

## 신경내분비종양 진단에 있어서 I-123 MIBG 조기 평면 영상과 SPECT 영상의 임상적 유용성

서울중앙병원 핵의학과, 원자력병원 사이클로트론실\*

신중우 · 류진숙 · 원경숙 · 최윤영 · 김희중 · 양승오 · 이희경 · 서용섭\*

= Abstract =

### Clinical Usefulness of I-123 MIBG Scintigraphy with Early Planar and SPECT Image in The Diagnosis of Neuroendocrine Tumors

Jung Woo Shin, M.D., Jin-Sook Ryu, M.D., Kyoung Sook Won, M.D.  
Yun Young Choi, M.D., Hee-Jung Kim, Ph.D, Seoung-Oh Yang, M.D.  
Hee Kyung Lee, M.D. and Yong Sup Suh, B.S.\*

*Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, and Cyclotron Laboratory,  
Korea Cancer Center Hospital, Seoul, Korea*

The purpose of this study was to evaluate the clinical usefulness of I-123 MIBG scintigraphy with early planar and SPECT image in the diagnosis of neuroendocrine tumors. We reviewed I-123 MIBG scintigraphies of 21 patients who had been suspected to have neuroendocrine tumors by CT or MRI findings. Early 4 hour planar and SPECT images were obtained in all patients and delayed (13-24 hour) planar images were performed in 17 patients. Final diagnoses were made by surgery, biopsy, or clinical follow up. Twelve patients were confirmed to have neuroendocrine tumors. With 4 hour planar and SPECT images, there were 9 true positives(6 pheochromocytomas, 1 paraganglioma, 1 neuroblastoma, and 1 medullary cancer of the thyroid), 8 true negatives(1 adrenal cortical adenoma, 1 malignant fibrous histiocytoma, 1 adenoma in colon and 5 benign nonfunctioning adrenal tumors), 1 false positive(hepatocellular carcinoma) and 3 false negatives(1 recurred medullary cancer of the thyroid, 1 liver metastasis of carcinoid tumor and 1 ganglioneuroma). The sensitivity and specificity of I-123 MIBG scintigraphy were 75% and 89%, respectively. SPECT images provided good anatomical correlation with CT or MRI. Delayed images showed increased tumor to background ratio in 5 out of 8 true positive patients, but did not change the diagnosis. In conclusion, early 4 hour images with I-123 MIBG is clinically convenient and useful method in the detection of neuroendocrine tumors, and SPECT images can provide good anatomical correlation with CT or MRI.

**Key Words :** I-123 MIBG scintigraphy, neuroendocrine tumor, SPECT

### 서 론

방사성 옥소 표지 MIBG(metaiodobenzylguanine)는 1980년대 소개된 이후로 신경내분비종양, 특히 갈색세포종(pheochromocytoma), 신경아세포종(neuroblastoma), 그리고 부신경절종(paraganglio-

ma)의 진단에 유용한 물질로 널리 알려져있다<sup>1-4)</sup>. 감마카메라 영상을 위해서 MIBG는 I-123 또는 I-131로 표지될 수 있는데, 비교적 값이 싸고 구하기 쉬운 I-131 표지 MIBG가 널리 이용되고 있다. 하지만 I-131은 긴 반감기와 베타선을 방출하며 에너지가 감마카메라로 영상화하는데 불리하며, I-131 MIBG를 주사후 24시간 또는 48시간까지 영상을 얻어야 적절

하다고 보고되어 있어 주사후 진단하기까지 많은 시간이 필요한 단점이 있다. 반면 I-123은 순수한 감마 선원으로 I-131보다 다량 투여가 가능하여 조기에 영상을 얻을 수 있으며 보다 우수한 감마카메라 영상을 만들 수 있고 SPECT 영상을 얻기에도 적합한 장점이 있지만, 싸이클로트론에서 생산되므로 가격이 비싸고 구하기 어려워서 임상에서 널리 사용되지 않고 있으며, 신경내분비종양에서의 진단적 유용성에 대한 임상 연구도 드문 실정이다<sup>3, 4)</sup>.

저자들은 신경내분비종양이 의심되는 환자들에서

최근 국내에서 생산되기 시작한 I-123으로 표지된 MIBG를 사용하여 조기 평면 영상과 SPECT 영상을 시행하고 신경내분비종양의 진단에 있어서 유용성을 평가하고자 이 연구를 시행하였다.

### 대상 및 방법

95년 2월부터 96년 6월까지 두통, 심계항진, 고혈압 등 증상이 있거나 생화학적 검사상 신경내분비종양이 의심되어서 CT 또는 MRI를 시행하여 복부 종괴

Table 1. Summary of Findings of I-123 MIBG Scintigraphy and CT/MRI.

