

# 갈색세포종 환자에서 Medical Internal Radiation Dose법을 이용한 I-131 Metaiodobenzylguanidine 치료 후 흡수선량 평가

원자력병원 핵의학과

양원일 · 김병일 · 이재성 · 이정림 · 최창운 · 임상무 · 홍성운

## Radiation Absorbed Dose Measurement after I-131 Metaiodobenzylguanidine Treatment in a patient with Pheochromocytoma

Weon Il Yang, M.D., Byeung Il Kim, M.D., Jae Sung Lee, M.D., Jung Rim Lee, Ph.D.,  
Chang Woon Choi, M.D., Sang Moo Lim, M.D. and Sung Woon Hong, M.D.

*Department of Nuclear Medicine, Korea Cancer Center Hospital, Seoul, Korea*

### Abstract

**Purpose:** The measurement of radiation absorbed dose is useful to predict the response after I-131 labeled metaiodobenzylguanidine (MIBG) therapy and determine therapy dose in patients with unresectable or malignant pheochromocytoma. We estimated the absorbed dose in tumor tissue after high dose I-131 MIBG in a patient with pheochromocytoma using a gamma camera and Medical Internal Radiation Dose (MIRD) formula. **Materials and Methods:** A 64-year old female patient with pheochromocytoma who had multiple metastases of mediastinum, right kidney and periaortic lymph nodes, received 74 GBq (200 mCi) of I-131 MIBG. We obtained anterior and posterior images at 0.5, 16, 24, 64 and 145 hours after treatment. Two standard sources of 37 and 74 MBq of I-131 were imaged simultaneously. Cumulated I-131 MIBG uptake in tumor tissue was calculated after the correction of background activity, attenuation, system sensitivity and count loss at a high count rate. **Results:** The calculated absorbed radiation dose was 32-63 Gy/ 74 GBq, which was lower than the known dose for tumor remission (150-200 Gy). Follow-up studies at 1 month showed minimally reduced tumor size on computed tomography, and mildly reduced I-131 MIBG uptake. **Conclusion:** We estimated radiation absorbed dose after therapeutic I-131 MIBG using a gamma camera and MIRD formula, which can be performed in a clinical nuclear medicine laboratory. Our results suggest that the measurement of radiation absorbed dose in I-131 MIBG therapy is feasible as a routine clinical practice that can guide further treatment plan. The accuracy of dose measurement and correlation with clinical outcome should be evaluated further. (*Korean J Nucl Med 1999;33:422-9*)

**Key Words:** Pheochromocytoma, I-131 MIBG, Dosimetry, MIRD

Received Jul. 14, 1998; revision accepted Aug. 6, 1999.

Corresponding Author: Sang Moo Lim, M.D., Department of Nuclear medicine, Korea Cancer Center Hospital, 215-4 Gongneung Dong, Noweon Gu, Seoul 139-706, Korea.

Tel: 82-2-970-1213, Fax: 82-2-970-1341, E-mail: smlim328@kcchsun.kcch.re.kr.

## 서 론

갈색세포종은 부신수질 및 교감신경계의 크롬친화세포에서 기원한 종양으로 임상양상과 이환율은 주로 카테콜아민방출에 기인되며 고혈압이 가장 흔한 임상증상이며 때로 극적인 고혈압성발작 또는 위기가 반수이상에서 발생한다.<sup>1)</sup>

갈색세포종 치료는 수술적 제거를 원칙으로 하며 완전 제거가 가능한 갈색세포종의 예후는 좋은 편이다. 그러나 제거가 불가능한 병소에 대해서 항암화학요법과 외부 방사선 조사를 시행하지만 이러한 치료에 잘 반응하지 않는다.<sup>2-4)</sup> 갈색세포종의 진단에 사용되던 I-131 MIBG를 이용하여 진단 시 섭취가 활발한 병소에 수천 rad 이상의 흡수선량을 기대하고 100~200 mCi의 I-131 MIBG를 투여하여 치료 효과를 분석한 연구에서는 근치적절제술이 불가능한 악성 갈색세포종 치료에 있어 I-131 MIBG의 완전관해나 50% 이상의 부분관해를 보인 경우가 약 20%에 미치지 못하였다.<sup>5-7)</sup> 높은 치료 효과를 기대하기 위해서는 수술로 가능한 한 종괴를 제거한 후 잔류조직에 대하여 I-131 MIBG로 치료해야 하며 악성 갈색세포종에서 충분한 흡수선량에 도달해야 한다.

