

# I-131 치료를 받은 분화갑상선암 환자에서 I-131의 유효반감기

단국대학교의과대학 핵의학교실  
박석건

## Effective Half-life of I-131 in Patients with Differentiated Thyroid Cancer Treated by Radioactive I-131

Seok Gun Park, M.D.

Nuclear Medicine Department, College of Medicine, Dankook University, Cheonan, Korea

**Purpose:** Effective half life of I-131 ( $T_{eff}$ ) in patients with differentiated thyroid cancer treated by I-131 is must-know value for dose calculation and determination of release time from isolation room. There has been no report about  $T_{eff}$  in Koreans. Thus, author tried to measure dose rate without radiation exposure to faculty members and calculated  $T_{eff}$ . **Methods:** Probe of radiation survey meter was fixed at the wall of isolation room, and body of survey meter was placed outside the room. With this simple arrangement, author could measure radiation frequently without radiation exposure to faculty members in 68 patient (F=55, M=13, age=47±13.7) treated by I-131 (3.7~7.4 GBq) for differentiated thyroid cancer from Jan 2006 to Dec 2006. From this data,  $T_{eff}$ , 48 hr retention rate, and the time necessary to whole body retention of I-131 become less than 1.1 GBq were calculated. Serum creatinine levels were measured before and after thyroid hormone withdrawal. **Results:**  $T_{eff}$  was 15.4±4.3 hr (9.4~32.5 hr). There was a loose correlation between  $T_{eff}$  and serum creatinine concentration ( $r=0.45$ ). 48hr retention was 4.9±4.2% (1~23%). Time necessary to whole body retention of I-131 become less than 1.1 GBq was calculated as 47.1±13.2 hr for 9.25 GBq, 42.1±11.9 hr for 7.4 GBq, 35.7±10.0 hr for 5.55 GBq, and 26.7±7.5 hr for 3.7 GBq dose of I-131. **Conclusion:** Author successfully measured radiation dose rates in isolated patients treated by high dose of I-131 without radiation exposure to the faculty members with simple arrangement of survey meter probe. Using those data,  $T_{eff}$  and some other indices were calculated. (Nucl Med Mol Imaging 2008;42(6):464-468)

**Key Words:** Thyroid cancer, radioactive iodine, effective half life, dosimetry

### 서 론

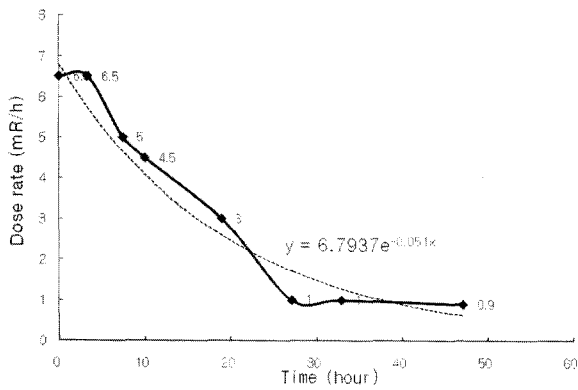
방사성옥소(I-131) 치료는 분화갑상선암의 표준적인 치료 방법이다.<sup>1, 2)</sup> 많은 양의 I-131를 투여할 경우에는 주변에 주는 방사선 피폭 때문에 환자를 일정기간 동안 격리할 필요가 있다. 최근 고용량의 I-131을 투여한 환자의 주변을 직접 모니터 함으로써, 꼭 격리를 해야 하는 것은 아니라는 실증적인 자료를 제

시한 연구들이 있으나, 아직까지는 일반적으로 1.2 GBq 이상의 용량을 투여할 경우에는 환자를 격리치료실에 입원시켜서 관리를 해야 하며, 통상적으로 2박 3일의 입원기간을 두는 것이 보통이다.

그런데 격리치료실에 입원한 환자 중 일부는 드물게 격리기간을 견디기 어려워하는 경우도 있고, 환자와 병원으로부터는 격리치료실의 부족으로 많은 대기환자가 있으므로 좀 더 빠른 시간 안에 환자를 퇴원 시켜서 더 많은 환자를 치료해 달라는 요구를 받고 있다.