No	age/sex	CT/MRI	final diagnosis	4hr planar	4hr SPECT	delayed planar
1	F/47	Lt. adrenal mass(4cm)	Pheochromocytoma	P	P	P(18hr)
2	F/64	Lt. adrenal mass(10cm)	Pheochromocytoma	P	P	P(18hr)
3	M/58	Rt. suprarenal mass	Hepatoma	P	P	-
4	F/53	Lt. adrenal mass(5cm)	Pheochromocytoma	P	P	P(18hr)
5	M/35	Rt. adrenal mass(6cm)	Pheochromocytoma	P	P	P(18hr)
6	F/36	Rt. suprarenal mass(5cm)	Ganglioneuroma	N	N	N(18hr)
7	F/49	Lt. suprarenal mass(6cm)	Pheochromocytoma	P	P	-
8	F/64	Lt. suprarenal mass(10cm)	Malignant fibrous histiocytoma	N	N	N(18hr)
9	F/52	Rt. suprarenal mass(5cm)	Adrenal cortical adenoma	N	N	N(18hr)
10	M/34	Lt. chest wall and abdominal huge mass	Neuroblastoma	P	P	P(18hr)
11	F/49	Rt. adrenal(4cm) and Lt. adrenal mass(10cm)	Benign adrenal tumor	N	N	N(13hr)
12	F/48	Rt. adrenal mass(2.5cm)	Benign adrenal tumor	N	N	N(13hr)
13	F/21	Rt. adrenal mass(4cm)	Benign adrenal tumor	N	N	-
14	M/66	Lt. adrenal mass(0.8cm)	Benign adrenal tumor	N	N	N(18hr)
15	M/42	Mutiple nodules(2cm) within liver	Liver metastasis of carcinoid tumor	N	N	N(24hr)
16	M/46	Aortocaval mass(6cm)	Paraganglioma	P	P	P(18hr)
17	M/69	*	Adenoma in colon	N	N	N(18hr)
18	M/33	Rt. neck mass**	Recurred medullary cancer of the thyroid	N	N	N(13hr)
19	M/51	Lt. adrenal mass(5cm)	Benign adrenal tumor	N	N	-
20	M/46	Rt. thyroid mass(3cm)	Medullary cancer and Papillary cancer of the thyroid	P	P	P(18hr)
21	M/19	Rt. adrenal mass(6cm)	Pheochromocytoma	P	P	P(18hr)

\* : suspicious colonic metastasis of carcinoid tumor in stomach but no mass on abdominal CT

\*\* : recurred neck mass after operation of medullary cancer in thyroid.

P : positive, N : negative, - : not done.

가 발견된 14예, CT 또는 MRI에서 복부 종괴가 발견되어 신경내분비종양과의 감별이 필요했던 4예, 경부 종괴가 발견된 경우에 갑상선 수질암이 의심되거나 수술후 갑상선 수질암의 재발이 의심된 각각 1예, 그리고 위암이 의심되어 위절제술 시행후 유암종(carcinoid)으로 진단되었고 설사 등 임상 증상으로 인해 복부 CT상에 종괴가 발견되지는 않았지만 유암종의 대장 전이가 의심된 1예로 총 21예를 대상으로 I-123 MIBG 스캔을 시행했다. 남자가 11명, 여자가 10명이었으며, 연령은 19세에서 66세로 평균 46세였다 (Table 1).

환자 전 처치로 MIBG 섭취에 장애를 주는 약제 투여를 중단하고 갑상선의 요오드 흡수를 막기 위해 Lugol 용액 3ml를 180ml의 물에 희석시켜 검사 전 날부터 하루 3회 복용시켰다. I-123 MIBG는 10mCi

(370MBq)를 20-30초에 걸쳐 서서히 정맥주사 하였다. I-123 MIBG는 원자력 병원에서 공급받아서 사용했으며 TLC에 의한 표지 효율은 99%이상이었다. 모든 예에서 주사후 4시간에 중에너지 조준기(medium energy general purpose collimator)를 부착한 2중 헤드 감마카메라(Trionix, Biad Xlt 24)로 전신 평면 영상을 얻고 곧바로 이어서 병변이 의심되는 부위를 중심으로 3중 헤드 회전형 카메라(Trionix, Triad Xlt 20)로 SPECT를 시행했다. 17예에서 다음날 13시간에서 24시간 사이에 병변이 의심되는 부위를 중심으로 지연 평면 영상을 얻었다.

