

Original Article

SPECT/CT에서 감쇠 보정 및 위치 정보의 유용성 평가

서울아산병원 핵의학과

최종숙 · 정우영 · 신상기 · 조시만

The Usefulness Assessment of Attenuation Correction and Location Information in SPECT/CT

Jong Sook Choi, Woo Young Jung, Sang Ki Shin, Shee Man Cho

Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: We make a qualitative analysis of whether Fusion SPECT/CT can find lesion's anatomical sites better than existing SPECT or not, and we want to show the usefulness of SPECT/CT through finding out effects of CT attenuation correction on SPECT images. **Materials and Method:** 1. The evaluation of fusion images: This study comprised patients who was tested ^{131}I -MIBG, Bone, ^{111}In -Octreotide, Meckel's diverticulum, Parathyroid MIBI with Precedence 16 or Symbia T2 from 2008 Jan to Aug. We compared SPECT/CT image with non fusion image and make a qualitative analysis. 2. The evaluation of attenuation correction: We classified 38 patients who was tested ^{201}Tl myocardial exam with Symbia T2 into 5 sections by using Cedars Sinai' QPS program - Ant, Inf, Lat, Septum, Apex. And we showed each section's perfusion states by percentage. We compared the each section's perfusion-states differences between CT AC and Non AC by average $\pm$ standard deviation. **Results:** 1. The evaluation of fusion images : In high energy ^{131}I cases, it was hard to grasp exact anatomical lesions due to difference between regions and surrounding lesions' uptake level. After combining with CT, we could grab anatomical lesion more exactly. And in meckel's diverticulum case or to find lesions around bowels or organs with ^{111}In cases, it demonstrates its superiority. Bone SPECT/CT images help to distinguish between disk spaces certainly and give correct results. 2. The evaluation of attenuation correction: There is no significant difference statistically in Ant and Lat ($p>0.05$), but there is a meaningful difference in Inferior, Apex and Septum ($p<0.05$). AC perfusion at inferior wall in the 5 sections of myocardium: The perfusion difference between Non AC perfusion image (68.58 ± 7.55) and CT corrected perfusion image (76.84 ± 6.52) was the largest by 8.26 ± 4.95 ($p<0.01$, $t=10.29$). **Conclusion:** Nuclear medicine physicians can identify not only molecular image which shows functional activity of lesions but also anatomical location information of lesions with more accuracy using the combination of SPECT and CT systems. Of course this combination helps nuclear medicine physician find out the abnormal parts. Moreover combined data sets help separate between normal group and abnormal group in complicated body part. So clinicians can carry out diagnosis and treatment planning at the same time with a single test image. In addition, when we examine a myocardium in thorax where attenuation can occur easily, we can trust perfusion more in a certain region in SPECT test because CT provides the capability for accurate attenuation correction. In these reasons, we think we can prove the justice after treatment fusion image. (Korean J Nucl Med Technol 2008;12(3):214-221)

Key Words : SPECT/CT, Fusion image, Attenuation correction

• Received: September 30, 2008, Accepted: October 16, 2008.
• Corresponding author: Woo Young Jung
Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, 388-1
Pungnap-2dong Songpa-gu, Seoul, 138-736, Korea
Tel: +82-2-3010-4562, Fax: +82-2-3010-4588
E-mail: wyjung@amc.seoul.kr

서론

질병을 진단하고 치료 계획을 세우기 위해 컴퓨터 단층 촬영(CT), 자기공명영상(MRI), 초음파, 핵의학 등의 다양한 검

사 방법이 사용된다. 구조적이고 형태적인 영상을 얻기 위해서는 CT, MRI, 초음파를 검사하게 되고 기능적이거나 분자학적인 영상을 얻기 위해서는 양전자단층촬영(PET), 단일광자단층촬영(SPECT) 등을 검사하게 된다.¹⁾ SPECT는 기능적이고 분자학적인 영상을 획득하는데 있어 우수하나 병소의 위치 결정이 어렵기 때문에 정확한 위치 측정을 위해 CT나 MRI를 추가적으로 검사를 하는 불편함이 있었다. 또한 공간적 위치에서의 방사선 방출 감쇠로 인해, 심부에 있는 병소의 기능적 활성도를 신뢰하기는 미흡하였다.