MIRD (Medical Internal Radiation Dose)법<sup>8)</sup> 미국핵의학회(The Society of Nuclear Medicine)의 의용내부방사선흡수선량위원회(Medical Internal Radiation Dose Committee)가 제안한 감마카메라를 통해 얻은 핵영상을 이용한 체내 방사성 의약품의 동태를 정량하여, 핵종별로 정리된 에너지전달계수를 이용하여 선원장기 및 표적장기의 흡수선량을 간단하게 계산하는 방법으로, 방사성 의약품의 장기별 흡수선량 평가, 방사면역 치료 등의 분야에 사용되고 있다.

동위원소를 이용한 악성 종양의 치료에 있어서 흡수선량의 평가는 치료 효과 예측에 도움이 되고 잔류병소를 위한 재치료 시 치료용량 결정에 중요하다. 그러나 정확한 흡수선량의 측정을 위하여 고용량의 MIBG 치료 후에 연속적인 시간방사능 곡선을 얻어서 MIRD 방법으로 흡수선량을 평가하는 것은

방사선 작업종사자나 일반인에 대한 피폭과 감마카메라의 이용효율에 대한 고려를 할 때에 임상환경에서는 실제적으로 하기 어려우며, 순수하게 흡수 선량을 평가할 목적으로 저 용량의 MIBG를 주사하고, 흡수선량을 평가한 다음 이를 고용량 치료에 적용하는 것 또한 실제 임상에서는 하기 어렵다.

본 연구에서는 비교적 간편하여 임상환경에서 쉽게 적용할 수 있는 감마카메라를 이용한 MIRD 법을 고안하고, 이를 I-131 MIBG 7.4 GBq (200 mCi) 치료를 한 악성 갈색세포종 환자에게 적용하여 표적 조직의 흡수선량을 측정하였다.

## 대상 및 방법

환자는 64세 여자 환자로 1989년 2월 우측 부신의 갈색세포종으로 우측 부신 제거 후 간헐적인 심계항진, 고혈압, 두통 및 불안감을 보여왔으며 상기 증상의 악화로 1997년 I-131 MIBG 스캔 및 X선 전산화단층촬영 소견상 종격동, 우측 신장 및 대동맥 주위림프절 등에 전이가 있었다.

갑상선 섭취를 막기 위하여 전처치로서 I-131 MIBG 주사 전날부터 주사 후 14일째까지 루골요드 용액 투여하였다. 200 mCi I-131 MIBG를 생리식염수 500 cc에 혼합하여 2시간 동안 정맥주사 하였다. I-131 MIBG 투여 후 30분, 16시간, 24시간, 64시간, 145시간에 양쪽 목옆에 3 cc 주사기에 I-131 MIBG 1 mCi와 2 mCi의 표준선원을 놓고 감마카메라(Two-head Sophy DSX)를 이용하여 364 keV ± 10%의 에너지창에서 1분간 스캔을 시행하여 전·후면 평면영상을 각각 얻었다(Fig. 1).

각각의 전이병소 중 3곳(병소1: 종격동, 병소2: 우측신장, 병소3: 대동맥주위림프절)에 관심영역을 설정하여 계수를 얻었고 표준선원을 영상화하여 단위 계수 당 방사능을 구하였다.

영상에서 관심장기의 계수  $C_{orig}$ 는 배후조직의 계수  $C_{bkg}$ , 각각의 픽셀수  $N_{orig}$ ,  $N_{bkg}$ 를 구하여 보정하였다.