만약 환자의 체내에 일정량 이하가 남게 되면 2박 3일의 정해진 기간을 채우지 않더라도 퇴원을 시킨다고 하면, 좀 더 이른 시간에(혹은 측정 결과에 따라 더 늦은 시간에) 환자를 퇴원시킬 수 있을 것이다. 그렇게 하려면 퇴원 시점을 정하기 위해서 자주 선량을 측정해야 하지만, 측정을 위하여 격리치료실에 빈번하게 출입하기 어려운 난점이 있다.

• Received: 2008. 10. 8. • Revised: 2008. 12. 1.  
• Accepted: 2008. 12. 8.  
• Address for reprints: Seok Gun Park, M.D., Nuclear Medicine Department, College of Medicine, Dankook University, Cheonan, Chungnam, Korea  
Tel: 82-41-550-6952, Fax: 82-41-550-6955  
E-mail: seokgun@paran.com  
\*The present research was conducted by the research fund of Dankook University in 2006.



**Figure 1.** An example of time-dose rate curve. The formula of the exponential curve was derived by curve-fitting function (dotted line) after plotting the measured datum (indicated as ■) on the commercially available spreadsheet program using personal computer. And effective half life of I-131 was calculated from formula of the curve.

저자는 격리치료실 내부의 벽에 방사선 선량계의 탐침 (probe)을 고정 설치하고 선량계는 병실의 외부에 두도록 하는 간단한 방법으로 격리치료실에 입원 중인 환자의 선량을 수시로 측정할 수 있었으며, 여기서 얻은 값으로부터 I-131의 유효 반감기를 구할 수 있었다.

지금까지 분화갑상선 암으로 I-131 치료를 받은 한국인에서 물리학적 선량측정 방법으로 최대허용선량(maximal permissible dose, MPD)를 계산한 연구들은 있었어도, I-131의 유효반감기를 측정하여 보고한 것은 찾을 수 없었다.<sup>3)</sup> 또한 저자가 사용한 측정 방법이 매우 간단하기 때문에, 다른 곳에서도 쉽게 적용을 할 수 있을 것으로 생각하여 그 방법과 결과를 보고하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상

2006년 1월 1일부터 12월 31일까지 I-131 치료를 위해서 격리치료실에 입원했던 환자 중 선량을 측정했던 68명을 대상으로 하였다. 나이는 16세부터 82세로 평균 47.8세였으며, 여자 55명, 남자 13명이었다. 모두 갑상선 유두암으로 갑상선 전절제술을 받은 환자들이었다. 이 중 12명은 재발로 치료를 받은 환자들이었다. 종양의 크기는 0.2~6.5 Cm였으며, I-131 투여량은 3.7~7.4 GBq 사이였다.

### 2. 방법

환자의 준비는 I-131 치료를 위해 입원하기 4주전부터 T4를 T3로 바꾸어 2주간 투여 한 다음 끊었고, 입원 2주 전부터는 엄

격한 저옥소식이를 하도록 했다. 저옥소식이를 위해서는 모든 환자가 영양사와 영양상담을 하고 식단표를 받았다. I-131 투여 당시 TSH 값은 모두 30 uU/dl을 넘었다.

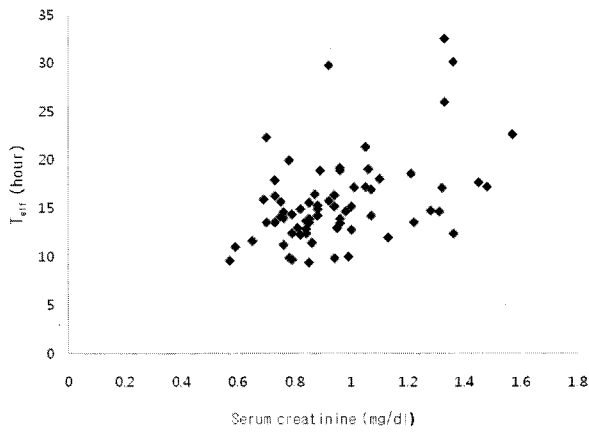
선량의 측정을 위해서 격리치료실 내부의 벽에 1미터 높이로 방사능 선량계의 탐침을 고정하였다. 탐침이 오염이 되는 것을 막기 위해서 작은 상자를 만들어서 그 안에 탐침을 수납했고, 상자의 입구는 오염이 되었을 경우 제거할 수 있도록 비닐로 봉하였다. 탐침으로부터 1미터 떨어진 거리의 바닥에 발자국 표시를 하여 항상 지정된 위치에 환자가 설 수 있도록 하였으며, 격리치료실 외부에서 인터콤을 통해 환자에게 그 위치에 서도록 지시를 하고 선량을 측정하였다. 환자가 제 자리에 쏠는지는 안전을 위해 병실에 설치한 비디오 카메라를 통해서 확인할 수 있었다. 측정 빈도는, I-131 투여 직후에 측정을 하고, 이후 수면 시간을 제외하고 약 4시간 간격으로 측정하였다.

