

# 갑상선질환 환자의 방사성요오드 치료시 방사선 안전관리

대구가톨릭대학교병원 핵의학과<sup>1</sup>, 한국원자력의학원 핵의학과<sup>2</sup>, 부산대학교 의학전문대학원 핵의학교실<sup>3</sup>, 전남대학교 의과대학 핵의학교실<sup>4</sup>, 서울대학교 의과대학 내과학교실<sup>5</sup>, 경북대학교 의학전문대학원 핵의학교실<sup>6</sup>, 연세대학교 의과대학 외과학교실<sup>7</sup>, 성균관대학교 의과대학 내과학교실<sup>8</sup>

강성민<sup>1</sup>, 김병일<sup>2</sup>, 김인주<sup>3</sup>, 범희승<sup>4</sup>, 이가희<sup>5</sup>, 이재태<sup>6</sup>, 정웅윤<sup>7</sup>, 정재훈<sup>8</sup>

## Radiation Safety in the Treatment of Patients with Thyroid Disease by <sup>131</sup>I

Sungmin Kang, MD<sup>1</sup>, Byung Il Kim, MD<sup>2</sup>, In-Ju Kim, MD<sup>3</sup>, Hee-Seung Bom, MD<sup>4</sup>, Ga Hee Lee, MD<sup>5</sup>, Jaetae Lee, MD<sup>6</sup>, Woong Youn Chung, MD<sup>7</sup> and Jae Hoon Chung, MD<sup>8</sup>

Department of Nuclear Medicine, Daegu Catholic University Medical Center<sup>1</sup>, Department of Nuclear Medicine, Korea Institute of Radiological & Medical Sciences<sup>2</sup>, Department of Nuclear Medicine, Pusan National University School of Medicine<sup>3</sup>, Department of Nuclear Medicine, Chonnam National University School of Medicine<sup>4</sup>, Department of Internal Medicine, Seoul National University School of Medicine<sup>5</sup>, Department of Nuclear Medicine, Kyungpook National University School of Medicine<sup>6</sup>, Department of Surgery, Yonsei University School of Medicine<sup>7</sup>, Department of Internal Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine<sup>8</sup>, Korea

Radioactive iodine (<sup>131</sup>I) therapy is a well established treatment modality for patient with hyperthyroidism and differentiated thyroid cancer after total thyroidectomy. Patients may sometimes need to be hospitalized to reduce radiation exposure of other people and relatives from radioactive patients receiving <sup>131</sup>I therapy. This review was prepared to present suggestions and recommendations to health providers with reasoned instructions on radiation safety for patients, their families, caregivers, and the public after <sup>131</sup>I therapy. The recommendations should help to ensure compliance and reduce the potential for harmful radiation exposure to others, and also to recognize that required actions may differ when attaining compliance with existing local regulations of other jurisdictions. Most of reported suggestions and recommendations are based on data derived from relevant measurements of radiation exposure, <sup>131</sup>I clearance and excretion, and reports of the impact of precautions in limiting radiation exposure. We have quoted many descriptions from American Thyroid Association Guidelines in this review, which was published recently and emphasize the roles of the treating physician and the radiation safety officer in individualizing the precautions for each patient while allowing the referring physician to assist in preparing appropriate and adequate pre- and post-therapy actions. We tried to summarize the reported scientific papers and recommendations to provide general principle of radiation protection and some delicate issues in radiation safety after radioiodine therapy for the thyroid disease, to lower radiation exposure from patients to public and medical.

**Key Words:** Radiation safety, Radioactive iodine therapy, Thyroid disease

## 서 론

<sup>131</sup>I을 이용한 방사성요오드 치료는 갑상선유두암이나 여포암과 같은 분화갑상선암으로 갑상선전절제술

을 받은 환자의 후속 치료로 보편적으로 시행되는 치료이며, 갑상선기능항진증의 치료에도 널리 이용되어 왔다. 최근 우리나라에서도 갑상선암 수술 환자가 급격하게 증가함에 따라, 수술 후 잔류 갑상선조직의 제거나 전이병소를 치료하기 위한 고용량 <sup>131</sup>I 치료가 필

논문접수일: 2012년 3월 7일 / 심사(수정)일: 2012년 3월 30일 / 심사완료일: 2012년 4월 2일

교신저자: 이재태, 대구시 중구 삼덕 2가 50, ☎ 700-721, 경북대학교병원 핵의학과

Tel: 053-420-5586, Fax: 053-422-0864, E-mail: jaetae@knu.ac.kr

요한 환자가 증가하고 있다. 일반적으로 갑상선암 환자는 치료 전에 유발된 갑상선기능저하증이나 갑상선 자극호르몬 주사에 의하여 갑상선 조직에서의  $^{131}\text{I}$  섭취를 증가시키게 되고, 기능항진증의 치료 시 보다는 많은 용량의  $^{131}\text{I}$ 을 복용하게 된다. 그러나, 잔존하는 갑상선 조직이 소량이어서 투여한  $^{131}\text{I}$ 은 빠른 속도로 체외로 배출이 되고, 시간의 경과에 따른 갑상선 및 체내 잔류량은 투여량에 비하여 상대적으로 적은 편이다. 갑상선기능항진증 환자에서는 투여한  $^{131}\text{I}$ 의 갑상선 조직에서의 평균 유효 반감기가 5일 정도인데 반하여 갑상선암 환자에서의 유효 반감기는 임상 상태에 따른 변화가 많고, 일반적으로는 항진증 환자보다 짧다.<sup>1)</sup>

$^{131}\text{I}$ 을 투여 받은 환자의 몸에서는 투과력이 강한 감마선이 방출되므로 주변 사람이나 가족에게 불필요한 방사선 피폭을 초래할 수 있으며, 이를 최소화하기 위한 주의가 요구된다. 방사선 조사의 정도는 투여한 방사성물질의 양(MBq, mCi 단위), 치료받은 환자로부터의 거리 간격, 흔히 occupation factor (OF)라는 용어로 표시되는 환자에게 노출되는 시간에 의하여 결정이 된다. 그러므로,  $^{131}\text{I}$  치료를 받는 환자를 방문하는 자나, 환자를 치료하는 의료진 및 간호사의 방사선 피폭을 최소화하기 위해서는 환자와의 거리 간격을 멀리하거나 접촉하는 시간을 단축하여야 한다. 일반적으로 가족들이나 환자를 돌보는 인력이  $^{131}\text{I}$ 를 투여 받은 환자에게 노출될 확률은 활동시간의 25% 정도로 추측되므로, 보통의 경우 OF를 0.25로 설정하고 노출되는 방사선량을 계산하게 된다.