$$C_{corrected} = C_{orig} - C_{bkg} \frac{N_{orig}}{N_{bkg}}$$

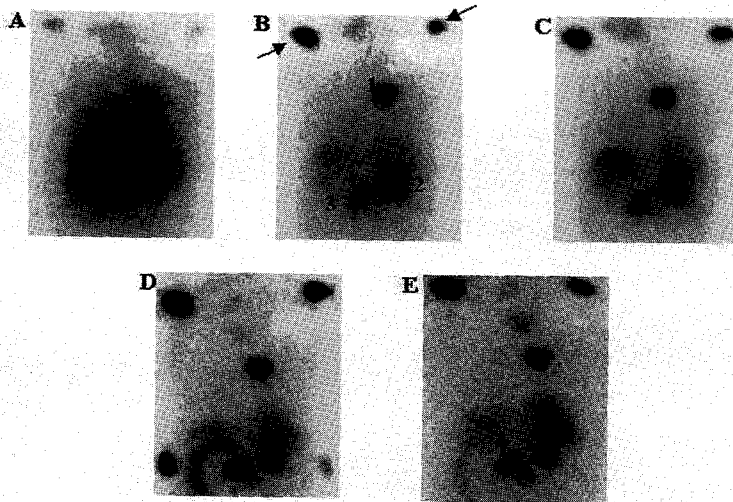


Fig. 1. Posterior images of I-131 MIBG scintigraphy obtained 30 minutes (A), 16 hours (B), 24 hours (C), 64 hours (D) and 145 hours (E) after injection of 74 GBq of I-131 MIBG. Abnormal tracer uptakes were shown in mediastinum (1), right kidney (2) and paraaortic lymph node (3). Standard sources are located around shoulders (arrow).

높은 계수에서 불응시간  $t$ 로 인한 계수손실은 배후조적 보정 후 얻은 계수  $C_{corrected}$ 에 대하여 참 계수  $C_{true}$ 을 구하여 보정하였다.

$$C_{true} = \frac{C_{corrected}}{1 - C_{corrected} \times t}$$

불응시간  $t$ 는 표준선원법(Two source method)<sup>9)</sup>를 이용하여 계산하였으며 감마카메라를 364 keV  $\pm 10\%$ 의 에너지창을 설정하여 12.4  $\mu$  sec를 얻었다.  $R_1$ 은 선원 1의 초당 계수(CPS, count per sec),  $R_2$ 는 선원 2의 초당 계수,  $R_{12}$ 는 선원 1과 선원 2를 함께 측정할 초당 계수이다.

$$t \text{ (sec)} = \frac{2 \cdot R_{12}}{(R_1 + R_2)^2} \cdot \ln \frac{R_1 + R_2}{R_{12}}$$

감쇠 보정은 양방향촬영법(Conjugate View Method)<sup>10,11)</sup>을 이용하여 구하였으며 배후방사능 보정과 불응시간 보정 후 얻은  $C_{true}$  값( $Ca$ 는 전면 영상

에서 얻은 계수,  $Cp$ 는 후면 영상에서 얻은 계수)에서 효율감쇠계수  $\mu_{eff}$ 와 대상생체의 두께  $D$ , 병소의 자체감쇠인자  $f$ , 시스템교정인자  $c$ 를 이용하여 체내의 방사선량  $A$ 를 얻을 수 있다. I-131의 물에 대한 선형감쇠계수 0.11  $cm^{-1}$ 과 X선 전산화단층촬영에서 얻은 환자의 평균 몸통두께 20 cm로부터 기하학적 평균의 감쇠 보정인자 3.0004를 얻었다.

$$A = \sqrt{\frac{Ca \cdot Cp}{e^{-\mu_{eff} \cdot D}}} \times \frac{f}{c}$$

보정 후 얻은 계수를 표준선원으로부터 얻은 감마카메라의 시스템교정인자 0.068  $\mu$  Ci/cpm을 적용하여 병소의 방사능 양을 얻어 각 병소의 시간방사능곡선을 얻었다(Fig. 2).

주사 후 최고치까지 면적은 삼각형으로 계산하였으며 최고치에서부터 지수함수회기분석으로 곡선하 면적을 계산하여 병소 각각의 누적방사능  $A$ 를 구하였다.