측정 결과를 개인용 컴퓨터의 엑셀 프로그램에 입력하여, 엑셀의 곡선적합(curve fitting)기능을 이용하여 지수함수 곡선의 곡선을 얻었으며(Fig. 1), 유도된 곡선의 공식으로부터 유효반감기를 구했다.

반감기를 이용하여, 각각의 환자에서 최대허용선량 결정의 기준이 되는 지표 중에서는 48시간 후에 체내에 남아있는 양 (%)을 계산하였고, 퇴원 기준에 되는 지표 중에서는, 환자에서 측정된 선량이 환자의 체내에 남아있는 양과 비례한다는 가정 하에, 매 환자에서 각각 9.25 GBq, 7.4 GBq, 5.55 GBq, 3.7 GBq를 투여한다고 가정 했을 때 체내에 남는 양이 1.1 GBq가 될 때까지 걸리는 시간을 계산하였다. 모든 환자에서 TSH와 혈중 크레아티닌 농도를 측정하였다. 엑셀의 통계 기능을 이용하여 혈중 크레아티닌 값과 I-131 사이에 상관관계가 있는지를 계산하였다. 57명에서는 치료 전(수술 당시)과 치료 당시의 혈중 크레아티닌 농도를 비교할 수 있었다.

## 결 과

1. I-131의 유효반감기는 15.4±4.3 (9.4~32.5)시간이었다.
2. 혈중 크레아티닌 농도가 올라갈수록 반감기가 길어지는 경향은 있었으나, 그 상관관계는 높지 않았다( $r=0.45$ ,  $p=0.002$ )(Fig. 2). 혈중 크레아티닌 농도는 정상갑상선기능 일 때에 비해 기능저하일 때 평균 1.27±0.19배 높아졌다(Fig. 3).
3. 48시간 후 체내에 남아있는 선량은 처음 선량의 4.8±4.2% (1~23%)로 계산되었다.
4. 체내에 남은 양이 1.1 GBq가 될 때까지 걸리는 시간은, 9.25 GBq를 투여할 때는 47.1±13.2 (28.7~99.5)시간, 7.4 GBq를 투여할 때는 42.3±11.9 (25.7~89.1)시간, 5.55 GBq를 투여할 때는 35.7±10.0 (21.8~75.9)시간, 3.7 GBq를 투여할 때는



**Figure 2.** As serum creatinine level increased (in the range of 0.57~1.57mg/dl), effective half life of I-131 ( $T_{eff}$ , expressed in hour) showed increasing tendency. But correlation coefficient was not high( $r=0.45$ ,  $p=0.002$ ).

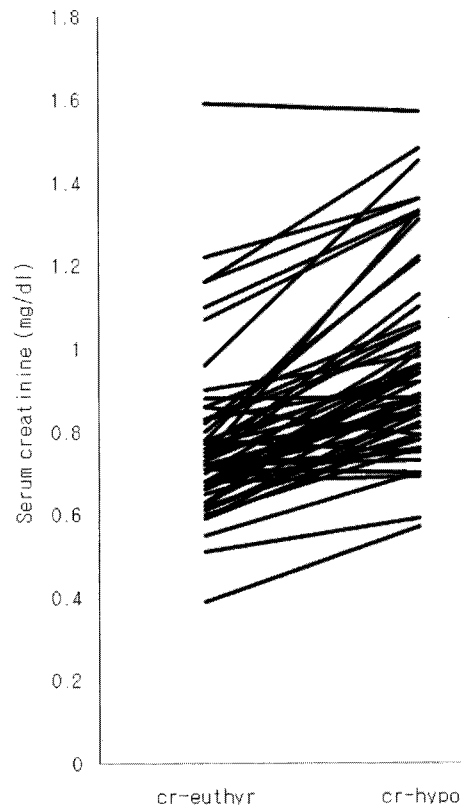
26.7±7.5 (9.4~32.5)시간이 되는 것으로 계산되었다.