방사선을 의학적으로 이용할 시에는 어느 정도의 방사선 노출이 불가피한 면은 있으나, 방사선 노출은 목적에 부합하는 범위 내에서 최소화 하여야 한다는 ALARA (as low as reasonably achievable) 원칙이 잘 확립되어 있으나, 의학적으로 가장 많이 이용되고 있는 갑상선 환자의  $^{131}\text{I}$  치료 후에 환자 가족과 의료인, 간호사 및 간병 인력에 대한 방사선 노출을 최소화 하기 위하여 설정된 구체적인 행동 방법은 명확하게 제시되지 못하고 있다.<sup>2-4)</sup>

최근 미국갑상선학회(American Thyroid Association, ATA)의 방사선 안전관리 소위원회에서는 미국 NRC (Nuclear Regulatory Council) 규제조항이나, NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurement)의 NCRP-155 방사선 안전수칙을 벗어나지 않으면서,  $^{131}\text{I}$  치료를 받는 의사와 환자들이 준수하여야 할 지침들을 발표한 바 있다.<sup>5)</sup> 특히 2011년에 발표된 ATA의  $^{131}\text{I}$  치료 후 안전관리 지침은 치료의 적응증 및 절

대적인 금기사항 뿐만 아니라, 치료를 받는 환자에서의 의학적(치매 여부, 요실금 현상이나 투석, 위장관 삽입 여부 등)으로 검사하여야 할 임상 사항 뿐만 아니라, 환자의 주거환경 및 여행 계획 등을 확인하는 차트의 작성법, 퇴원 시의 안전관리상 주의사항, 퇴원 후의 가정 생활, 학교나 직장생활에 관한 문제점, 애완동물과의 생활 등에 이르기까지 상세하게 기술하고 있다.

방사선 안전관리는 치료에 종사하는 의사와 의료 종사자 뿐만 아니라 환자들도 인지하여야 하는 중요한 사항이며, 특히 안전관리가  $^{131}\text{I}$  과정 중의 일부분이라는 인식을 가져야 한다. 우리나라에서도 전국적으로 많은 병원에서  $^{131}\text{I}$  치료가 시행되고 있고, 최근의 일본 후쿠시마 원자력 발전소 사고 등으로 인하여 국민들의 원자력 안전에 관한 관심도가 높아지고 있음에도 불구하고, 환자의 진료와 치료 후의 생활을 명확하고 구체적으로 기술한 세척이나 대중들에게 중요한 방사선 방호를 극대화하기 위한 방사선 안전관리 지침이 없다. 그러므로 대한갑상선학회의 갑상선기능항진증 진료 가이드라인 제정 소위원회 참여자들은 모임을 하는 도중, 우리나라에서도 갑상선질환 전문가와 핵의학 및 방사선 안전관리 전문가가 참여하는 전문가 패널을 결성하고, 미국에서 시행한 임상사들을 대상으로 실시한 설문 조사 결과와 같은 현황 파악이 먼저 있어야 하며, 이에 따라 우리의 환경에서 통용될 수 있는  $^{131}\text{I}$  치료 시의 안전관리에 관한 가이드라인이 제정되어야 한다는데 인식을 같이하였다. 이러한 일정을 수립하는데에는 전문단체의 협의와 상당한 시간이 소요되므로, 우선적으로 지금까지 발표된 문헌조사를 바탕으로 하고 우리나라 실정을 고려하여,  $^{131}\text{I}$  치료 환자의 가족이나 간병 인력, 환자 및 일반인들에게 방사선 피폭을 최소화 하고 임상 진료 시에도 참고할 수 있도록,  $^{131}\text{I}$  치료 시와 그 이후의 방사선 안전관리 방법들을 정리해 보았다. 그 내용의 전개에서는 2011년에 발표된 ATA의 안전관리 가이드라인을 우리 말로 번역한 내용을 기본 바탕으로 하고, 우리나라의 현실에서 적합한 내용들을 가감하여 기술하고자 노력하였다.

## $^{131}\text{I}$ 치료 환자의 격리와 퇴원

Barrington 등<sup>5)</sup>이 갑상선암 환자와 추적 환자에서, 치료 용량 투여 후 직접 측정된 조사선량률이 Table 1과 Table 2에 제시되어 있다. 비교를 위해 Culver 등<sup>6)</sup>과 O'Doherty 등<sup>7)</sup>이 갑상선기능항진증 환자에서 측정된 조사선량률이 Table 3과 Table 4에 제시되어 있다. 위

**Table 1.** Dose rates from ablation patients at various times post administration and at various distances from patients treated for thyroid cancer ( $\mu\text{Sv/hr} \cdot \text{MBq}$  administered activity)

Distant (m)		Day 0	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 7
0.1	Mean	0.665	0.187	0.088	0.069	0.053	0.016
0.5	Mean	0.114	0.049	0.025	0.019	0.014	0.007
1.0	Mean	0.046	0.019	0.009	0.007	0.007	0.004
	SD	0.011	0.006	0.006	0.007	0.006	0.003

Source: data from American Thyroid Association Taskforce on Radiation Safety.<sup>4)</sup> SD: standard deviation**Table 2.** Dose rates from follow-up patients at various times post administration and at various distances from patients treated for thyroid cancer ( $\mu\text{Sv/hr} \cdot \text{MBq}$  administered activity)