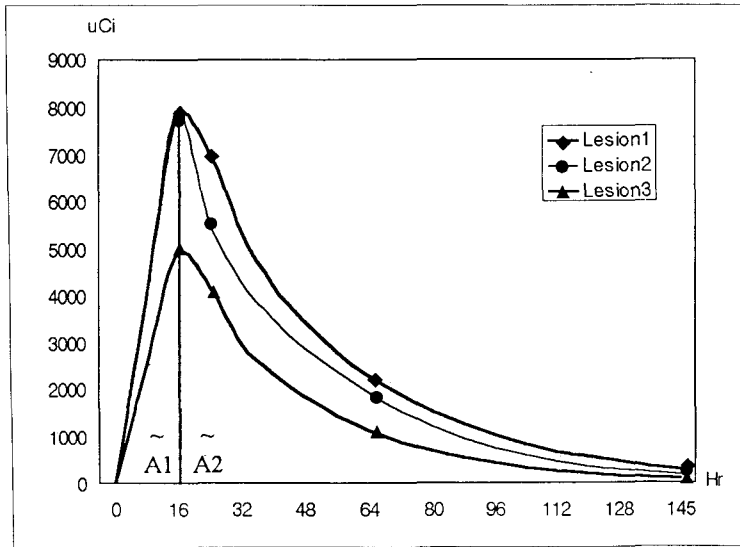


Fig. 2. Time activity curve of I-131 MIBG radioactivity in each target lesion (lesion 1-3) in a patient with metastatic pheochromocytoma. Cumulated activity  $\bar{A}$  in  $\mu\text{Ci} \cdot \text{hr}$  is the area under the curve (equivalent to the Equation 5).

용하여 구할 수 있다.

$$\bar{A} = \bar{A1} + \bar{A2}$$

$$\bar{A1} = \frac{A_{16} \cdot 16}{2}$$

$$\bar{A2} = \int_{16}^{\infty} A(t) \cdot dt, (A(t) = A_{16} \cdot e^{-\lambda_{eff} \cdot (t-16)})$$

$$\bar{A2} = \frac{A_{16}}{\lambda_{eff}}$$

$\bar{A}$ ; 표적장기 누적방사능

$\bar{A1}$ ; I-131 MIBG 투여 후 16시간까지의 표적장기의 누적방사능

$\bar{A2}$ ; I-131 MIBG 투여 후 16시간 이후의 표적장기의 누적방사능

$A_{16}$ ; I-131 MIBG 투여 후 16시간일 때의 표적장기의 방사능

$\lambda_{eff}$ ; 유효 붕괴상수

$A(t)$ ; I-131 MIBG 투여 후 표적장기의 방사능

평균 흡수선량  $\bar{D}$ 는 누적방사능에 MIRD법의 S 값<sup>12)</sup>(단위 누적방사능에 대한 평균 흡수선량)을 적

$$\begin{aligned} \bar{D}(r_k \leftarrow r_h) &= (\bar{A}/m_k) \sum_i \Delta_i \phi_i(r_k \leftarrow r_h) \\ &= \bar{A} \sum_i \Delta_i \Phi_i(r_k \leftarrow r_h) \\ &= \bar{A} \cdot S(r_k \leftarrow r_h) \end{aligned}$$

$$\therefore S(r_k \leftarrow r_h) = \sum_i \Delta_i \Phi_i(r_k \leftarrow r_h)$$

$\bar{D}(r_k \leftarrow r_h)$ ; 선원장기  $r_h$ 에서 표적장기  $r_k$ 에 주어지는 평균 흡수선량

$\bar{A}$ ; 표적장기  $r_h$ 의 누적 방사능

$m_k$ ; 표적장기  $r_k$ 의 무게

$\Delta_i$ ; 방사성 입자  $I$ 의 평균 흡수선량 상수

$\phi_i(r_k \leftarrow r_h)$ ; 선원장기  $r_h$ 에서 방출되는 방사성 입자  $I$ 의 표적장기  $r_k$ 에 대한 흡수분획

$\Phi_i(r_k \leftarrow r_h)$ ; 선원장기  $r_h$ 에서 방출되는 방사성 입자  $I$ 의 표적장기  $r_k$ 에 대한 비 흡수분획

$S(r_k \leftarrow r_h)$ ; 선원장기  $r_h$ 에서 방출되는 누적방사능당 표적장기  $r_k$ 의 평균 흡수선량

S값은 전산화단층촬영을 이용하여 구한 병소의 용적에 물의 비중을 곱하여 얻은 병소의 무게와 비슷한 무게(37 gm)를 가진 고환의 S 값( $1.3 \times E-02$ )을 사용하였다.