### 고찰

분화갑상선암 환자의 방사선 치료에서 I-131의 유효반감기는 환자에게 투여하는 양 계산뿐 아니라 환자로부터 가족들이 얼마나 방사선을 받게 되는지를 계산하는 데도 유용한 값이다. 그러나 이 값은 물리적반감기와는 달리 실측을 해야만 얻을 수가 있어서, 많은 양의 I-131를 투여하고 격리중인 환자에게 적용하기에는 기술적인 난점이 있었다. 이 때문에 갑상선암으로 I-131 치료를 받는 한국인에서 I-131의 유효반감기가 어느 정도가 되는 지에대한 보고는 찾아보기 어렵다.

저자는 격리치료실 내부의 벽에 방사능 선량계의 탐침을 고정하고, 선량계는 외부에 두어 외부에서 값을 읽을 수 있도록 함으로써 격리중인 환자와 접촉을 하지 않고도 수시로 선량을 측정할 수 있도록 하였다. 측정 간격은, I-131 투여 직후에 한번 측정을 하고, 이후는 수면시를 제외하고 4시간 간격으로 측정하였다. 환자와 탐침 사이의 거리는 1미터로 조정을 하고, 높이는 탐침이 환자의 복부 높이가 되도록 1미터로 하였다. 환자가 탐침으로부터 항상 같은 거리를 유지하도록 바닥에 발 그림을 그려서 측정할 때 마다 그것을 밟고 서도록 하였다.

North 등<sup>4)</sup>은 250건의 I-131 치료에서 I-131의 유효반감기는 7.3~106시간 사이로 중앙값은 14시간이며, 환자마다 차이가 크다고 보고하였다. 이 결과는 저자의 평균값 15.4±4.3시간과 비슷하다. 그러나 편차는 North 등이 훨씬 크다. 가능한 이유로는 이들은 혈중 크레아티닌 농도를 측정하지 않았기 때문에, 신장 기능이 현저하게 떨어지는 환자가 섞였을 가능성이 있고, 두 시



**Figure 3.** Serum creatinine level was increased average 1.27 times after discontinuation of thyroid hormone for the preparation of I-131 treatment (cr-hypo) compared to those of euthyroid state (cr-euthyr).

점만을 측정하여 유효반감기를 계산하는 방법을 사용했기 때문에, 여러 시점에서 측정을 한 저자의 방법보다 오차가 컸을 가능성이 있다. 이들은 I-131 투여 직후 환자로부터 1미터 떨어진 거리에서 한 번 측정하였고, 다음날 아침 한 번 더 측정을 하는 방법을 사용하였다.

North 등은 한 번 측정을 할 때 환자의 전후좌우에서 모두 측정을 했다. 이렇게 얻은 측정치 중 가장 큰 값 하나를 취하여 계산한 유효반감기 보다는, 전후좌우의 값을 합산해서 계산한 유효반감기가 더 짧다고 하였다. 그 이유로는 캡슐이 용해되면서 I-131이 체내에 흡수되어 희석되고 차폐되는 효과가 있기 때문이라고 추정하였다. 저자의 경우는 정면에서만 측정을 했기 때문에 사방에서 측정하여 합산하는 방법을 썼으면 좀 더 작은 값이 나왔을 가능성도 있다.

이들은 또한 19건의 반복치료를 한 사례에서 유효반감기를 비교한 결과, 처음 치료했을 때와 다음 치료했을 때가 같지 않았다는 보고를 하면서, 처음 데이터를 가지고 두 번째 치료의 유효반감기를 예측할 수 없다고 하였다. 반복 치료를 하는 환자

의 경우 처음 치료 때 얻은 선량측정(dosimetry)의 결과를 두 번째 치료에 참고할 수 있으리라는 것이 현재의 상식이므로, 이것은 반드시 추가 연구로 검증이 필요한 부분이다.