Distant (m)		Day 0	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 7
0.1	Mean	0.746	0.274	0.085	0.030	0.026	0.001
0.5	Mean	0.126	0.051	0.017	0.006	0.002	0.0003
1.0	Mean	0.046	0.019	0.007	0.003	0.002	0.004
	SD	0.014	0.02	0.006	0.002	0.001	0.003

Source: data from American Thyroid Association Task force on Radiation Safety.<sup>4)</sup> SD: standard deviation**Table 3.** Measured dose rates at various time post administration and at various distances from patients treated for hyperthyroidism ( $\mu\text{Sv/hr} \cdot \text{MBq}$  administered activity)

Distant (m)	0 day	2-4 days	5-7 days	8-11 days
0.6		0.059	0.034	0.024
1.0	0.046	0.022	0.014	-

Source: data from radiation dose rates from adult patients receiving  $^{131}\text{I}$  therapy for thyrotoxicosis<sup>7)</sup>

표의 자료들을 비교해 보면, 투여 후 3일부터 갑상선암 환자의 조사선량률이 갑상선기능항진증 환자보다 급격하게 감소함을 보여준다. 갑상선암 환자는 남아있는 갑상선 조직이 매우 적고 잘 분화된 유두암 세포 또한 옥소 섭취 능력이 정상 갑상선 세포의 약 1/100 이하이므로 갑상선기능항진증 환자보다 훨씬 빠른 속도로 갑상선 조직에서 배설되기 때문이다.

ICRP (International Commission on Radiological Protection)의 권고안은 환자를 돌보는 가족이나 의료인에게는 1년간 5 mSv (500 mrem), 소아 및 임신부를 포함하여 환자 관리와 무관한 일반인에게는 연간 1 mSv (100 mrem)의 방사선 노출이 허용되므로, 방사성 핵종 치료를 받는 환자는 주위 환경에 이 정도 이하의 방사선을 방출하는 상태에서만 퇴원하여 일반 시민들이 거주하는 구역으로 생활할 수 있도록 한다. 미국 NRC는 이러한 경우에도 주위의 일반인이 1 mSv (100 mrem)이상의 방사선 피폭을 받을 수 있는 경우에는 퇴원하는 환자는 구두나 문서로 어떤 경우라도 자기의

**Table 4.** Mean dose rates from hyperthyroid patients at various time post administration and at various distances from patients treated for hyperthyroidism ( $\mu\text{Sv/hr} \cdot \text{MBq}$  administered activity)

Distant (m)	Day 0	Day 1	Day 3	Day 6	Day 8	Day 10
0.16	1.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1
0.5	0.2	0.1	0.1	0.07	0.05	0.04
1.0	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02

Source: data from radiation dose rates from patients receiving iodine-131 therapy for carcinoma of the thyroid<sup>5)</sup>

상황을 주변에 알려주어야 한다고 규정하고 있다.

1997년 발표되고 2009년에 수정된 미국 NRC 권고안은 환자의 체내에 잔류하는  $^{131}\text{I}$ 의 체내 잔류량이 33 mCi 이하(추정 선량당량 5.6 mrem/hr at 1 m)가 될 때, 또는 1 m 거리에서 시간당 7 mrem 이하의 방사선량이 될 때 격리 병실에서 퇴원할 수 있다고 하였다.<sup>8)</sup> 우리나라의 원자력관련 교육과학기술부 고시에서는 투여 용량이 30 mCi 이하인 경우에는 격리병실에 입원하지 않아도 되며, 고용량을 투여한 경우에는 환자로부터 1 m 거리에서 피폭량이 5 mR/hr 이하가 될 때까지 입원 치료를 받아야 한다고 규정하고 있다.<sup>9)</sup>

그러나 이러한 기준은 그 나라가 처해있었던 역사적인 상황과 국민들의 인식수준의 차이에 따라서 나라마다 상이하므로 전세계에서 공통으로 통용되는 기준은 없다. 예를 들면, 독일은 환자의 체내 잔류 방사능 치가 800 MBq (약 22 mCi) 이상, 이태리는 740 MBq (20 mCi) 이상인 경우 입원하여야 하며, 일본은 500 MBq

이상의  $^{131}\text{I}$ 을 투여하는 경우에는 입원하여야 한다는 기준을 제시하고 있다(personal communication). 우리나라에서는 미국의 기준과 유사한 안전관리 기준을 제시하고 있다고 생각하면 크게 틀리지 않을 것이다.

환자의 방사능 치가 허용치를 상회하여 입원 중인 경우에 방사선 피폭을 예방하는 것은 병원 직원, 환자 및 방문자에게 소변, 타액, 발한 등에 의한 오염의 확산을 최소화하는 것이 가장 중요하다. 환자는 개인의 위생 설비를 사용하고, 일회용 식탁보를 사용하여 식사를 하며, 방사선을 누출시키지 않기 위하여 환자들의 빨래감 및 사용한 시트 등은 방사능 치가 감소할 때까지 저장하여야 한다. 환자의 방사능량은 치료를 위해  $^{131}\text{I}$ 을 투여한 직후에 다른 사람에게 피폭될 수 있는 양이 가장 높고, 시간이 지남에 따라 배설되거나 방사성 붕괴에 의해 피폭량은 감소하게 된다. 그러므로 외부 방사능 피폭이 1 m 거리에서 환자로부터의 피폭량이 5 mR/hr 이하가 될 때까지 격리 입원시켜서 자연적으로 감소하도록 기다리게 하는 것이다.