스캔의 판독은 임상적 정보와 CT 또는 MRI의 소견을 아는 상태에서 핵의학 전문 의사 2명이 각각 판독하였으며 의견이 일치되지 않는 경우 합의를 이루어 판정하였다. CT 또는 MRI상 복부 또는 경부 종괴부

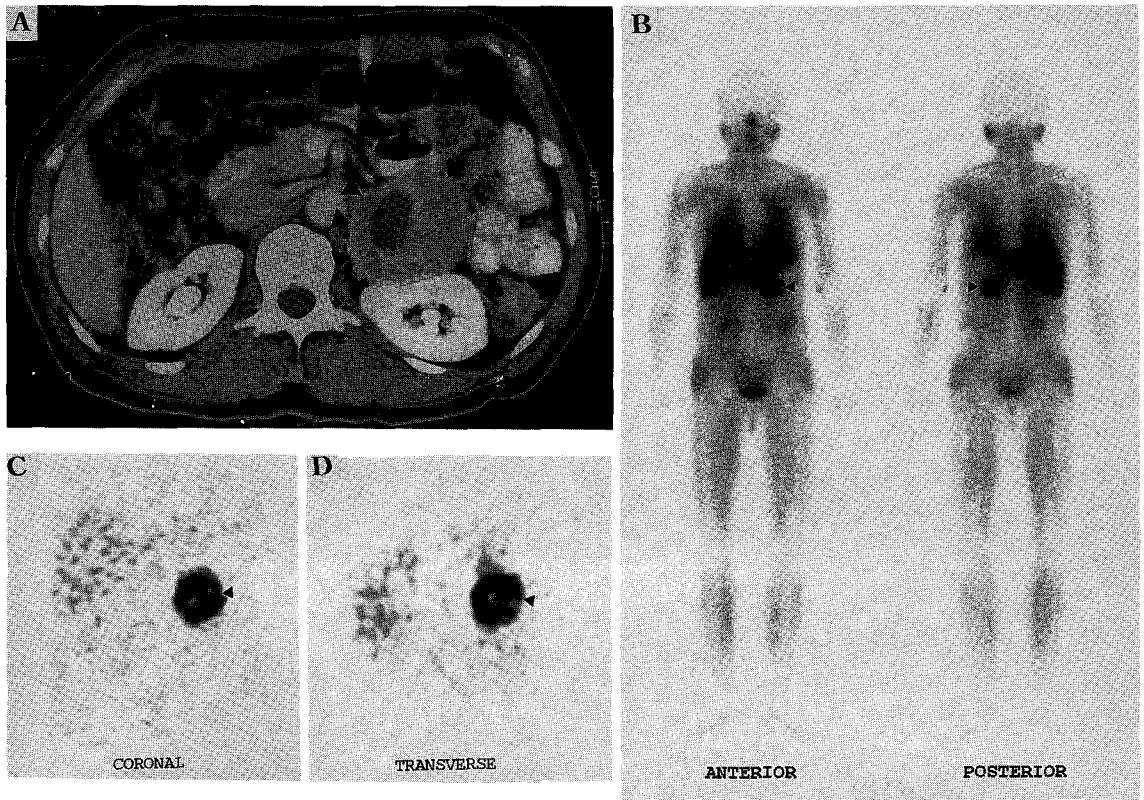


Fig. 1. A case of 53-year-old woman with pheochromocytoma. (A) Abdominal CT shows left adrenal mass (about 5cm). (B) On I-123 MIBG 4hr planar image, there is a round increased uptake in left upper quadrant of abdomen. (C, D) 4hr SPECT coronal and transverse images show increased uptake in matching lesion on abdominal CT(True Positive).