이전의 SPECT/CT 장비는 이중검출기(dual head)를 이용한 SPECT와 저선량(low dose)의 비진단적 CT가 병행되어 상업화 되었다. 이것은 감쇠 보정에는 효과가 있었으나 CT의 진단적 가치가 떨어지고 호흡에 의한 허상(artifact) 때문에 CT와 SPECT에 불일치가 문제로 남아 있었다. 그러나 최근의 SPECT/CT 장비는 SPECT에 나선형 CT를 추가함으로써 감쇠 보정 및 병소의 정확한 위치 정보를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 치료 예후의 정당성을 입증할 수 있게 되었다.^{2,5)}

2008년 서울아산병원 핵의학과에 Philips사의 Precedence 16과 Siemens사의 Symbia T2 SPECT/CT가 국내 최초로 도입 되었다. 이 두 대의 SPECT/CT로 촬영한 영상과 SPECT

만 촬영한 영상을 비교 분석하여 SPECT/CT의 유용성을 제시하고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 융합 영상(Fusion image)의 평가

2008년 1월에서 8월까지 Precedence 16 혹은 Symbia T2에서 ¹³¹I-전신 스캔, ¹³¹I-MIBG, ^{99m}Tc-DPD (Bone), ¹¹¹In-Octreotide, ^{99m}Tc-MIBI (Parathyroid) 등을 촬영한 환자를 대상으로 하였다(Table 1~6). ¹³¹I-전신 스캔은 갑상선으로부터 발생한 암을 치료 한 후 치료 효과를 확인하거나 갑상선으로부터 발생한 암의 전이를 진단하는 경우에 시행된다. 전신 영상에서 의미 있는 집적을 보이면 핵의학 전문의의 확인 하에 정확한 진단 정보 및 치료 효과를 확인하기 위해 SPECT를 추가적으로 촬영하고 있다. 맥켈계실 검사는 1시간 동안 복부를 중심으로 정적 검사를 시행한 후 병변이 발견되면 정확한 병변의 위치 파악을 위해 SPECT를 추가한다. Bone SPECT는 대부분 정형외과나 신경외과에서 스캔과 SPECT를 동시에 처방을 의뢰하나, 정형외과 외의 다른 과에서는 암

Table 1. Precedence 16 SPECT acquisition parameter

Region	Matrix size	Frame	Isotope	Collimator	Mode
Parathyroid	128	64 frame (40 Sec/F)	^{99m} Tc-MIBI	LEHR	Step & shoot
Meckel diverticulum	128	90 frame (20 Sec/F)	^{99m} TcO ₄ ⁻	LEHR	Step & shoot
Neuroblastoma	128	64 frame (40 Sec/F)	¹³¹ I-MIBG	MEGP	Step & shoot

Table 2. Precedence 16 CT acquisition parameter

Region	Topo gram	kVp	mA	Rotation Speed(s)	Thickness (mm)	Pitch	Increment (mm)
Parathyroid	Y	120	50	0.5	3.3	0.625	3
Meckel diverticulum	Y	120	80	0.5	5	0.875	5
Neuroblastoma	Y	120	50	0.5	3.3	0.625	3

Table 3. Precedence 16 reconstruction parameter

Region	Reconstruction	Iterations	Subsets	Filter	cutoff
Parathyroid	Astonish	4	16	Hanning	1.0
Meckel diverticulum	Astonish	4	16	Hanning	1.0
Neuroblastoma	Astonish	4	16	Hanning	1.0

Table 4. Symbia T2 SPECT acquisition parameter

Region	Matrix size	Step Durations	Isotope	Collimator	Mode
Bone	128	64 frame (20 Sec/F)	^{99m} Tc-DPD	LEHR	Non Circular
Thyroid	128	64 frame (40 Sec/F)	¹³¹ I	MEGP	Non Circular
Myocardiac	128	32 frame (50 Sec/F)	²⁰¹ Tl	LEAP	Non Circular