$^{131}\text{I}$  치료를 받은 갑상선 환자에서 입원 중이거나 퇴원 후에 방출되는 누적 방사선 외부 피폭량은 필름배지나 TLD (thermoluminescence dosimeter) 배지로 측정할 수 있다.  $^{131}\text{I}$  치료를 받은 환자가 규정을 준수하여 퇴원 한 경우, TLD 배지로 측정한 가족들의 피폭량은 0.06-2.2 mSv였고,<sup>10)</sup> 필름배지로 측정하였을 때는 0-0.8 mGy라고 보고된 바 있었다.<sup>11)</sup>

## 임신과 출산

환자들에게  $^{131}\text{I}$  치료 과정 중에는 임신이 금기이며 치료가 계획되면 임신을 방지하여야 한다고 교육한다. 임산부는  $^{131}\text{I}$  치료를 시행하면 안되고, 가임기의 여성은 적어도 치료 72시간 전에 임신검사를 시행하여야 한다.  $^{131}\text{I}$  치료를 시행한 후 적어도 6개월은 지나야 임신을 할 수 있으며, 통상적으로 갑상선암환자의 고용량  $^{131}\text{I}$  치료 후에는 1년이 경과한 후에 임신을 허용하고 있다. 6개월이라는 기간은 성공적인 임신과 임신 중 태아의 정상적인 성장을 위해 갑상선내  $^{131}\text{I}$  수치가 정상화되고, 추가적으로 방사선 치료가 필요하지 않는지를 평가하는 기간이기도 하다. 자궁절제술 등으로 임신이 불가능하다는 확실한 증거가 있는 경우 임신검사를 시행하지 않을 수 있다.

환자 자신이 임신을 인식하는 것과 임신을 진단하는 검사의 결과와는 차이가 있다. 혈액 및 소변을 통한 임신검사는 보통 임신 1주경부터 양성을 나타내고, 혈액

및 소변을 통한 임신검사는 동등한 진단 민감도를 지닌다고 한다. 그러나 임신 중기에 소변검사만으로 임신을 진단하고자 하는 경우에는 beta-HCG의 시알린산화(salinization)의 감소와 간에서의 호르몬 대사의 증가로 인하여 임신이 진단되지 못하는 경우가 있다는 보고도 있다.<sup>12)</sup> 가끔은 환자 자신이  $^{131}\text{I}$  치료를 시행하고 나서 늦게 임신 사실을 발견하는 경우도 있다. 이 경우는 임신의 매우 초기이어서 갑상선이 생성되지 않거나, 태아 갑상선이  $^{131}\text{I}$ 를 흡수하는 능력이 낮은 시기일 수 있겠으나, 태아 전신에 대한 방사능 피폭에 대하여는 여전히 많은 고려를 하여야 한다. 이러한 불행한 예에서는 주어진 상황에 따라 적절하게 다루어져야 되며, 태아에 흡수된 방사능 양의 평가 시에는 경험 있는 의학물리학자와 상의하여 측정하여야 한다. 임신기간 중  $^{131}\text{I}$  치료를 시행한 환자를 대상으로 한 보고에서 임신 10주 이후에 15 mCi 이상의  $^{131}\text{I}$ 을 투여받은 13명의 환자에서 태어난 아기들은 갑상선기능저하증이나 크레니틴병을 가지고 있었으나, 10주 이전에  $^{131}\text{I}$ 을 투여받은 환자에서는 정상 아기들을 출생하였다고 한 바가 있었다.<sup>13)</sup> 만약 임산부가  $^{131}\text{I}$  치료를 받았다면 산과의사와 만나 임신의 예후 및 치료에 대한 상담이 필요하다. 그러나 지금까지의 연구 결과들을 메타 분석한 결과에서는  $^{131}\text{I}$  치료가 불임에 영향을 미친다는 증거는 발견되지 않았다.<sup>14)</sup>

일반적으로 고환은 난소에 비하여 방사선 조사에 대하여 더 민감하다고 알려져 있고, 젊은 남자에서 갑상선 암에 대한  $^{131}\text{I}$  치료가 치료 18개월 이후 혈청 FSH level 상승으로 나타나는 일시적인 고환의 기능장애를 나타낼 수 있으며, 정자 수의 감소가 1년 정도 지속된다고 보고된 바 있다.<sup>15)</sup> 아버지가 갑상선기능항진증에 대하여  $^{131}\text{I}$  치료를 받을 시 태아에서 선천성 기형의 발생 증가와 관련이 있다는 보고는 찾아 볼 수 없으며, 이 치료가 장기간의 불임을 야기한다는 보고도 없었다. 그러나 남자의 경우에서도 치료 시행 후 적어도 3개월을 기다리고, 최적 기간은 1년 뒤까지 기다렸다가 임신을 시도할 것을 권고한다. 남자 갑상선암 환자에서 고용량  $^{131}\text{I}$  치료가 반복되어야 하는 경우, 축적된 투여 용량이 400 mCi를 초과하는 경우에는 불임에 대비하여 정자를 수확하여 정자은행에 보관할 것을 권하기도 한다.

## 수 유

수유하거나 최근에 수유를 중단한 여자의 경우 수유하는 유방에 상당한 양의 요오드가 축적되므로 방사성

요오드 치료는 절대적인 금기사항이다. 수유는 최소한 방사성요오드 투여 6주 전에 중단하여야 하며, 증가된 유방의 sodium iodide symporter (NIS) 활성도가 정상으로 돌아오는데 치료 후 최소 3개월 정도의 기간이 필요한 것으로 인정되고 있다.<sup>16)</sup> 만약  $^{131}\text{I}$  치료를 긴급히 시행하여야 하거나, 유방조직의  $^{131}\text{I}$  섭취에 대한 고려가 필요할 때는  $^{123}\text{I}$  스캔을 시행하여 유방의  $^{131}\text{I}$  흡수가 주위 정상조직보다 높은 경우에는  $^{131}\text{I}$  치료를 반드시 연기하여야 한다. 치료를 시행 한 이후에 상당기간이 경과한 후 임신한 경우는 출산후의 수유가 무방하다.

수유를 금지하는 이유는, 첫째 모유 내에  $^{131}\text{I}$ 이 유아에 도달되거나 유아의 갑상선에 흡수되는 것을 막아야 하기 때문이며, 둘째 수유기간 동안 유방 조직에서  $^{131}\text{I}$ 의 흡수를 증가시키는 NIS 활성도가 증가된 상태이므로 유방 조직에 피폭을 줄이기 위해서이다. 환자가 간혈적으로 수유를 하거나, 수유를 중단한 이후라도 모유가 분비되는 경우에는 방사성요오드 치료를 연기하여야 한다.