Driedger 등<sup>5)</sup>은 I-131 치료를 한 환자에서 I-131의 반감기는 5.5~8.5시간 이라고 하였다(편차가 어느 범위였는지는 알 수 없다). Luster 등<sup>6)</sup>은 9명의 환자에서 정상갑상선기능일 때와 갑상선기능저하일 때 각각 유효반감기가  $9.4 \pm 1.5$  (7.1~11.6)시간,  $12.4 \pm 2.5$  (10.3~18.3)시간이라고 하였다. 혈중 크레아티닌 농도가 각각 얼마였는지는 나와있지 않다. Cormack 등<sup>7)</sup>은 갑상선기능이 정상인 경우 유효반감기를 6시간으로 보고했다. 저자의 경우 갑상선기능저하 상태일 때 유효반감기는  $15.4 \pm 4.3$ 시간이었으며, 혈중 크레아티닌 농도는 정상갑상선기능일 때에 비해 갑상선기능저하일 때 1.27배로 높았다. 혈중 크레아티닌 농도가 높아질수록 반감기가 길어지는 경향은 있었으나, 서로 높은 상관관계는 보이지 않았다( $r=0.45$ ). 크레아티닌 값은 0.57~1.57 mg/dl 사이였다. 혹시 크레아티닌 농도가 더 높은 말기신부전 사례들이 추가가 된다면 통계적인 상관관계가 보일 수도 있을 것이다. Kaptein 등<sup>8)</sup>은 유효반감기는 9.6시간으로, 복막투석을 하고 있는 말기신부전환자에서는 40.3시간으로 길어진다고 하였다.

I-131는 캡슐 형태로 된 것을 공급받아서 사용했다. 장에서 흡수되는 정도가 유효반감기에 얼마나 영향을 미치는지는 알 수 없으나, 경험상 I-131을 이용한 전신 스캔에서 환자마다 장이 보이는 정도가 다르기 때문에, 환자마다 장흡수가 다를 수 있고, 장에서 흡수가 되는 속도가 유효반감기에 영향을 미치리라는 짐작은 할 수 있다. 실제로 I-131의 흡수는 제형에 따라 다를 수 있으며, 캡슐의 경우 제조사에 따른 차이가 있어서 이에 따라 I-131섭취를 검사의 결과가 달라질 수 있다고 한다.<sup>9)</sup> 제형의 차이가 유효반감기에 어떤 영향을 미치는지는 알려진 바가 없다.

환자에게 투여하는 I-131의 양을 정하는 계산과 관련하여, MPD 법에서는 혈액의 조사량이 총 2Gy가 되도록 계산하여 I-131를 투여하되, 48시간에 전신에 남아있는 방사능의 양이 4.44 GBq를 넘지 않도록 제한하고 있다. 최대 투여량은 11.1 GBq로 제한한다.

저자의 경우 48시간 후 체내에 남아있는 선량은 처음 선량의  $4.8 \pm 4.2\%$  (1~23%)로 계산되었으며, 따라서 투여량 11.1 GBq 이하에서 어느 경우든 체내에 남아있는 양이 4.44 GBq를 넘지 않는다는 것을 알 수 있었다. 김 등<sup>10)</sup>은 I-131를 투여한 후 소변을 채취하여 처음 투여한 양으로부터 소변으로 배출된 양을 빼는 방법으로 체내 잔류량을 계산했는데, 3.7~7.4 GBq를 투여했을 때 48시간 후 체내 잔류율이 평균 28.27~23.83%였으며, 최대 1.58~3.63 GBq가 남아서 48시간 체내 잔류율의 최대값은

42.7~49.1%였다고 하였다. 안전기준인 4.44 GBq를 넘는 환자는 없었다. 11.1 GBq 투여군에서는 체내 잔류율이 8.9%라고 했는데, 11.1 GBq 투여군에서만 특별히 체내 잔류율이 낮은 이유는 알 수 없다. Grigsby 등<sup>11)</sup>은 환자를 격리하지 않고 외래에서 0.8~5.6 GBq의 I-131를 투여했을 때 48시간 체내 잔류율은 0.7~21.5%로 평균 8.4%였다고 하였다.