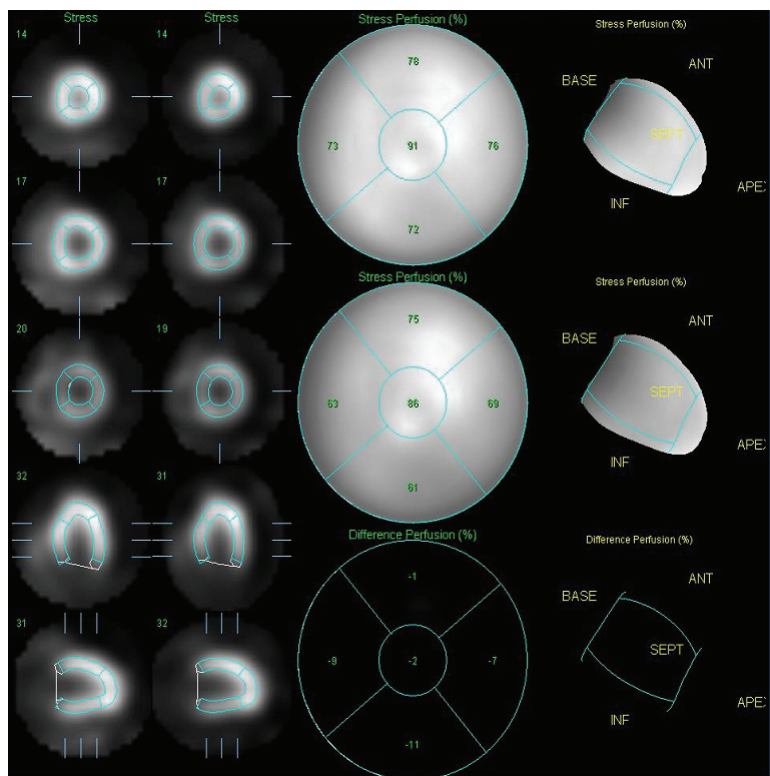


Fig. 1. Comparison of CT AC and Non AC. ^{201}Tl myocardial exam with Symbia T2 into 5 sections by using Cedars Sinai's QPS program - Ant, Inf, Lat, Septum, Apex.

의 전이와 골절을 구별하기 위해 추가적으로 촬영하는 경우도 있다. 신경내분비 종양을 진단하는 ^{131}I -MIBG, 내분비 종양을 진단하는 ^{111}In -Octreotide, 부갑상선 종양 및 부갑상선 항진증을 진단하는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI 검사는 스캔 및 SPECT를 동시에 촬영하고 있다.

위에 제시한 검사들의 융합 영상 평가를 위해 Non AC로 (CT로 감쇠 보정을 하지 않은 것) 영상을 재구성(Reconstruction)한 다음 SPECT와 CT를 융합한 것과 융합하지 않은 SPECT 영상을 비교하여 정성 평가하였다.

2. 감쇠 보정의 평가

2008년 6월부터 8월까지 서울아산병원 핵의학과를 방문하여 Symbia T2로 ^{201}Tl 심근 검사를 한 38명의 환자를 임의로 선택하였다(Table 4~6). 심근 부하를 한 상태에서 촬영한 심근 영상을 Cedars-Sinai의 QPS를 이용하여 Ant, Inf, Lat, Septum, Apex로 다섯 부분으로 분류하였고(Fig. 1), 각 부분에 대한 관류의 상태를 백분율로 산출했다. CT AC (CT로 감쇠 보정 시행한 것)와 Non AC를 평균±표준편차로 산출하여 각 부분에 대한 관류 상태를 비교하여 차이를 분석하였다.

Table 5. Symbia T2 CT acquisition parameter

Region	Topo gram	kVp	mA	Rotation Speed(s)	Thickness (mm)	Pitch	Increment (mm)
Bone	Y	120	50	1.5	3	1.5	3
Thyroid	Y	120	70	0.8	3	1.8	3
Myocardiac	Y	130	60	1.5	5	0.8	5

Table 6. Symbia T2 reconstruction parameter

Region	Reconstruction	Iterations	Subsets	Filter	FWHM
Bone	Flash 3D	6	8	Gaussian	9
Thyroid	Flash 3D	6	8	Gaussian	8
Myocardiac	Flash 3D	16	4	Gaussian	13