## 환자의 노출 시간 및 환자와의 거리

$^{131}\text{I}$  치료 후,  $^{131}\text{I}$ 의 체내 잔류량에 의하여 발생하는 방사선 선량률은 1 m 거리에서 측정하여야 하고, 측정값이 기준치 보다 낮을 때 퇴원을 결정한다. 1 m 거리에서의 피폭량이 퇴원 한도를 넘는 시기에는 OF 0.25로 계산되는 성인 가족이나 간병인은 환자와 1.8 m (6 feet) 이상의 간격을 두어야 하고, ALARA 원칙을 고려한다면 환자의 격리기간 동안 이들은 환자와 적어도 1.8 m 이상의 간격을 유지하여야 한다. 앞서 언급한 격리 거리를 시행하는 기간은 방사선 안전 관리자가 의뢰한 전문가가 계산한 갑상선조직의 양과 잔류 방사능의 제거율에 영향을 받는데, 성인 가족이나 간병인은 수분 정도의 짧은 시간 동안은 1 m 이내로 접근할 수 있다. ATA 권고사항에서 인용한 Table 5와 6은 1 m 격리거리를 만족하기 위한 24시간 생활의 예시를 정리한 것이다. 이러한 자료들은 미국 NRC 지침과, 다른 연구자들이 보고한 바 있는 1 m 거리에서의 피폭량과 갑상선 환자에서의  $^{131}\text{I}$  소멸량 등을 근거로 판단한 것이다. 격리를 위해 정해진 시간과 거리는 여행, 일상생활, 업무, 학교, 사회 생활 등 모두에 적용된다.

## 치료 후 여행 시의 관리

환자에게 육체적이거나 다른 장애가 없을 시, 자신의

차로 혼자 운전을 할 수 있다. 이런 상황에서는 환자가 충분한 수분을 섭취하여 방광내의  $^{131}\text{I}$ 를 감소시킬 수 있다면 운전의 거리나 시간의 제한이 없다. 만약 환자가 다른 사람과 차량에 같이 타는 경우 앞서 언급된 격리 시간과 거리가 적용된다. 만약 차량 안에 있는 사람이 가족이라면 차량 내에서의 허용된 피폭은 집에서의 허용된 피폭 기준을 적용하면 된다. 최소 0.9 m (3 feet)의 거리를 유지해야 하는데, 예를 들면 한 명이 운전석에 앉아있다면 다른 한 명은 조수석 뒤편에 앉아야 한다. 밴 등의 대형 차량을 이용하는 경우 격리거리를 더 멀게 할 수 있기 때문에 여행시간을 더 오래 할 수 있다. 또한, 환자는 차량을 이용하는 동안에도 자주 소변을 보는 것이 중요하며, 이때에도 방사선 안전관리 수칙을 준수하여야 할 것이다. 치료 후, 대중교통 이용 제한시간은 ATA 권고사항으로 Table 7과 8에 기술하였다. ICRP에서 갑상선기능항진증으로 치료받은 환자에서 대중교통을 이용하기 위한 기준을 제시한 바가 있는데, 22 mCi를 치료받은 환자에서는 0.5시간, 5 mCi를 치료받은 환자에서는 3.5시간을 이용할 수 있다.<sup>17)</sup>

## 항공 여행 통관 시의 방사선 측정

방사선을 측정할 수 있는 정도의 감마선 방출 방사성핵종이 체내에 있는 경우에는, 국경, 공항이나, 항만, 사업체에서 측정하는 검출기로 방사능이 측정될 수 있으며, 현재의 기술 수준으로 2-3 m 거리의  $2.7 \times 10^{-5}$  mCi의  $^{131}\text{I}$ 을 측정할 수 있으며,<sup>18)</sup>  $^{131}\text{I}$  치료를 받은 환자는 치료 후 95일 이상 지난 경우에도 방사선이 검출될 수 있다.<sup>19)</sup> 비록  $^{131}\text{I}$ 의 양이 공공에 위협이 되지 않을 정도의 적은 양이라고 하여도, 만약 측정된다면, 이 상황에 대한 조사와 원인을 밝혀내야 한다. 미국에서는 만약  $^{131}\text{I}$  치료를 받은 후 4개월 이내에 국경을 넘거나 공항 등을 통과하는 여행이 계획되어 있다면 정밀한 진단을 시행한 후 환자에게 증명서를 제공하여야 하고, 이 증명서에는 치료받은 날짜, 방사성핵종의 종류, 용량, 치료방법, 이 환자의 상황에 대해 잘 알고 있는 의사나 방사선 안전관리자의 이름과 전화번호를 제공하여야 한다.

## 치료 후 생활

### 호텔 숙박

ATA 권고사항은 치료 후 퇴원하여 본인의 집으로 가지 않고, 호텔이나 모텔에서 머무르는 것은 바람직

**Table 5.** Examples of precaution requirements and recommendations after treatments with  $^{131}\text{I}$  in hyperthyroidism

Hyperthyroidism				
		MBq administered		
	370	555	740	1110
		Days/24-h cycles		
Night time restrictions				
Sleep in a separate (6-feet separation) bed from adults for days shown.	3	6	8	11
Sleep in a separate bed from pregnant partners, infant, or child for days shown.	15	18	20	23
Daytime restrictions				
You may return to work after days shown.	1	1	2	5
Maximize your distance (6 feet) from children and pregnant women for days shown.	1	1	2	5
Avoid extended time in public places for days shown.	1	1	1	3

Source: data from American Thyroid Association Taskforce on Radiation Safety<sup>4)</sup>
**Table 6.** Examples of precaution requirements and recommendations after treatments with  $^{131}\text{I}$  in thyroid carcinoma

Thyroid carcinoma				
		MBq administered		
	1850	3700	5550	7400
		Days/24-h cycles		
Nighttime restrictions				
Sleep in a separate (6-feet separation) bed from adults for days shown.	1	1	2	4
Sleep in a separate bed from pregnant partners, infant, or child for days shown.	6	13	18	21
Daytime restrictions				
You may return to work after days shown.	1	1	1	1
Maximize your distance (6 feet) from children and pregnant women for days shown.	1	1	1	1
Avoid extended time in public places for days shown.	1	1	1	1