**결 과**

갈색세포종 환자의 전·후면 감마카메라영상에서 시간방사능곡선의 곡선하면적을 구하여 병소 각각에서 약 484919, 363728, 252069  $\mu\text{Ci} \cdot \text{hr}$ 의 누적 방사능을 얻었고 MIRD법의 S값을 사용하여 병소 각각에서 6303, 4728, 3276 rad/mCi의 흡수선량을 얻었다(Table 1).

환자는 I-131 MIBG 200 mCi 투여 26시간 후 두통, 불안감 및 심계항진을 호소하였으며 이때 측정된 혈압은 210/120 mmHg으로 I-131 MIBG 투여 전 혈압인 160/90 mmHg과 비교하여 혈압상승을 보였다.

한달 후 환자는 심계항진, 두통 및 불안감 등의 자각증상감소를 보였다. X선 전산화단층촬영에서 구한 병소 크기 변화는 병소 1은 치료 전  $4.4 \times 4.2 \times 5.0$  cm에서 치료 후  $4.1 \times 4.0 \times 4.5$  cm로 약간 감소하였고, 병소2는 치료 전  $3.6 \times 3.5 \times 4.0$  cm에서 치료 후  $3.5 \times 3.2 \times 4.0$  cm로 그리고 병소3은 치료 전  $3.4 \times 3.7 \times 4.0$  cm에서 치료 후  $3.4 \times 3.5 \times 4.0$  cm로 각각 감소하였다. 치료 후 시행한 I-123 MIBG 영상은 치료 전 영상에 비하여 육안적 소견상 MIBG 섭취 정도가 감소하였다(Fig. 3).

**고 찰**

I-131 MIBG는 부신수질 영상용으로 도입된 이래 갈색세포종을 비롯해 부신수질 과형성증, 부신 수질암, 신경아세포종, 갑상선 수질암, 카르시노이드 등의 영상획득에 이용되어 왔으며 특히 갈색세포종의 경우 진단적 예민도와 특이도는 각각 87%, 99%에 이른다.<sup>2,13)</sup> 한편 I-131 MIBG 0.5 mCi/1.73 m<sup>2</sup> 투여로 부신수질에서 50 rad의 흡수선량을 얻을 수 있어서,<sup>14-16)</sup> 수술이 불가능한 갈색세포종에서 I-131 MIBG의 섭취가 강한 병소를 대상으로 I-131 MIBG를 치료에 이용하게 되었다. 치료 효과는 병소의 흡수선량과 밀접한 관계를 보이며 동위원소의 섭취가 강한 종양에서 좋은 치료 효과를 기대할 수 있다.

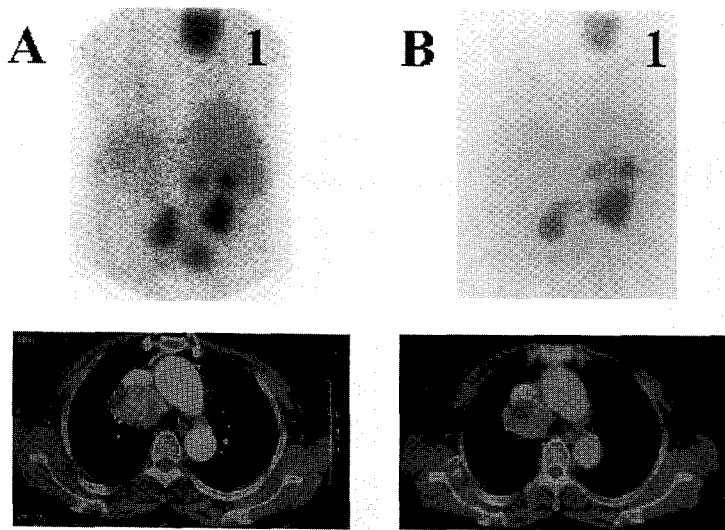
방사성 동위원소를 이용한 치료 시 병소에 전달되는 흡수선량은 병소의 활성도나 전이 병소의 위치에 따라 많은 차이를 보이므로 투여한 동위원소의 흡수선량의 평가는 중요하며 임상적 환경에서 가장 유용한 방법으로 MIRD법이 사용된다. MIRD법은 감마카메라를 통해 얻은 영상과 핵종별로 정리된 에너지전달계수를 이용하여 체내 장기 및 종양에 방사성 추적자가 균일하게 분포한다는 가정하에 흡수선량을 추정 평가하는 방법으로 선원장기 및 표적장기의 흡수선량을 간단하게 계산할 수 있어 임상적으로 쉽게 적용할 수 있다.