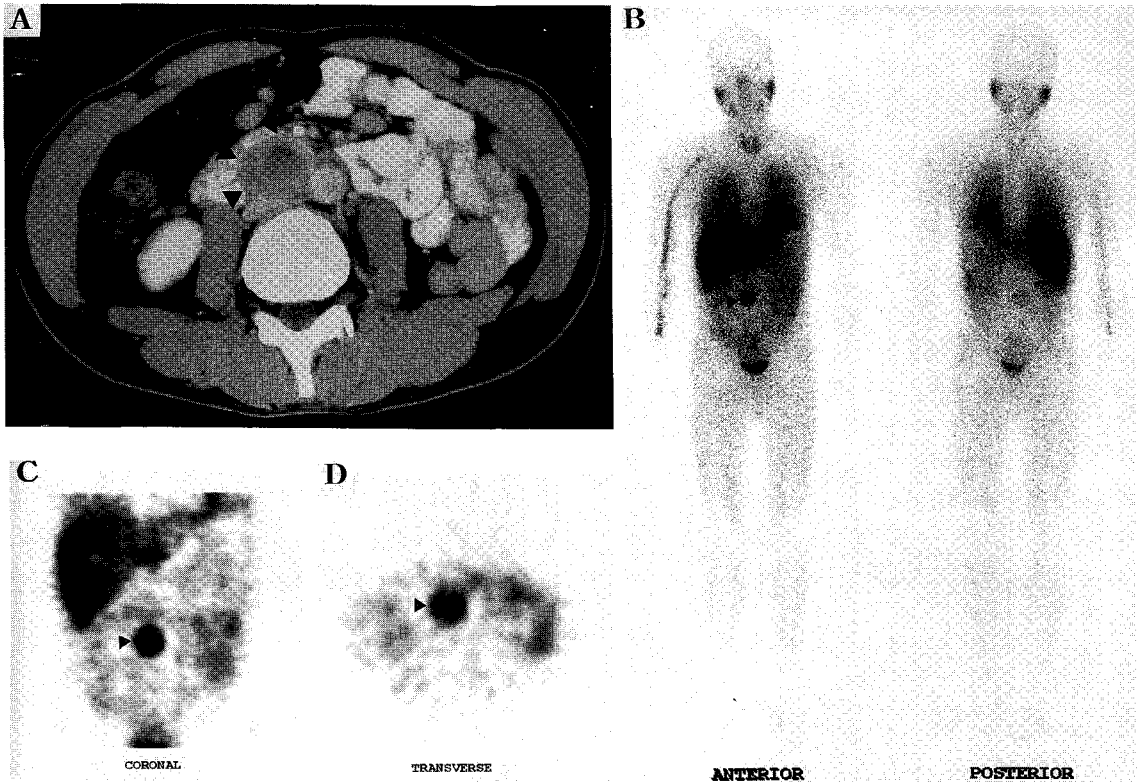


Fig. 2. A case of 46-year-old man with paraganglioma.

(A) Abdominal CT shows an aorticocaval huge mass(6cm). (B) On I-123 MIBG 4hr planar image, there is a round increased uptake in mid abdomen. (C, D) 4hr SPECT coronal and transverse images also show increased uptake in aorticocaval area(True Positive).

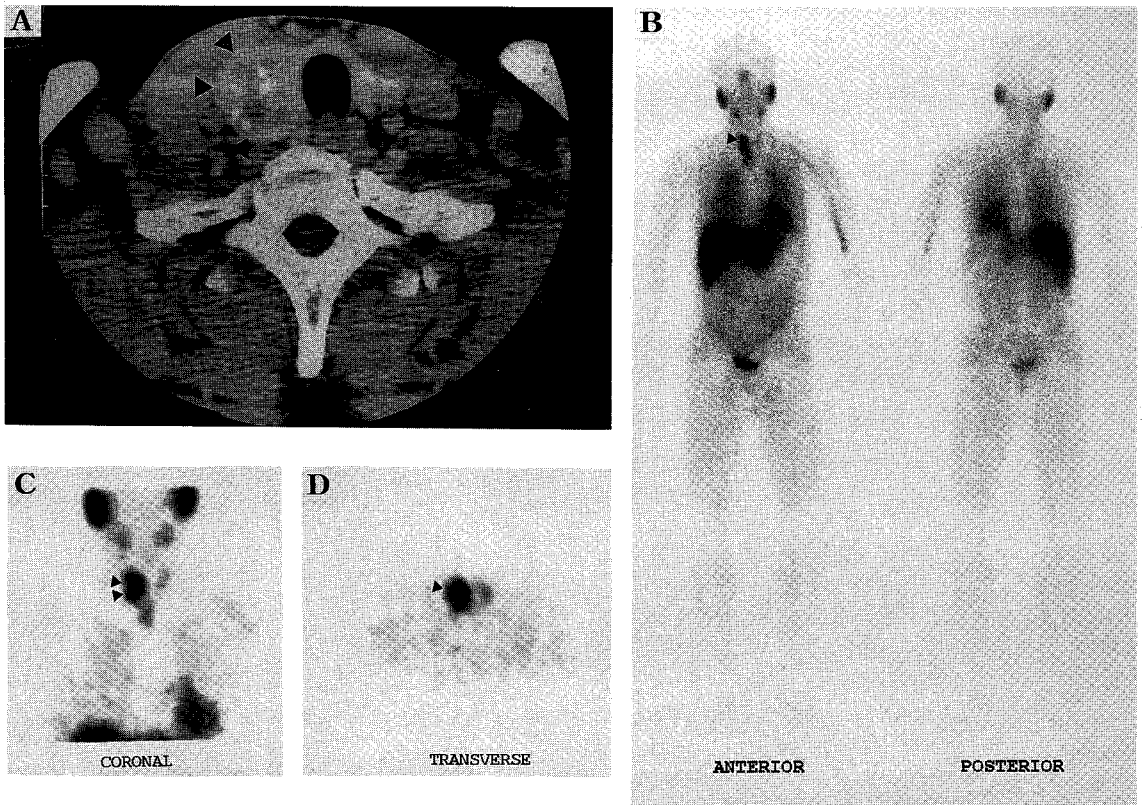
위에 일치하여 I-123 MIBG의 섭취가 증가된 경우를 양성으로 판정했고, 종괴 또는 종괴가 의심된 부위에 섭취 증가가 관찰되지 않는 경우와 냉소로 보인 경우는 음성으로 보았다.