Source: data from American Thyroid Association Taskforce on Radiation Safety<sup>4)</sup>
**Table 7.** Duration of safe travel by public transportation (bus, air, etc.) after treatments with  $^{131}\text{I}$  in hyperthyroidism

Hyperthyroidism				
		MBq administered		
	370	555	740	1110
		Duration of safe (hr)		
Travel time (hours) without exceeding regulatory dose limit				
Day (24-h cycles) 0 (beginning with treatment)	5.9	3.9	2.9	2.0
Day (24-h cycles) 1	9.2	6.1	4.6	3.1
Day (24-h cycles) 2	13.0	8.7	6.5	4.3
Day (24-h cycles) 3	—	10.6	8.0	5.3

Source: data from American Thyroid Association Taskforce on Radiation Safety<sup>4)</sup>
**Table 8.** Duration of safe travel by public transportation (bus, air, etc.) after treatments with  $^{131}\text{I}$  in thyroid carcinoma

Thyroid carcinoma				
		MBq administered		
	1850	3700	5550	7400
		Duration of safe (hr)		
Travel time (hours) without exceeding regulatory dose limit				
Day (24-h cycles) 0 (beginning with treatment)	1.2	0.6	0.4	0.3
Day (24-h cycles) 1	3.0	1.5	1.0	0.8
Day (24-h cycles) 2	7.2	3.8	2.5	1.9
Day (24-h cycles) 3	15.0	7.5	5.0	3.8
Day (24-h cycles) 4	—	15.0	10.0	7.5

Source: data from American Thyroid Association Taskforce on Radiation Safety<sup>4)</sup>

하지 않다고 하고 있다. 주위 환경에 대한 정확한 평가와 선량률 계산 없이 호텔이나 모텔에 숙박하는 경우, 낮 시간 동안 일반인들과의 노출 시간 및 거리 범위 기준을 지키기 어렵기 때문이다. 만약 환자가 치료 후 장거리 여행을 해야 하는 경우에도, 추가적인 영상촬영을 하여 환자의 상태를 정확하게 확인하지 않은 경우라면, 1박 이상의 숙박을 하는 여행은 할 수 없다고 하였다. 우리나라에서도  $^{131}\text{I}$  치료 후 병원에서 퇴원한 환자들이 호텔이나 모텔 등의 숙박시설에 머물거나 요양병원 등에 입원을 하는 경우가 있으므로, 향후 이러한 점들을 인식하여 환자들을 잘 교육하여야 할 것이다.

## 가정에서의 생활

보통의 경우, 수면시간을 8시간으로 하여 OF는 0.33, 평상시에 같이 잠을 자는 사람과의 간격은 30 cm로 계산하여 안전관리 수칙을 설정한다. 치료받은 환자는 자택에서도 혼자 잠을 자거나, 또는 다른 사람과 같이 자는 동안에는 다른 사람과는 적어도 1.8 m 이상 거리를 두어야 한다. 독립된 침실이나 수면 공간을 사용하는 것이 가장 좋은 방법이다. 퇴원 후 며칠 동안은 성관계와 키스는 금지하여야 한다. ATA 권고사항에서 인용한 Table 5와 Table 6는 격리해야 하는 기간의 예시를 주고 있는데, 다른 사람과 같이 수면을 할 때는 낮 시간 동안의 생활보다 더 오랜 격리 기간이 필요하다는 것을 보여주고 있다. 만약 집에 임신부나, 유아, 16세 이하의 어린이가 있다면 이들과 환자 사이에 1.8 m 이상의 거리를 유지할 수 있도록 활동영역이나 방식에 대한 조정이 필요하다.  $^{131}\text{I}$  치료를 시행한 환자가 자신의 집에서 아이와 함께 지내는 것은 아이가 부모와 같이 있고 싶어하는 마음 때문에 자주 문제가 될 수 있다. 아이들이 친척이나 친구들과 함께 지내도록 하기 위해 특별한 조정이 필요하며,  $^{131}\text{I}$  치료를 받은 환자는 소아나 임신부가 없는 장소에서 친척이나 친구와 같이 지내는 방법도 있다. 그러나, Beasley 등<sup>20)</sup>은 소아에서는 방사선의 노출에 더욱 조심하여야 하므로, 치료 후 최소 2 주 간은 어떠한 경우라도 같은 공간에서 잠을 자지 않아야 하며 15 mCi 이상의 치료 시는 4주간의 기간이 필요하다고 강조하였다. 보통의 경우, 애완동물은 위험할 정도의 방사선 조사는 없으나, ATA 권고사항에서는  $^{131}\text{I}$  치료 후 애완동물과 함께 수면을 취하는 것은 금하고 있다.

## 직장 및 학교 생활

직장이나 학교로 복귀하는데 있어서 시간과 거리의

격리기준은 집에서와 동일하며, 임신부나 아이들에 대한 피폭을 방지하는 것이 더욱 강조된다.

## 개인 위생

엄격한 개인 위생관리를 통하여 외부피폭 및 환자 자신의 분비물로부터  $^{131}\text{I}$ 이 흡수되는 것을 줄여야 한다.

### 소변

소변은  $^{131}\text{I}$ 이 처음 배설되는 경로이며, 치료 후 첫 48시간 동안에 가장 최대 배설된다. 충분한 수분 공급(3-4 L/day)은 잦은 소변을 가능하게 만들지만, 저나트륨증을 초래할 수 있는 고령의 갑상선기능저하환자에서는 특별한 주의가 필요하고, 가능한 한 치료 전에 이뇨제 투여를 중지하여야 한다.  $^{131}\text{I}$  치료를 받은 환자는 치료 후 첫날 깨어있는 동안 매시간 소변을 볼 수 있도록 수분 공급량을 조정해야 하며, 방광과 그 주위 장기의 방사선 피폭을 감소시키기 위해 수일 동안 소변 배출량을 유지하는 것이 좋다.

