지 허용 가능하다고 권장하고 있다. 하지만 아동이나 유아를 포함해 간병이나 위안에 직접적으로 관계하지 않는 방문객과 환자를 직접적으로 돌보지 않는 개인의 경우 연간 1 mSv로 제한해야 한다고 명시하고 있다[10]. NRC의 규정에 따르면 모든 연령대의 간병인에게 연간 5 mSv가 적용된다[11]. 선행연구에 따르면 환자의 가족, 간병인의 피폭선량을 평가하는 계산 방법이 존재하지만 과대평가된 선량 값을 제공한다고 하였으며 열발광선량계(Thermoluminescence Dosimeter, TLD)의 측정값이 가장 정확한 방법이라고 하였다[12, 13]. 하지만 본 연구에서는 TLD와 비교시 감마선 선질에 관한 균일성, 퇴행성 및 재판독 등의 측면에서 안정성이 우수하여 개인피폭선량계로 많이 사용되고 있는 형광유리선량계(Photoluminescent Glass Dosimeter, PLD)로 피폭선량을 평가하였다[14, 15]. 따라서 본 연구에서는 I-131 방사성동위원소 치료 시 2~3일 동안 입원하여 치료받는 기존 프로

세스에서 환자의 고립감, 불안감을 감소시키기 위해 환자에게서 방출되는 방사선량률을 시간, 거리별로 측정해 보고 격리 기간이 줄어들어도 국내·외 퇴원 기준에 적합한지를 평가하고 치료 2일차에 보호자가 상주하게 된다면 보호자가 받게 되는 피폭선량을 인체모사팬텀(Rando Phantom, Alderson Research Laboratories, USA)을 이용하여 환자로부터 방출되는 방사선량을 형광유리선량계로 측정하여 국내·외 선량한도 기준에 적합한지 평가하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 환자의 방사선량률 측정

I-131 방사성동위원소 투여 시간은 오전 9시와 오후 2시였으며 퇴원 방사선량률 측정은 다음날 오전 8시에 실시하였다. 따라서 환자의 실제 격리 시간은 18시간, 23시간으로 설정되었다. I-131 방사성동위원소 치료를 받은 64명의 환자(남 15명, 여 49명)를 비교 분석하였다. 18시간 격리 환자는 16(남 5명, 여 11명)명이었으며 23시간 격리 환자는 48(남 10명, 여 38명)명이었다. 환자의 연령 범위는 21세에서 74세 사이이며 2.96 GBq, 3.70 GBq를 경구 투여하였다(Table. 1, 2). 본 연구에서는 국제원자력기구(International Atomic Energy Association, IAEA) 안전 보고서에 따라 선량 측정 방법을 채택하였다[5]. 또한 격리 시간과 I-131 방사성동위원소 투여량에 따른 비교를 위해 50 cm와 150 cm의 각 거리마다 병동 바닥에 표시하였고 환자의 방사선량률을 측정하였다(Fig. 1). 환자의 방사선량률 측정은 FH 40G-L(Thermo Scientific)와 Ranger(S.E. Interanational INC)를 사용하여 수행하였다. 환자가 입원하기 전 병동의 백그라운드 선량률은 0.2 µSv/h로 나타났고 환자의 방사선량률은 두 번 측정의 평균으로 기록하였다. 측정기는 한국 교정 체계에 따라 한국교정시험기관인정기구(Korea Laboratory Accreditation Scheme, KOLAS)의 인정을 받은 기관에서 교정하여 측정의 소급성을 유지하였다. 이 측정기의 교정오차는 5% 이내이다.

Table 1. Isolated patient characteristics of 18 hours

Administered dose of I-131 (Activity)	Age (Range)	Number of patients		
		Male	Female	Total
2.96 GBq (80 mCi)	36.00 ± 7.81 (25 - 45)	2	3	5
3.70 GBq (100 mCi)	48.09 ± 16.86 (21 - 72)	3	8	11
Total number of patients		5	11	16

Table 2. Isolated patient characteristics of 23 hours

Administered dose of I-131 (Activity)	Age (Range)	Number of patients		
		Male	Female	Total
2.96 GBq (80 mCi)	41.75 ± 13.21 (23 - 73)	4	12	16
3.70 GBq (100 mCi)	43.91 ± 15.10 (21 - 74)	6	26	32
Total number of patients		10	38	48