확진은 21예중 16예는 수술과 조직생검에 의해 이루어졌으며, 5예는 임상적 경과 및 방사선학적 추적 검사로 이루어졌다.

## 결 과

전체 21예 중 12예에서 수술을 통해 신경내분비종양으로 확진되었고 4예는 수술 또는 조직생검으로 다른 악성 또는 양성 종양으로 판명되었다. 나머지 5예는 우연히 발견된 무증상의 복부 종괴가 있었던 환자들이 생화학적 검사 결과 모두 지속적으로 정상이며 9

개월 이상 추적 시행한 방사선검사상 종괴의 크기 변화가 없어서 신경내분비종양이 아닌 다른 양성 종양으로 확진하였다(Table 1). I-123 MIBG의 4시간 전신 평면 영상과 SPECT 영상을 분석했을 때, 신경내분비종양으로 확진된 12예 중 9예 즉 갈색세포종 6예, 부신경절종 1예, 신경아세포종 1예, 및 갑상선 수질암 1예는 CT 또는 MRI상의 종괴와 일치하여 I-123 MIBG 스캔 상에서 섭취 증가를 보여 진양성 소견을 보였다(Fig. 1-3). 그러나 3예는 위음성으로 수술후 재발된 갑상선 수질암 1예, 유암종의 간 전이 1예, 및 신경절세포종 1예에서는 스캔에서 섭취 증가가 없었다(Fig. 4). 신경내분비종양외 다른 종양으로 확인된 9예 중 8예, 즉 수술로 진단된 부신피질 선종과 악성 섬유성 조직구증(malignant fibrous histiocytoma) 각각 1예, 복부 CT에서 종괴가 관찰되지는 않았지만



**Fig. 3.** A case of 46-year-old man with medullary cancer of the thyroid.  
 (A) Neck CT shows a right thyroid mass (about 3cm). (B) On I-123 MIBG 4hr planar image, there is a increased uptake in right side of neck. (C, D) 4hr SPECT coronal and transverse images show increased uptake in same area on neck CT (True Positive).

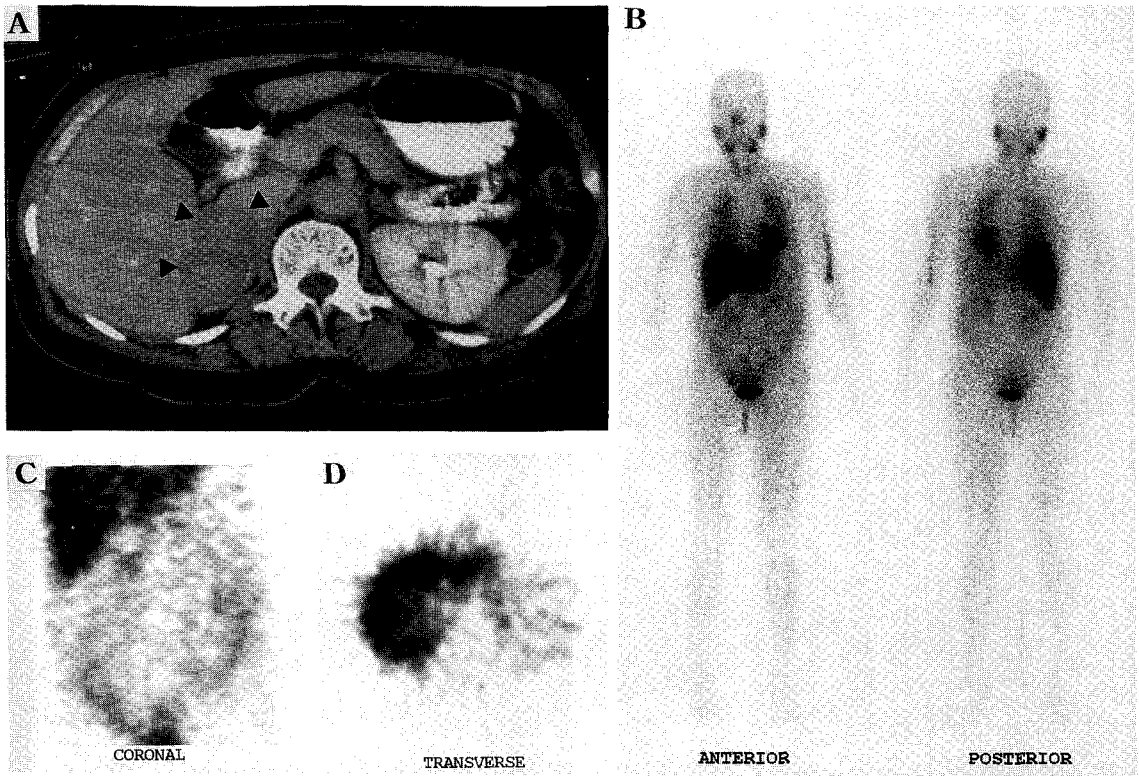
설사 등 임상 증상으로 인해 유암종의 대장 전이가 의심되었던 예, 대장 내시경 조직생검에서 대장 선종 (adenoma in colon)으로 확진된 1예, 임상 추적 검사에서 비기능성 부신 양성 종양으로 여겨진 5예에서 I-123 MIBG 섭취를 보이지 않아 진음성으로 판정하였다. 또한 I-123 MIBG 스캔의 위양성은 1예로 간암 병변에서 섭취 증가를 보였다. 전체적으로 신경내분비종양 진단에 있어서 I-123 MIBG 스캔의 예민도는 75%, 특이도는 89%였다 (Table 2). 하지만 갈색세포종과 부신경절종은 모든 예에서 양성 소견을 보여 100% 예민도를 나타내었다.