특히, 다음에 예시한 내용은 전 격리기간 동안 지켜져야 한다. 남자와 여자 모두 방사성 소변이 튀는 것을 방지하기 위해 앉아서 소변을 보아야 한다. 환자들은 소변이 떨어져서 의복이 오염되는 것을 방지하기 위해 소변을 본 자리와 용기는 스스로가 잘 닦아주어야 한다. 수세식 변기인 경우 사용하고 나서 물을 두 번 내리는 것을 권고하지만, 만약 어린아이나 동물이 화장실에 접근할 상황이 아니라면, 큰 도움은 되지 않는다. 그러나 변기 가장자리를 젖은 휴지로 닦는 것은 다른 사람에게 도달할 수 있는 방사능 피폭의 근원을 제거할 수 있으므로, 가족 화장실이나 공공화장실 사용시 잘 교육하여야 한다. 화장실 사용 후 손 씻기는 반드시 강조되어야 한다. 요실금 패드는 튼튼한 쓰레기 봉투에 싸서 방사성 폐기물로서 처리한다. 찢겨 내려갈 수 있는 도구는 변기에 넣고 씻어 내려가게 하고, 수세식이 아닌 종이 타월이나 청소한 도구는 방사성 폐기물 쓰레기 봉투에 넣어 버린다. 간병인은 일회용 플라스틱 장갑을 사용하여 청소를 도와주고 역시 방사성 폐기물 봉투에 버린다.

### 대변

매일 장을 완전히 비우는 것은 환자 자신과 주위 다른 사람에게 방사선 피폭을 감소시킨다. 변비가 있는 경우에는 매일 배변을 할 수 있도록 장 운동을 활성화하기 위해서 완하제를 사용할 수 있다. 배변 후 닦는

것과 수세식 화장실 이용 수칙은 소변을 볼 때와 다르지 않다. 또한 배변 시의 주변 오염 사고는 요실금의 경우와 같이 처치를 시행한다.

## 타액

$^{131}\text{I}$  농축이 타액에 나타나는 것은 7일 정도이기 때문에, 환자는 특히 어린이에게 키스를 하면 안 된다. 방사선 타액은 식기류, 음료, 칫솔, 싱크대, 베개, 전화 수화기 등을 오염시킬 수 있기 때문에 주의가 필요하다. 그러나 일회용 식기류는 버릴 때 주의가 필요하기 때문에 씻을 수 있는 식기가 효과적이다. 식사 후 식사에 이용한 식기류, 유리제품, 접시 등은 식기세척기나 손으로 씻는 것으로 충분하며, 다른 가족이 사용한 식기류와 같이 씻어도 된다. 만약 전화 수화기를 같이 사용한다면, 환자가 사용 후 주의해서 닦거나, 쉽게 제거할 수 있는 커버를 사용한다. 개인 휴대폰을 사용하는 것이 추천된다.

## 피, 상처조직 분비액 및 신체 분비물

다음에 예시한 내용은 전 격리기간 동안 지켜져야 한다. 상처에서의 출혈, 코피, 생리혈 등은 대부분은 적은 양의 방사선을 방출하지만, 플라스틱 장갑을 써서 완벽하게 닦아내야 한다. 반창고, 소독 솜, 패드와 장갑은 방사성 폐기물 쓰레기통에 버려야 한다. 코의 점액 분비물도  $^{131}\text{I}$  을 포함하고 있으며, 조직들도 정해진 쓰레기통에 버려야 한다.

## 땀

적은 양의  $^{131}\text{I}$ 이 땀에 포함되어 있지만, 손이나 입을 통해서 가족에게 전달될 수 있다. 침구류와 잠옷 등은 다른 사람과 같이 자는 기간 동안 주의 깊게 다루어야 한다. 격리 기간 동안 환자들이 음식을 준비하는 경우 일회용 장갑을 사용해야 한다. 치료 후 48시간 이내에 사용한 운동수건이나 그와 유사한 도구들은 깨끗하게 씻어서 위험성을 제거하고, 종이수건이나 물로 세척이 불가능한 물건은 특별한 쓰레기통에 버린다. 일하거나 운동할 때 입은 의복류에는 땀이 많이 묻어 있기 때문에 즉시 씻거나 세탁한다. 마찬가지로 잠옷에도 땀이나 분비물이 많이 묻어 있기 때문에 다른 사람에게 접촉되기 전에 세탁한다.

## 구토물

메스꺼움은 흔하며, 구토는 300 mCi 이상의 고용량 치료 시, 특히 어린이들에서 관찰된다고 하였으나, 갑

상선 암환자의  $^{131}\text{I}$  치료 시에는 100 mCi 이상 투여한 환자에서 메스꺼움과 구토는 흔하게 관찰된다. 위점막은 염소(chloride)와 같은 기전으로 요오드를 분비하게 되므로, 구토물에는 상당한 양의  $^{131}\text{I}$ 이 포함되어 있다. 예방적으로 구토방지제를 사용하는 것은 위장관 증상을 호전하는데 도움이 될 수 있다. 격리 기간 동안, 토사물은 일회용 장갑으로 모아서 변기에 씻어내어 버리고, 장갑과 종이 수건 같은 씻어낼 수 없는 물건들은 방사성폐기물 쓰레기통에 버린다.

## 폐기물 처리를 위한 쓰레기 봉투

방사성 쓰레기를 버리는 비닐 봉지는 새는 구멍이 없는지 잘 검사하여야 한다.

방사성 물질에 오염된 쓰레기가 포함된 비닐봉지들은 치료 후 1-2주 이후에 핵의학 설비로 보내야 한다. 만약 보낼 수가 없다면 완벽하게 포장하여 다른 사람이나 동물과 1.8 m 이상의 거리를 둘 수 있는 안전한 장소에 보관한다. 보관한 비닐봉지들은 방사능 경보음이 울리지 않을 정도로 방사선이 약화된  $^{131}\text{I}$ 의 10 반감기인 80일 이후에 쓰레기장에 보내야 한다.