Hanscheid 등<sup>12)</sup>은 48시간째에 체내 잔류율은  $14 \pm 10.8\%$ 라고 하였으며, 유전자재조합 사람 갑상선자극호르몬(recombinant human TSH)을 투여한 그룹에서는  $6.9 \pm 5.7\%$ 라고 하였다. 이 경우 환자를 갑상선기능저하 상태에 빠트리지 않으므로 신장으로 배설되는 I-131의 양이 줄어들지 않고, 따라서 환자의 체내에 남아있는 방사선량은 전통적인 치료방법보다 적을 것으로 볼 수 있다.

저자의 계산이 김 등의 계산이나 Hanscheid 등의 계산과 비교하여 48시간에 체내에 남아있는 양이 적은데, 김 등은 일회 소변의 I-131 양을 측정하여 소변량을 곱하여 얻은 값을 사용하였으므로 오차가 클 수 있고, 투여한 양에 따라서 48시간 후에 체내에 잔류하는 %가 달라지는 일관되지 않은 결과를 보여주고 있다. Hanscheid 등은 저자처럼 연속적으로 측정된 값을 사용하여 계산한 것이 아니므로 역시 오차가 저자의 방법보다 클 수 있다. 그렇다고 하더라도 차이가 크므로 해조류를 많이 섭취하는 우리나라 사람과 서양인의 사이에 차이가 있을 지, 연구가 필요한 대목이다.

Venencia 등<sup>13)</sup>은 I-131 치료를 받은 환자 14명의 왼쪽 앞가슴에 전자선량계 또는 열발형광검출기(thermoluminescence detector, TLD)를 부착하는 방식으로 환자로부터 나오는 감마선에 의한 선량을 구하면서 유효반감기도 계산을 했는데, 이들이 제시한 표를 보면 유효반감기는 0.349일~0.750일로서, 평균 0.52일(12.5시간)이었다. 국내에서는 Park 등<sup>14)</sup>이 11명의 외래 환자에게 3.7~5.55 GBq의 I-131를 투여한 다음 가족과 주거지에 TLD를 부착하여 방사선량을 측정하는 방법으로 주변 사람들이 받는 양을 계산하여 보고한 바가 있으나, 아직 TLD를 사용하여 반감기를 유도해 낸 보고는 없다.

탐침을 격리치료실의 벽에 고정시키는 방법은 측정하는 사람의 방사선 노출이 없이 수시로 측정을 할 수 있고, 시행하기가 간편하다. 또한 여러 측정값을 이어서 시간-방사능 곡선을 얻을 수 있으므로 곡선아래면적(area under the curve)을 이용하거나, 유도된 유효반감기를 이용하여 주변 사람들이 받게 될 방사선량을 계산할 수도 있을 것이다. 환자가 일정 시간 동안 받게 되는 방사선량을 환자와의 거리, 접촉시간으로 보정하면 주변 사람들이 받게 되는 방사선량이 되기 때문이다.

## 요 약

**목적:** I-131 치료를 받는 분화갑상선암 환자에서 I-131의 유효반감기( $T_{eff}$ )는 투여량의 계산이나 격리치료의 기간을 결정하기 위해서는 알아야 할 값 중 하나이다. 그러나  $T_{eff}$ 를 계산하려면 자주 선량을 측정해야 하기 때문에 측정하는 사람의 방사선노출이 문제가 된다. 이런 이유로 아직 한국인에서  $T_{eff}$  값을 찾기 어렵다. 측정하는 사람에 대한 방사선 노출 없이 연속적으로 선량 변화를 측정하고, 이로부터  $T_{eff}$ 와 48시간 체내잔류량, 1.1 GBq 이하가 될 때까지의 시간을 계산하고자 하였다. **방법:** 방사선 선량계의 탐침은 격리치료실 안의 벽에 고정하고, 선량계는 밖에서 읽도록 하는 간단한 방법을 사용하였다. 2006년 1월부터 12월까지 I-131 치료(3.7~7.4 GBq)를 받은 분화갑상선암 환자 68명(여=55, 남=13, 연령=47±13.7)에서 격리치료실 입원 중 선량변화를 측정하였다. 이 값을 가지고 개인용 컴퓨터의 스프레드시트 프로그램을 사용하여  $T_{eff}$ 를 계산하였다. 모든 환자에서 혈중 크레아티닌 농도를 측정하였다. **결과:**  $T_{eff}$ 는 15.4±4.3 (9.4~32.5)시간이었다.  $T_{eff}$ 는 혈중 크레아티닌이 증가할수록 길어지는 경향은 있었으나, 상관계수는 높지 않았다( $r=0.45$ ). 48시간 후 남은 양은 4.9±4.2 (1~23)%였다. 전신에 남은 양이 1.1 GBq 이하가 될 때까지의 시간은, 9.25 GBq를 투여한다고 가정했을 때에는 47.1±13.2시간, 7.4 GBq일 때 42.1±11.9시간, 5.55 GBq일 때 35.7±10시간, 3.7 GBq일 때 26.7±7.5시간으로 계산되었다. **결론:** 선량계의 탐침과 몸체를 분리하는 간단한 방법으로 측정하는 사람의 방사선노출이 없이 격리치료실에 입원한 환자의 선량변화를 연속적으로 측정할 수 있었고, 유도된 곡선으로부터  $T_{eff}$ 를 계산했다. 이 값을 이용하여 48시간 체내잔류량과 투여한 양이 1.1 GBq 이하가 될 때까지의 시간을 계산하였다.