SPECT 영상은 4시간 조기 평면 영상에서 I-123 MIBG의 애매한 섭취를 보이는 병변을 확인하거나 또는 섭취 증가를 보이는 병변부위를 CT 또는 MRI와 상호 비교하기에 용이했고, 특히 병소가 냉소로 보

일 때는 병소를 확인하는데 도움이 되었다. 하지만 4시간 조기 영상에서 보이지 않던 병소가 SPECT에서 새로 발견된 예는 없었다. 지연 영상은 모두 17예에서 얻었고, 이 중 양성 소견을 보였던 8예중 5예에서 중앙 배후 방사능의 비가 증가하여 병변을 확인하는데 도움이 되었지만, 4시간 조기 영상에서 음성인 예가 지연 영상에서 양성으로 나타난 경우 또는 양성이었던 예가 음성이 된 경우는 없었다.

### 고 찰

신경내분비종양을 진단함에 있어 I-123 MIBG는 순수 감마 선원으로 우수한 감마카메라 영상을 얻을 수 있어서 I-131 MIBG에 비해 적합하지만, 싸이클로 트론을 이용해야 함으로 구하기 어렵고 가격이 비싼



**Fig. 4.** A case of 52-year-old woman with adrenal cortical adenoma. (A) Abdominal CT shows a right suprarenal mass(about 5cm). (B) On I-123 MIBG 4hr planar image, there is no abnormal uptake in right suprarenal area. (C, D) 4hr SPECT coronal and transverse show no increased uptake(True Negative).

**Table 2. The Results of I-123 MIBG Scintigraphy in Detecting Neuroendocrine Tumor**

	positive	negative
neuroendocrine tumor	9	3
other tumor	1	8

sensitivity : 75%, specificity : 89%

단점으로 인해 임상적으로 널리 사용되지 못하고 있고, 신경내분비종양의 진단에서의 유용성에 대한 임상 연구도 보고된 바가 드물다<sup>3-4)</sup>. 본 연구는 최근에 국내에서 I-123 MIBG가 생산되어 종래에 비하여 쉽게 이용 가능해졌기에 이를 신경내분비종양의 진단에 이용하고 특히 조기 4시간 전신 평면 영상과 SPECT 영상을 시행하여 임상적 유용성을 평가하고자 시행하였다.

I-131 MIBG는 일반적으로 신경내분비종양에 섭취가 되나 종양 종류에 따라 양성도가 다르게 보고되고 있다. 신경내분비종양 중에서 갈색세포종, 신경아세포종, 부신경절종에서 I-131 과 I-123 MIBG 스캔의 예민도는 80-90%로 알려져있다. 그 외 다른 신경내분비종양 경우는 예민도가 낮아서 I-131 MIBG 스캔으로 유암종을 10예 중 4예, 갑상선 수질암을 5예 중 1예로 진단한 보고가 있고<sup>1)</sup>, Hoefnagel 등은 I-131 MIBG 스캔상 유암종은 44-71%, 갑상선 수질암은 26-54%의 예민도를 보인다고 보고한 바 있다<sup>2)</sup>. 이 연구에서는 신경내분비종양으로 확진된 12예 중 9예를 양성으로 진단했는데 특히 갈색세포종 6예와 부신경절종 1예는 모두 양성으로 진단되어 I-123 MIBG 4시간 영상 역시 이와 같은 종양에서 높은 예민도를 보인다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 그 밖의