## 결 론

방사선에 대한 안전을 위해서 2가지 원칙은, 정확한 의료행위와 규칙에 충실한 것이다. 갑상선질환에 대한  $^{131}\text{I}$  치료는 환자 개개인의 요구를 평가하여 만들어진 원자력 관련 법규 및 규정에 따라 이루어져야 하고, 환자 개개인의 상황에 맞는 방사선 피폭을 줄일 수 있는 방법을 조언하여야 할 것이다.  $^{131}\text{I}$  치료 후 본문에서 기술한 방사선 방호 원칙을 준수하면 환자 본인의 잔류 방사능을 쉽게 감소시킬 수 있고 주위 가족, 간병인, 사회에 대한 피폭량을 감소시킬 수 있을 것이다. 향후, 우리 실정에 맞는  $^{131}\text{I}$  치료 후의 안전관리 지침이 마련되어야 할 것이다. 한편으로는 우리나라 사회에서도 점차 확대되고 있는 환자의 권리나 의무에 관한 사회적인 요구 안들을 수용하여, 가까운 시기 내에 치료 환자의 눈높이 맞춘 환자 및 가족용 설명서와 치료 시술에 관한 동의서를 표준화하여야 할 숙제를 안고 있다.

**중심 단어:** 방사선 안전관리, 방사성요오드 치료, 갑상선질환.



## References

- 1) Meier DA, Brill DR, Becker DV, Clarke SE, Silberstein EB, Royal HD, *et al.* Procedure guideline for therapy of thyroid disease with (131)iodine. *J Nucl Med* 2002;43(6):856-61.
- 2) Luster M, Clarke SE, Dietlein M, Lassmann M, Lind P, Oyen WJ, *et al.* Guidelines for radioiodine therapy of differentiated thyroid cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2008;35(10):1941-59.
- 3) Franzius C, Dietlein M, Biermann M, Fruhwald M, Linden T, Bucskey P, *et al.* [Procedure guideline for radioiodine therapy and <sup>131</sup>Iodine whole-body scintigraphy in paediatric patients with differentiated thyroid cancer]. *Nuklearmedizin* 2007;46(5):224-31.
- 4) Sisson JC, Freitas J, McDougall IR, Dauer LT, Hurley JR, Brierley JD, *et al.* Radiation safety in the treatment of patients with thyroid diseases by radioiodine <sup>131</sup>I: practice recommendations of the American Thyroid Association. *Thyroid* 2011;21(4):335-46.
- 5) Barrington SF, Kettle AG, O'Doherty MJ, Wells CP, Somer EJ, Coakley AJ. Radiation dose rates from patients receiving iodine-131 therapy for carcinoma of the thyroid. *Eur J Nucl Med* 1996;23(2):123-30.
- 6) Culver CM, Dworkin HJ. Radiation safety considerations for post-iodine-131 hyperthyroid therapy. *J Nucl Med* 1991;32(1):169-73.
- 7) O'Doherty MJ, Kettle AG, Eustance CN, Mountford PJ, Coakley AJ. Radiation dose rates from adult patients receiving <sup>131</sup>I therapy for thyrotoxicosis. *Nucl Med Commun* 1993;14(3):160-8.
- 8) United States Nuclear Regulatory Commission Office of Federal and State Material and Environmental Management Programs 2009 Washington, DC: 20555-0001. NRC Information Notice 2003-22, Supplement 2009.
- 9) 교육과학기술부령제 24호 방사선 안전관리 등의 기술 기준에 관한 규칙. 2008
- 10) Jacobson AP, Plato PA, Toeroek D. Contamination of the home environment by patients treated with Iodine-131: initial results. *Am J Public Health* 1978;68(3):225-30.
- 11) Harbert JC, Wells N. Radiation exposure to the family of radioactive patients. *J Nucl Med* 1974;15(10):887-8.
- 12) Berg G, Jacobsson L, Nystrom E, Gleisner KS, Tennvall J. Consequences of inadvertent radioiodine treatment of Graves' disease and thyroid cancer in undiagnosed pregnancy. Can we rely on routine pregnancy testing? *Acta Oncol* 2008;47(1):145-9.
- 13) Zanzanico PB, Becker DV. Radiation hazards in children born to mothers exposed 131-iodine. In: Beckers C, Reinwein D, editors. *The thyroid and pregnancy*. Stuttgart: Schattauer; 1991. p.189-202.
- 14) Sawka AM, Lakra DC, Lea J, Alshehri B, Tsang RW, Brierley JD, *et al.* A systematic review examining the effects of therapeutic radioactive iodine on ovarian function and future pregnancy in female thyroid cancer survivors. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2008;69(3):479-90.
- 15) Sawka AM, Lea J, Alshehri B, Straus S, Tsang RW, Brierley JD, *et al.* A systematic review of the gonadal effects of therapeutic radioactive iodine in male thyroid cancer survivors. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2008;68(4):610-7.
- 16) Azizi F, Smyth P. Breastfeeding and maternal and infant iodine nutrition. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2009;70(5):803-9.
- 17) Brzozowska M, Roach PJ. Timing and potential role of diagnostic I-123 scintigraphy in assessing radioiodine breast uptake before ablation in postpartum women with thyroid cancer: a case series. *Clin Nucl Med* 2006;31(11):683-7.
- 18) International Commission on Radiological Protection 2004 Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. ICRP Publication 94. *Ann ICRP*. Section 4: Radiation protection after use of therapeutic radiopharmaceuticals, p. 19; Section 10.5: Doses to others during patient travel, Table 10.7, p. 47; Appendix B: Sample instructions for radiation protection after therapeutic administration of radioiodine, p. 71.
- 19) Dauer LT, Williamson MJ, St Germain J, Strauss HW. Tl-201 stress tests and homeland security. *J Nucl Cardiol* 2007;14(4):582-8.
- 20) Beasley CW, Moore WH, Wagner LK. Release instructions for hyperthyroid patients treated with I-131. *Thyroid* 2011;21(10):1163-4; author reply 4-5.