정확한 흡수선량 평가에 있어서 발생 가능한 오차를 줄이기 위한 노력이 요구되며 저자들은 감마카

**Table 1.** Radiation Absorbed Dose after 74 GBq of I-131 MIBG Therapy in a Pheochromocytoma Patient

	Lesion 1	Lesion 2	Lesion 3
Activity ( $\mu\text{Ci}$ )			
16hr	7754	7907	4885
24hr	7066	5572	4198
64hr	3216	2236	1625
Cumulated activity ( $\mu\text{Ci} \cdot \text{hr}$ )	484919	363728	252069
Volume (gm)	49.1	27.4	27.1
S Value* (rad/ $\mu\text{Ci} \cdot \text{hr}$ )		$1.3 \cdot E-02$	
Absorbed Dose/gm tissue (rad/200 mCi administered)	6303	4728	3276

\* The S value used is the reference value of testis that is the approximately same volume with lesion.



**Fig. 3.** Tumor response after I-131 MIBG therapy. I-131 MIBG scintigraphy and CT finding of mediastinal lesion (1) before (A) and after 1 months of therapy (B). Post treatment images (B) showed decreased tracer activity and size of lesion than pre-treatment ones (A).

메라를 사용하여 획득한 계수를 이용하여 보다 정확한 시간방사능곡선을 얻기 위해 배후방사능 보정, 불응시간 보정 그리고 감쇠 보정 등을 이용하여 데이터를 보정 하였다. 그러나 저자들의 흡수선량 평가 역시 오차를 포함하고 있으며 그 중 하나는 데이터 획득시간이다. 16시간에 얻은 값을 최고방사능 값으로 시간방사능곡선을 추정함으로써 저자들이 측정된 흡수선량이 실제보다 낮게 측정되었다는 것이다. 이러한 오차는 간편하게 흡수선량을 평가하는데 따른 불가피한 것으로서, 앞으로 I-131 MIBG의 체내동태를 연구하여, 이를 바탕으로 데이터획득시간을 결정함으로써 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 다른 하나는 감쇠 보정 방법에 의한 오차이다. 저자들이 사용한 I-131의 선형감쇠계수와 평균 몸통 두께로부터 얻은 기하학적 평균의 감쇠 보정인자를 사용하는 방법은 Eary 등<sup>10)</sup>에 의해서 플러드소스를 이용하는 방법과 비교하여 그 정확도가 입증된 방법이긴 하지만 인체의 구조적 특성 때문에 물처럼 균일한 감쇠가 일어나지 않아 오차를 야기할 수 있으며 플러드소스를 이용하거나 표준선원을 직접 환

자 몸에 통과시켜 환자의 인체 각 부분에 대하여 감쇠정도를 측정, 보정하여 정확한 흡수선량을 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

갈색세포종의 I-131 MIBG 치료 후에 흡수선량을 평가하고, 이를 치료 효과와 비교한 연구는 많지 않다. Sisson 등은 5명의 환자를 대상으로 각각 100~200 mCi 용량으로 I-131 MIBG를 각각 2회에서 4회 반복 투여하여 병소의 흡수선량을 평가하여 약 3,500~20,000 rad의 흡수선량을 얻었으며 이들 중 각각 15,000과 20,000 rad를 기록한 두 환자에서 증상의 소실과 종양 크기와 병소활성도의 50% 이상의 감소를 보여 치료 효과를 기대하기 위해서는 20,000 rad 이상의 흡수선량을 필요로 한다고 하였다.<sup>5,6)</sup> Troncone 등<sup>7)</sup>은 4명의 환자를 대상으로 각각 2~9회에 걸쳐 총 150~670 mCi를 투여하여 치료 효과는 환자마다 차이가 있었지만 이 중에서 수술 후 잔여병소에 대하여 3회에 걸쳐 300 mCi을 투여한 환자에서 카테콜아민치의 정상화 및 병소의 감소와 함께 20개월 동안 질병의 증거를 찾지 못했다고 보고하였으며, 수술 후 초기에 I-131 MIBG를 투여함으