Table 3. Patient characteristics with humanoid phantoms

Administered dose of I-131 (Activity)	Age (Range)	Number of patients		
		Male	Female	Total
2.96 GBq (80 mCi)	23	0	1	1
3.70 GBq (100 mCi)	37.60 ± 8.71 (31 - 52)	3	2	5
9.25 GBq (250 mCi)	53	0	1	1
Total number of patients		3	4	7

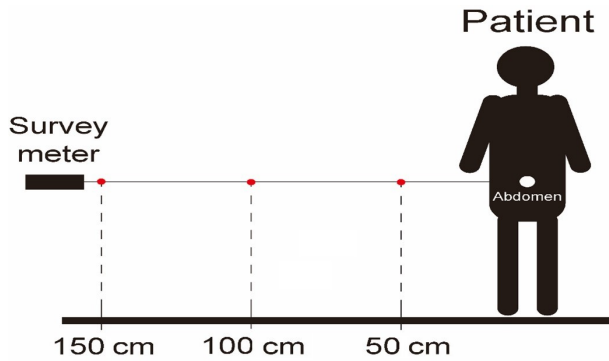


Fig. 1. Measurement of the external dose rates from patients administered I-131



Fig. 2. (a) Humanoid Phantom with PLD (b) Phantom lateral view

2. 인체모사팬텀의 피폭선량 측정

본 연구에서는 서면으로 동의서를 받은 7명의 환자(남 3명, 여 4명)를 대상으로 1일 차 정오에 I-131 방사성동위원소 2.96 GBq, 3.70 GBq, 9.25 GBq 를 투여하고 2박 3일의 입원 기간 중 2일 차 오전 9시부터 오후 5시까지 보호자가 8시간 동안 격리치료병실에 상주하게 된다면 받는 피폭선량을 평가하였다(Table 3). 인체모사팬텀을 보호자라고 가정하고 형광유리선량계를 가슴에 패용하고 환자 1 m 반경 내에서 상주하였을 때의 피폭선량을 평가하였다(Fig. 2).

III. 결과

1. 방사선량률 측정 결과 값 분석

Fig. 3 (a), (b)에 격리 시간이 18시간인 경우의 거리별 방사선량률을 나타내었다. Fig. 3 (a)에 따르면 I-131 방사성동위원소 2.96 GBq 투여 18시간 후 50 cm에서의 방사선량률은 68.72 ± 15.89 μSv/h, 100 cm에서의 방사선량률은 25.90 ± 2.21 μSv/h, 150 cm에서의 방사선량률은 14.34 ± 2.82 μSv/h로 나타났다. 또한 Fig. 3 (b)에 따르면 I-131 방사성동위원소 3.70 GBq 투여 18시간 후 50 cm에서의 방사선량률은 94.56