갑상선 수질암, 유암종 등 여러 종류의 신경내분비종양이 포함되어 전체 신경내분비종양에 대한 I-123 MIBG 4시간 조기 영상과 SPECT 영상의 민감도와 특이도는 각각 75%, 89%을 보였지만, 향후 종양의 종류에 따른 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

I-131 MIBG 스캔은 주사후 24시간과 48시간 또는 72시간에 영상을 얻는 방법이 보편적으로 이용되고 있는데, I-123 MIBG의 경우 아직 적절한 촬영 시간에 대해서는 보고자마다 의견을 달리하고 있다. Antony 등은 개발한 악성 갈색세포종의 골 전이를 5시간 영상에서는 발견했지만 24시간 영상에서는 I-123 MIBG 섭취가 없었던 예를 보고하면서 4-6시간 조기 영상을 강조했고<sup>7)</sup>, 반면 Paltiel 등은 흉복부 병소의 경우 55%에서 48시간에 24시간에 비해 병변부위를 더 잘 볼 수 있었다고 보고했다<sup>3)</sup>. 본 연구에서는 4시간 전신 영상에서 양성인 7예 중 5예에서 12-24시간 지연 영상에서 종양 대 배후 방사능의 비가 증가하여 병변을 확인하는데 도움이 되었지만 4시간 영상에서 섭취증가가 없는 경우 지연 영상에서 섭취 증가를 보인 예는 없었다. 또한 4시간 영상에서 양성이었던 예가 지연 영상에서 음성이 된 경우는 없었으므로 지연 영상이 진단에 변화를 주지는 않았다. 따라서 4시간 조기 영상과 지연 영상의 진단에는 큰 차이가 없을 것으로 생각되며, 이와 같이 조기에 검사를 끝낼 수 있다면 I-131 MIBG 스캔이 적절한 영상을 얻기까지 최소한 주사후 24시간 또는 48시간이 걸리는 단점에 비해, I-123 MIBG는 I-131 MIBG 스캔에 비하여 큰 장점으로 생각된다. 다만 간암 병변에서 4시간 조기 영상에서 I-123 MIBG의 섭취를 보여 위양성을 나타내었던 1예에서는 지연 영상을 시행하지 못했는데, 이 경우 만약 지연 영상을 시행했다면 섭취 정도가 변화했을 가능성도 있으므로 추후 더 많은 예의 연구가 요구된다.

한편 Gelfand 등은 신경릉 종양(neural crest tumor)의 진단에 I-123 MIBG SPECT가 평면 영상에 비해 더 많은 병소를 발견하지는 못했지만, 평면 영상만으로 I-123 MIBG 스캔을 판독하는 경우에 비해 SPECT 단독 또는 평면 영상과 함께 판독시 진단에 큰 도움이 된 경우를 보고하였다<sup>6)</sup>. 본 연구에서도 4시간 SPECT 영상을 시행하였을 때 4시간 조기 전

신 영상보다 추가로 병소를 발견한 예는 없어서 진단에 변화는 없었으나, 4시간 전신 평면 영상에서 병소가 정상적인 I-123 MIBG을 보이는 장기에 의해 구분이 어렵거나, CT 또는 MRI와 상호 비교할 때 용이했다. 그리고 평면 영상에서 애매한 섭취를 보이거나 냉소로 보이는 경우에도 큰 도움이 되었다. 그의 Ga-67 또는 Tl-201 등 여러 가지 방사성 화합물을 이용한 종양 진단에 있어서 SPECT가 평면 영상에 비해 우수하다고 보고되고 있으며<sup>8-11)</sup>, 앞으로 여러 종양의 진단에 SPECT 영상의 유용성은 점차 증가될 것으로 기대된다.

이 연구에서는 Tellurium(Te-124)표적을 사용하여 원자력 병원에서 생산한 I-123 MIBG를 사용했다. Tellurium이 표적으로 이용되는 경우는 외국의 경우 Xenon-124 표적을 사용하는 경우에 비해 고에너지 동위원소인 I-124의 비율이 높고, I-123의 순도가 감소하여 영상 질에 차이가 나는 것으로 알려져있다<sup>12)</sup>. 따라서 Te-124 표적을 사용하는 경우는 Xenon 표적을 사용한 I-123과 달리 낮은 에너지용 조준기를 사용하는 것보다 중간 에너지용 조준기를 사용함으로써 영상의 질이나 영상 대조도를 보완할 수 있다는 보고가 있다<sup>13)</sup>. 이 연구에서도 중간 에너지용 조준기를 사용했으며, I-123 MIBG 스캔에 있어서는 양질의 영상을 얻기 위해 이와 같은 I-123의 생산 방법에 따라 적절한 조준기의 선택이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

결론적으로 I-123 MIBG를 이용한 4시간 조기 영상은 신경내분비종양의 진단에 유용했고, SPECT 영상으로 다른 영상매체와 비교가 용이하였다.