로써 잔여병소에 대한 치료 효과를 극대화시킬 수 있다고 주장하였다. 그러나 단위 용량으로 500 mCi, 총 용량 800~900 mCi 이상을 투여하는 경우 비가역적인 골수 억제제가 있을 수 있기 때문에 그 이하의 용량 투여가 바람직하다.<sup>17)</sup>

본 연구에서 환자는 I-131 MIBG 200 mCi 투여 26시간 후 두통, 불안감 및 심계항진을 호소하였으며 210/120 mmHg의 혈압상승을 보였다. 이는 방사선 조사로 인한 분비과립의 파괴로 방출된 카테콜아민 과다로 인한 증상으로 생각된다. 한 달 후 추적검사에서 자각증상의 호전 및 X선 전산화단층촬영상과 I-123 MIBG 영상에서 병소의 감소를 확인할 수 있었지만 완전관해에 도달하지 못하였다. 이러한 사실은 I-131 MIBG 200 mCi 투여 후 얻은 각각 6303 rad, 4728 rad, 3276 rad의 흡수선량은 완전관해를 위해서는 충분치 못한 흡수선량이라는 것을 의미한다. 저자들이 얻은 흡수선량은 완전관해가 가능한 20,000 rad 이상의 흡수선량에 도달하지 못하였고 완전관해에 충분한 흡수선량에 도달하기 위해서는 여러 연구자들이 제안한 것처럼 골수를 비롯한 여러 장기의 기능을 추적관찰하면서 1회 200 mCi의 3~4주 간격으로 4~5회 반복 투여하거나 자가골수이식을 병행한 대용량 투여가 필요하다고 여겨지며, 이러한 치료용량결정 및 치료계획을 수립하는 데 있어서는 여러 차례의 흡수선량 평가가 필요하고 본 연구에서 측정된 간편하고 실제적인 흡수선량의 평가가 보다 유용할 것이다.

앞으로 본 연구에서 얻은 흡수선량의 정확성을 검증하고, 보다 많은 수의 환자에 적용하여 흡수선량과 치료 효과와의 관계를 규명하는 연구를 하여야 할 것이다.

## 요 약

**목적:** 근치적 절제술이 불가능하거나 전이를 동반한 악성 갈색세포종 환자의 I-131 MIBG 치료 시 흡수선량의 평가는 치료 효과 예측 및 치료용량 결정에 중요하다. 저자들은 갈색세포종 환자에서 I-131 MIBG 치료 후 감마카메라와 MIRD법을 이용하여 흡수선량을 평가하고자 본 연구를 시행하였다. **대상**

**및 방법:** 종격동, 우측 신장 및 대동맥주위림프절 등에 전이가 확인된 악성 갈색세포종 환자에서 74 GBq I-131 MIBG 투여 후 양쪽 목옆에 37 MBq와 74 MBq의 표준선원을 놓고 각각 0.5, 16, 24, 64, 145시간에 감마카메라로 전·후면영상 얻었다. 배후방사능 보정과 불응시간 보정 그리고 감쇠 보정 후 MIRD법을 이용하여 표적조직의 흡수선량을 구하였다. **결과:** 병소 각각에서 약 32~63 Gy/74 GBq의 흡수선량을 얻었으나 완전관해에 필요한 150~200 Gy에는 도달하지 못하였다. 치료 1달 후 X선 전산화단층촬영상에서 병소의 감소를 확인하였고 치료 전과 비교한 I-123 MIBG 영상에서 MIBG 섭취감소를 확인하였다. **결론:** 갈색세포종 환자에서 I-131 MIBG 치료 후 치료용량결정 및 치료계획을 수립하는 데 있어서 흡수선량평가가 필요하며 본 연구에서처럼 감마카메라와 MIRD법을 이용한 방법은 보다 간편하게 흡수선량을 평가할 수 있어 임상적인 환경에서 유용할 것으로 여겨진다. 앞으로 본 연구에서 얻은 흡수선량의 정확성을 검증하고, 보다 많은 수의 환자에 적용하여 흡수선량과 치료 효과와의 관계를 규명하는 연구를 하여야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구의 불응시간 보정 등 감마카메라 최적화를 위해 도움을 주신 핵의학과 정진성, 박흥규, 전태울, 권오진 기사에게 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) Shapiro B, Gross MD. Radiochemistry, biochemistry, and kinetics of I-131 metaiodobenzylguanidine and I-123 MIBG: clinical implication of the use of I-123 MIBG. *Med & Ped Onco* 1987; 15:170-7.
- 2) Lim SM, Hong SW. Treatment of radiopharmaceuticals. In: Koh CS, Editor. *Nuclear Medicine*. 2nd ed. Seoul: Korea Publishing Co.; 1997. p. 788-90.
- 3) Bravo EL, Gifford RW. Pheochromocytoma: diagnosis, localization and management. *N Engl J Med* 1984;311:1298-303.