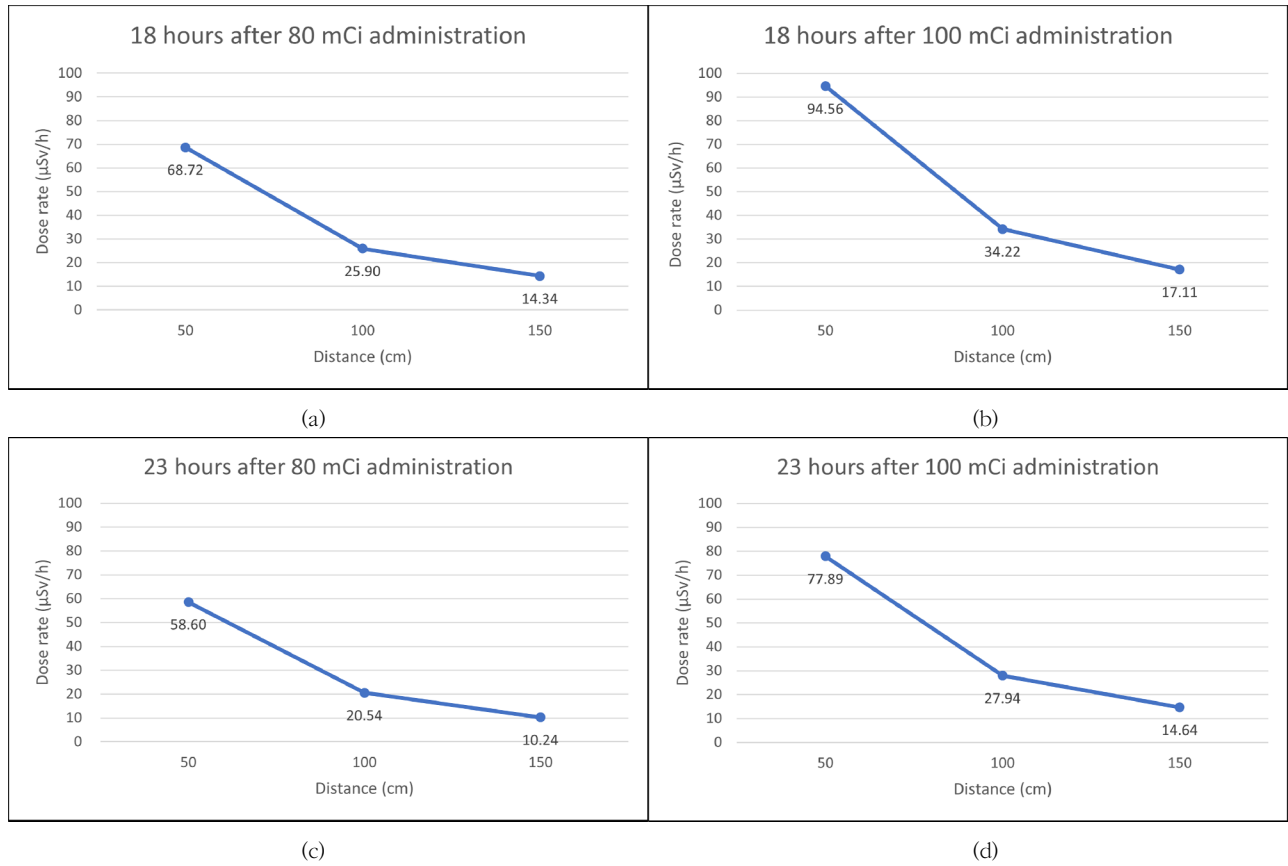


Fig. 3. (a) Dose rate measurements at the distance of 50, 100, 150 cm after administration of 80 mCi of I-131 after 18 hours
 (b) Dose rate measurements at the distance of 50, 100, 150 cm after administration of 100 mCi of I-131 after 18 hours
 (c) Dose rate measurements at the distance of 50, 100, 150 cm after administration of 80 mCi of I-131 after 23 hours
 (d) Dose rate measurements at the distance of 50, 100, 150 cm after administration of 100 mCi of I-131 after 23 hours

± 24.18 μSv/h, 100 cm에서의 방사선량률은 34.22 ± 10.06 μSv/h, 150 cm에서의 방사선량률은 17.11 ± 5.11 μSv/h로 나타났다. Fig. 3 (c), (d)에 격리 시간이 23시간인 경우의 거리별 방사선량률을 나타내었다. Fig. 3 (c)에 따르면 I-131 방사성동위원소 2.96 GBq 투여 23시간 후 50 cm에서의 방사선량률은 58.60 ± 15.01 μSv/h, 100 cm에서의 방사선량률은 20.54 ± 6.21 μSv/h, 150 cm에서의 방사선량률은 10.24 ± 2.74 μSv/h로 나타났다. 또한 Fig. 3 (d)에 따르면 I-131 방사성동위원소 3.70 GBq 투여 23시간 후 50 cm에서의 방사선량률은 77.89 ± 33.00 μSv/h, 100 cm에서의 방사선량률은 27.94 ± 12.33 μSv/h, 150 cm에서의 방사선량률은 14.64 ± 7.20 μSv/h로 나타났다. Fig. 3 (a), (b), (c), (d)에 따르면 격리 시간이 길어질수록, 거리가 멀어질수록 방사선량률이 낮게 나타났다. 기존 48시간 격리 시간이 23시간, 18시간으로 짧아지더라도 1 m 거리에서의 방사선량률이 70 μSv/h 미만이어야 퇴원이 가능하다는 기준에 적합하였다.