## References

1. Shong YK. Treatment of differentiated thyroid cancer. *Korean J Nucl Med* 2002;36:77-97.
2. Kim YK, Chung JK, Kim SK, Yeo JS, Park DJ, Jeong JM et al.

- Results of radioiodine treatment for distant metastases of differentiated thyroid cancer. *Korean J Nucl Med* 2000;34:107-18.
3. Kim JC, Yoon JH, Bom HS, Jaegal YJ, Son HC, Min JJ et al. Development and assessment individual maximum permissible dose method of I-131 therapy in high risk patients with differentiated papillary thyroid cancer. *Korean J Nucl Med* 2003; 37:110-9.
4. North D, Shearer DR, Hennessey JV, Donovan GL. Effective half-life of 131I in thyroid cancer patients. *Health Physics* 2001;81:325-9.
5. Driedger AA, Quirk S, McDonald TJ, Ledger S, Gray D, Wall W et al. A pragmatic protocol for I-131 rhTSH-stimulated ablation therapy in patients with renal failure. *Clin Nucl Med* 2006;31:454-7.
6. Luster M, Sherman SI, Skarulis M, Reynolds JR, Lassmann M, Hanscheid H, Reiners C. Comparison of radionuclide biokinetics following the administration of recombinant human thyroid stimulating hormone and after thyroid hormone withdrawal in thyroid carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30: 1371-7.
7. Cormack J, Shearer J. Calculation or radiation exposures from patients to whom radioactive materials have been administered. *Phys Med Biol* 1998;43:501-16.
8. Kaptein EM, Levenson H, Siegel ME, Gadallah M, Akamal M. Radioiodine dosimetry in patients with end-stage renal disease receiving ambulatory peritoneal dialysis therapy. *J Clin Endocrinol Metab* 2000;85:3058-64.
9. Yu MD, Huang WS, Cherng CC, Shaw SM. The effect of formulation on reduced radioiodide thyroid uptake. *J Nucl Med* 2002;43:56-60.
10. Kim MS, Jeong NI, Lee JY, Kim CS, Kim CH, Lee MC et al. Physical dosimetry in radioactive iodine treatment in the patients with thyroid cancer. *Korean J Nucl Med* 1994;28: 124-32.
11. Grigsby PW, Siegel BA, Baker S, Eichling JO. Radiation exposure from outpatient radioactive iodine therapy for thyroid carcinoma. *JAMA* 2000;283:2272-4.
12. Hanscheid H, Lassmann M, Luster M, Thomas SR, Pacini F, Ceccarelli C et al. Iodine biokinetics and dosimetry in radioiodine therapy of thyroid cancer: procedures and results of a prospective international controlled study of ablation after rhTSH or hormone withdrawal. *J Nucl Med* 2006;47:648-54.
13. Venencia CD, Germanier AG, Bustos SR, Gionvanni AA. Hospital discharge of patient with thyroid carcinoma treated with 131I. *J Nucl Med* 2002;43:61-5.
14. Park HM, Jang JW, Yang HC, Kim YG. Outpatient radiation therapy for thyroid cancer patients with minimal radiation exposure to the family members. *Nucl Med Mol Imaging* 2007; 41:218-25.