### 요 약

**목적 :** 신경내분비종양 진단에 대한 I-123 MIBG 스캔의 4시간 조기 영상과 SPECT 영상의 임상적 유용성을 평가하고자 시행하였다.

**대상과 방법 :** CT 또는 MRI를 시행하여 신경내분비종양이 의심되었던 21예를 대상으로 I-123 MIBG 스캔을 시행하였으며 4시간에 전신 평면 영상과 SPECT 영상을 얻고, 17예에서는 12-24시간 사이에 지연 평면 영상도 얻었다.

**결과 :** 21예중 12예에서 신경내분비종양으로 확진

되었고, 4시간 I-123 MIBG 스캔의 진단적 예민도는 75%, 특이도는 89%였다. SPECT 영상은 CT나 MRI와의 비교 분석에 용이하였다. 지연 영상은 일부 진양성을 소견을 보인 예에서 종양 대 배후 방사능의 비가 증가하여 병변확인에 도움이 되었으나 4시간 평면 영상과 진단율에 차이는 없었다.

**결론** : I-123 MIBG 스캔은 4시간 조기 영상으로도 신경내분비종양의 진단에 유용했으며, SPECT 영상은 다른 진단매체와의 비교 분석이 용이하였고 향후 종양의 종류에 따라 더 많은 예의 연구가 필요할 것으로 생각하였다.

## REFERENCES

- 1) Moll LV, McEwan AJ, Sharpiro B, Sisson JC, Gross MD, Lloyd R, Beals E, Beierwaltes WH, Thompson NW: *Iodine-131 MIBG scintigraphy of neuroendocrine tumors other than pheochromocytoma and neuroblastoma. J Nucl Med 1987;28:979-988*
- 2) Hoefnagel CA: *Metaiodobenzylguanidine and somatostatin in oncology: role in the management of neural crest tumours. Eur J Nucl Med 1994;21:561-581*
- 3) Mozley PD, Kim CK, Mohsin J, Jatlow A, Gosfield E III, Alavi A: *The efficacy of Iodine-123 MIBG as a screening test for pheochromocytoma. J Nucl Med 1994;35:1138-1144*
- 4) Gelfand MJ: *Meta-Iodobenzylguanidine in children. Semin Nucl Med 1993;23(3):231-242*
- 5) Troncone L, Rufini V, Montemaggi P, Dana FM, Lasorella A, Masrangelo R: *The diagnostic and therapeutic utility of radioiodinated metaiodobenzylguanidine(MIBG). Eur J Nucl Med 1990;16:325-335*
- 6) Freitas JE: *Adrenal cortical and medullary imaging. Semin Nucl Med 1995;25(3):235-250*
- 7) Antony KW, Roach PJ: *Bone metastasis in pheochromocytoma optimal timing of I-123 MIBG scintigraphy. Clin Nucl Med 1996;21(4):316-318*
- 8) Paltiel HJ, Gelfand MJ, Elgazzar AH, Washburn LC, Harris RE, Masters RE, Golsch GJ: *Neural crest tumors: I-123 MIBG imaging in children. Radiology 1994;190:117-121*
- 9) Gelfand MJ, Elgazzar AH, Kriss VM, Masters PR, Golsch GJ: *Iodine-123 MIBG SPECT versus planar imaging in children with neural crest tumors. J Nucl Med 1994;35:1753-1757*
- 10) Rossleigh MA, Provan I, Mackey DWJ, Bargwanna KA, Nayanar VV: *Pediatric solid tumors: evaluation by Gallium-67 SPECT studies. J Nucl Med 1990;31:168-172*
- 11) Charkes ND, Vitti RA, Brooks K: *Thallium-201 SPECT increases detectability of thyroid cancer metastasis. J Nucl Med 1990;31:147-153*
- 12) 이종두: 국내 방사선 핵종 생산 동향. *대한의학회지 1994;28(1):1-5*
- 13) 김희중, 손혜경, 봉정균, 남기표, 이희경: *Te-124 Target*으로 생산된 I-123 SPECT영상에서의 조준기 선택. *대한의용공학회지 1996;18(1):45-48*