2. 형광유리선량계 결과 값 분석

Fig. 3 (a)에 따르면 I-131 방사성동위원소 2.96 GBq 투여 18시간 후 100 cm에서의 방사선량률은 25.90 ± 2.21 μSv/h로 나타났고 Fig. 3 (b)에 따르면 I-131 방사성동위원소 3.70 GBq 투여 18시간 후 100 cm에서의 방사선량률은 34.22 ± 10.26 μSv/h로 나타났다. 2.96 GBq, 3.70 GBq 모두 1 m 거리에서 25.90 μSv/h, 34.22 μSv/h로 퇴원 가능한 수치가 나왔기에 보수적으로 투여 21시간 이후부터 보호자가 상주한다고 가정하고 연구를 진행하였다. 2일 차 오전부터 회수 시까지 8시간 동안 부착해놓은 형광유리선량계를 회수하여 판독한 결과 판독 값은 국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU)가 정하는 표층선량(Hs(0.07))이 0.01~0.96 mSv로 나타났으며 심부선량(Hp(10))은 0.01~0.99 mSv로 나타났다(Table 4). 이러한 결과값은 ICRP Publication 103, NCRP Report No. 155에서 간주하는 환자 가족의 유효선량한도인 5 mSv를 초과하지 않는다는 결과를 보였다.

Table 4. Dose measurement for 8 hours

I-131 (Activity)	Sex	Age	Effective Dose (mSv)	
			Hp(10)	Hs(0.07)
2.96 GBq	F	23	0.23	0.22
3.70 GBq	M	31	0.02	0.02
3.70 GBq	M	39	0.01	0.01
3.70 GBq	F	31	0.99	0.95
3.70 GBq	F	52	0.10	0.09
3.70 GBq	M	35	0.14	0.14
9.25 GBq	F	53	0.66	0.63

IV. 고 찰

본 연구에서는 I-131 방사성동위원소 투여 후 격리치료 병실에 입원하여 치료받는 환자의 격리 기간 단축을 위해 거리별, 시간별로 방사선량률을 측정하여 퇴원기준에 적합한지 평가하였다. 측정 결과 환자에게 2.96 GBq 투여하였을 때 23시간 격리 후 1 m 거리에서 평균 방사선량률은 20.54 $\mu\text{Sv/h}$, 18시간 격리 후 1 m 거리에서 평균 방사선량률이 25.90 $\mu\text{Sv/h}$ 로 나타났고 환자에게 3.70 GBq 투여하였을 때 23시간 격리 후 1 m 거리에서의 평균 방사선량률은 27.94 $\mu\text{Sv/h}$, 18시간 격리 후 평균 방사선량률이 34.22 $\mu\text{Sv/h}$ 로 나타남으로써 1 m 거리에서의 방사선량률이 70 $\mu\text{Sv/h}$ 미만이어야 퇴원이 가능하다는 기준에 적합하였다. 하지만 본 연구에서는 환자마다 잔여 갑상선 조직의 정도나 신장 기능에 따라 다른 배출 능력은 배제하고 실제 측정 방사선량률로만 연구를 진행하였기에 한계점이 존재한다. 또한 보호자로 가정한 인체모사팬텀은 제자리에 위치하기 때문에 움직이는 환자와 보호자의 거리 측정에도 한계점이 존재할 수밖에 없었다. 이는 환자나 보호자의 움직임에 따라서 전혀 다른 피폭선량이 측정될 수 있기 때문이다. 선행연구에서는 간병인의 위치에 따라서 간병인이 받게 되는 유효선량이 크게 달라질 수 있다고 보고하였다[16].

NRC의 환자 퇴원기준은 대부분의 환자를 외래 환자로 치료할 수 있다고 규정하고 있다[17]. Carvalho 등은 외래에서 3.70~5.55 GBq을 투여한 갑상선암 환자 26명의 가족 구성원들에 대한 방사선 피폭선량을 열형광선량계로 측정하여 유효선량을 평가하였으며 한 가족의 경우를 제외하고는 모두 1 mSv 이하의 값을 보였다. 예외적인 한 가족 구성원의 피폭선량은 2.8 mSv를 보였으며 고용량의 치료라 할 지라도 외래 치료가 충분히 가능하다고 결론 내리고 있다[18]. 본 연구에서 9.25 GBq을 투여한 환자의 경우에는 유효선량을 평가하였지만 5.55 GBq 이상의 고용량 치료에 관해서