- 4) Samaan NA, Hickey RC, Shutts PE. Diagnosis, localization and management of pheochromocytoma. *Cancer* 1988;62:2451-60.
- 5) Sisson JC, Shapiro B, Beierwaltes WH, Glowniak JV, Nakajo M, Mangner TJ, et al. Radiopharmaceutical treatment of malignant pheochromocytoma. *J Nucl Med* 1984;24:197-206.
- 6) McEwan AJ, Shapiro B, Sisson JC, Beierwaltes WH, Ackery DM. Radio-iodobenzylguanidine for the scintigraphic location and therapy of adrenergic tumors. *Semin Nucl Med* 1985;15:132-53.
- 7) Troncone L, Rufini V, Montemaggi P, Danza FM, Lasorella A, Mastrangelo R. The diagnostic and therapeutic utility of radioiodinated MIBG. *Eur J Nucl Med* 1990;16:325-39.
- 8) The Society of Nuclear Medicine. *MIRD primer for absorbed dose calculations*. New York: 1988.
- 9) Adams R, Hine GJ, Zimmerman CD. Deadtime measurements in scintillation cameras under conditions simulating quantitative nuclear cardiography. *J Nucl Med* 1978;19:538-44.
- 10) Eary JF, Appelbaum FL, Durack L, Brown P. Preliminary validation of the opposing view method for quantitative gamma camera imaging. *Ann Assoc Phys Med* 1989;16:382-7.
- 11) Shulkin BL, Sisson JC, Koral KF, Shapiro B, Wang X, Johnson J. Conjugate view gamma camera method for estimating tumor uptake of I-131 MIBG. *J Nucl Med* 1988;29:542-8.
- 12) Snyder WS, Ford MR, Warner GG, Watson SB. "S" Absorbed Dose per unit cumulated activity for selected radionuclides and organs. *MIRD Pamphlet No 11*, New York: The Society of Nuclear Medicine; 1975.
- 13) Moll LV, McEwan AJ, Shapiro B, Sisson JC, Gross MD, Lloyd R, et al. Iodine-131 MIBG scintigraphy of neuroendocrine tumors other than pheochromocytoma and neuroblastoma. *J Nucl Med* 1987;28:979-88.
- 14) Lindberg S, Fjälling M, Jacobsson L, Jansson S, Tisell L-E. Methodology and dosimetry in adrenal medullary imaging with I-131 MIBG. *J Nucl Med* 1988;29:1638-43.
- 15) Bomanji J, Levison DA, Horne T, Bouloux PM-G, Ross G, Britton KE, et al. Uptake of I-123 MIBG by pheochromocytomas, paragangliomas, and neuroblastomas: a histological comparison. *J Nucl Med* 1987;28:973-8.
- 16) Bomanji J, Flatman WD, Horne T, Fettich J, Britton KE, Ross G, et al. Quantitation of I-123 MIBG uptake by normal adrenal medulla in hypertensive patient. *J Nucl Med* 1987;28:319-24.
- 17) Sisson JC, Hutchinson RJ, Carey JE, Shapiro B, Johnson JW, Mallette SA, et al. Toxicity from treatment of neuroblastoma with I-131 MIBG. *Eur J Nucl Med* 1988;14:337-40.