는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

우리나라에서도 I-131 방사성동위원소 치료 환자의 가족에 관한 연구가 시행된 적이 있었다. Park 등은 의사가 설명한 방사선 안전 지침을 이해하고 그대로 준수하기로 동의한 11명의 외래 환자에게 3.70~5.55 GBq의 I-131 방사성동위원소를 투여하고 입원, 격리 치료를 시행하지 않고 곧바로 귀가시킨 후 가족과 환자가 생활하는 방 주변의 방사선량을 열형광선량계를 이용하여 72시간 동안 측정한 바 있다. 이 연구에서 환자 가족이 받을 것으로 예상된 피폭선량은 0.01~0.17 mSv의 분포를 보였으며 평균은 0.04 mSv 이어서 규제 요건인 5 mSv의 10%도 미치지 않음을 보고한 바가 있다[19]. 또한 갑상선암 및 갑상선 기능 항진증으로 치료를 받은 외래 환자와 그 가족에게 방사선 안전 교육을 시행하였을 때 피폭선량 측정 결과 가정 내 피폭선량이 여러 나라에서 수행된 연구를 통해 규제 요건을 초과하지 않는 것으로 나타났다[18, 20, 21].

NRC 규정 10 CFR 35.75에 따르면 개인이 1 mSv 이상 받을 가능성이 있는 경우 퇴원한 환자에게 다른 개인의 선량을 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지하는 구두 및 서면 지침을 제공해야 한다고 하였고[22] 미국갑상선협회(American Thyroid Association)에서는 고용량 방사성요오드 투여환자에 의한 주변인 피폭에 대한 방사선 안전관리에 대한 사항을 구체적이고 상세하게 권고하였다[23, 24]. 여러 연구를 통해 당일 퇴원이 가능하고 방사선 안전 교육을 받으면 피폭선량이 규제 요건을 초과하지 않는다는 결론들이 나왔지만, 격리병실에 입원하여 치료를 받는 환자는 제 3자의 피폭 위험성을 줄이기 위해 2박 이상 입원하도록 하여 잔류 방사능이 충분히 감소한 후 퇴원시키는 것이 바람직하다고 판단하는 바 본 연구에서는 격리병실에 고립되어 있는 환자의 고립감과 불안감을 고려해 치료 2일 차에 환자 가족이 8시간 동안 상주하게 된다면 상주시 보호자가 받게 되는 피폭선량을 인체모사팬텀을 이용하여 환자로부터 방출되는

방사선량을 형광유리선량계로 측정하고 국내·외 선량한도에 적합한지 평가하였다. ICRU에서 정하는 표층선량과 심부선량의 값은 표층선량이 0.01~0.95 mSv, 심부선량이 0.01~0.99 mSv로 나타났다. ICRP 권고에서 자신의 피폭을 이해하는 간병인이나 위안자가 환자로 인해 받는 피폭도 현실적인 이유에서 의료피폭으로 간주한다고 명시하고 있고 본 연구에서의 결과값이 ICRP, NCRP에서 권고하는 유효선량인 5 mSv를 넘지 않기 때문에 치료 2일 차에 보호자가 8시간 동안 충분히 상주할 수 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 연구에서 기존의 프로세스인 2박 3일 격리병실 입원 치료에서 1박 2일로 줄어들어도 퇴원할 수 있음을 확인하였고 2박 3일 입원 치료 중 2일 차부터 보호자가 상주 가능함을 확인하였다. 따라서 I-131 방사성동위원소 치료를 받는 환자 가족의 걱정과 환자의 고립감을 덜어줄 수 있을 것으로 생각하며 환자와 가족에게 다양한 선택지를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Baek SM, Ko SJ, Kim CS, Kim JH, Kang SS. A Study on Ways to Optimize the Period of Hospitalization During High-Dose I-131 Treatment of the Thyroid Cancer. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2010;33(3):269-76.
- [2] Andresen NS, Buatti JM, Tewfik HH, Pagedar NA, Anderson CM, Watkins JM. Radioiodine ablation following thyroidectomy for differentiated thyroid cancer: Literature review of utility, dose, and toxicity. *European Thyroid Journal*. 2017;6(4):187-96.
- [3] Lahfi Y, Anjak O. Evaluation of the release criteria from hospital of thyroid carcinoma patient treated with 131I. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;(4):534-8.
- [4] Abu-Khaled Y, Sandouqa A, Haddadin I. Radiation exposure from radioactive iodine I-131 in and surrounding the patients' room. *Radiation Protection Dosimetry*. 2009;135(1):64-8.
- [5] Agency IAE. Release of Patients After Radionuclide Therapy, with Contributions from the International Commission on Radiological Protection. International Atomic Energy Agency; 2009.
- [6] Radioactivity MSC-oPitMoPWHRTAo. Management of radionuclide therapy patients. NCRP; 2007.
- [7] Howe DB, Beardsley M, Bakhsh S. Consolidated guidance about materials licenses. Program-Specific Guidance About Medical Use Licenses (NUREG-1556, volume 9, revision 2); 2008.
- [8] Nuclear Safety Commission No. 19 Regulations on Technical Standards such as Radiation Safety Management. Nuclear Safety Commission Notification No. 2015-5 Technical Standards on Radiation Safety Management in the Medical Sector.
- [9] Jeong GH, Lee HK, Cho WK, Lee JK. Caregiver or Family Doses due to Discharged I-131 Administrated Patient from the Hospital. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2010;33(2):149-54.
- [10] Valentin J, Boice Jr. J, Clarke R, Cousins C, Gonzalez A, Lee J, et al. Published on behalf of International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication; 2007.
- [11] Schneider S, McGuire SA, Behling U, Behling K, Goldin D. Regulatory analysis on criteria for the release of patients administered radioactive material. Nuclear Regulatory Commission; 1994.
- [12] Kadhim AA, Sheikhzadeh P, Farzanefer S, Yavari S, Ay MR. Radiation Dose Assessment to Family Members Taking Care of Non-Cancerous Thyroid Patients Treated with I-131 Therapy in Nuclear Medicine Department. *Radiation Protection Dosimetry*. 2020;190(2):208-16.
- [13] Ebrahimi M, Changizi V, Kardan MR, Pooya SMH, Geramifar P. Experimental and analytical dose assessment of patient's family members treated with I-131. *Phys Med*. 2016;3(32):292.
- [14] Moon YM. A study on the effective dose measurement for cone beam computed tomography using glass dosimeter. Graduate School, Dong-A University; 2013.
- [15] Kang IS, Ahn SM. Evaluation of Usability and Radiation Dose Measurement Using Personal

- Radiation Exposure Dosimeter. International Journal of Contents. 2014;14(11):864-870.
- [16] Taghavaee S, Kasesaz Y, Barough MS. Analysis of the caregiver effective dose during I-131 therapy of thyroid. Journal of Cancer Research and Therapeutics. 2018;14(6):1361.
- [17] Director M, Chief B, Director A, Date S, Date A. Office of Federal and State Materials and Environmental Management Programs (FSME) Procedure Approval Reviewing the Non-Common Performance Indicator, Uranium Recovery Program-SA-110; 2009.
- [18] De Carvalho JWdA, Sapienza M, Ono C, Watanabe T, Guimaraes MI, Gutterres R, et al. Could the treatment of differentiated thyroid carcinoma with 3.7 and 5.55 GBq of (I-131) NaI, on an outpatient basis, be safe? Nuclear Medicine Communications. 2009;30(7):533-41.
- [19] Park SG. Effective half-life of I-131 in patients with differentiated thyroid cancer treated by radioactive I-131. Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2008;42(6):464-8.
- [20] Gringsby PW, Siegel BA, Baker S, Eichling JO. Radiation exposure from outpatient radioactiveiodine (I-131) therapy for thyroid carcinoma. Jama. 2000; 283(17):2272-4.
- [21] Marriott CJ, Webber CE, Gulenchyn KY. Radiation exposure for 'caregivers' during high-dose outpatient radioiodine therapy. Radiation Protection Dosimetry. 2017;123(1):62-7.
- [22] Commission UNR. Release of individuals containing unsealed byproduct material or implants containing byproduct material. Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission, 10; 2017.
- [23] Hennessey JV, Parker JA, Kennedy R, Garber JR. Comments regarding Practice Recommendations of the American Thyroid Association for radiation safety in the treatment of thyroid disease with radioiodine. Thyroid. 2012;22(3):336-7.
- [24] Sisson TATATRSJC, Freitas J, McDougall IR, Dauer LT, Hurley JR, et al. Radiation safety in the treatment of patients with thyroid diseases by radioiodine 131I: Practice recommendations of the American Thyroid Association. Thyroid. 2011;21(4):335-46.

구분	성명	소속	직위
제1저자	강석진	건국대학교 산업대학원	석사 대학원생
공동저자	소영	건국대학교 산업대학원	교수
공동저자	이두현	건국대학교 산업대학원	교수
교신저자	이정우	건국대학교 산업대학원	교수