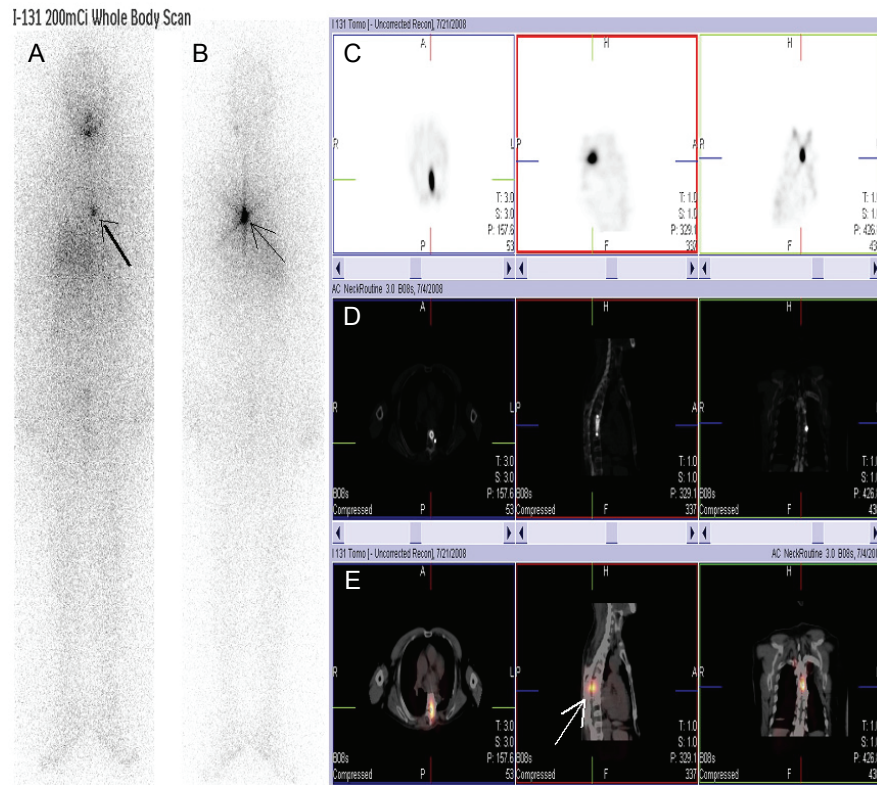


Fig. 2. Exact delineation of focal chest ^{131}I uptake in patient with differentiated thyroid cancer. (A and B) Planar ^{131}I scintigrams (anterior view [A] and posterior view [B]) showing focal tracer uptake in chest region (arrow). Lesion cannot be definitely assigned as benign or solitary bone metastasis. (C and D) Corresponding CT section (D) and fused SPECT/CT image (E) demonstrating nonspecific tracer uptake in T7 (arrow).

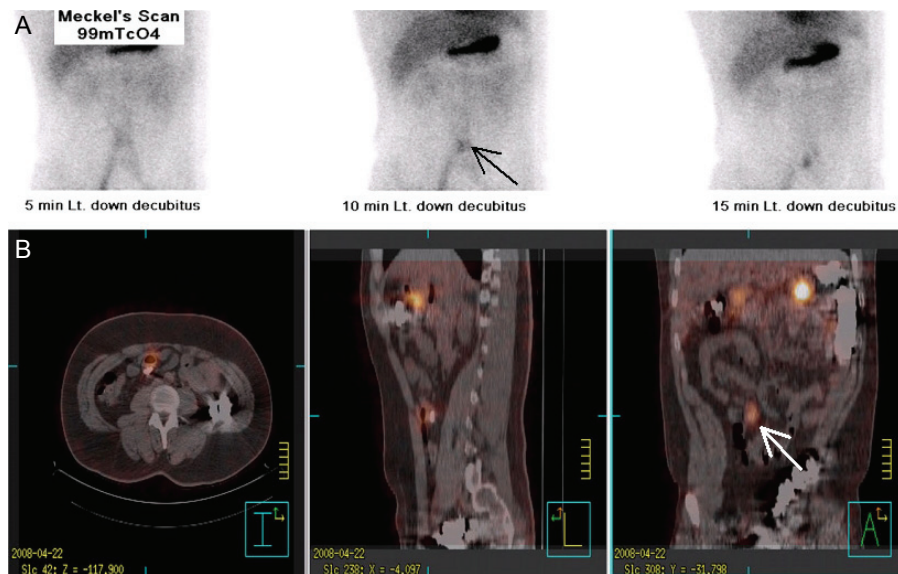


Fig. 3. Diagnosis of Meckel's diverticulum with $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. (A) Planar image showing mildly intense focal lesion extending to lower abdomen area (arrow). Corresponding sections of fused SPECT/CT (B) images showing focal uptake extending to right small bowel, indicating diverticulum.

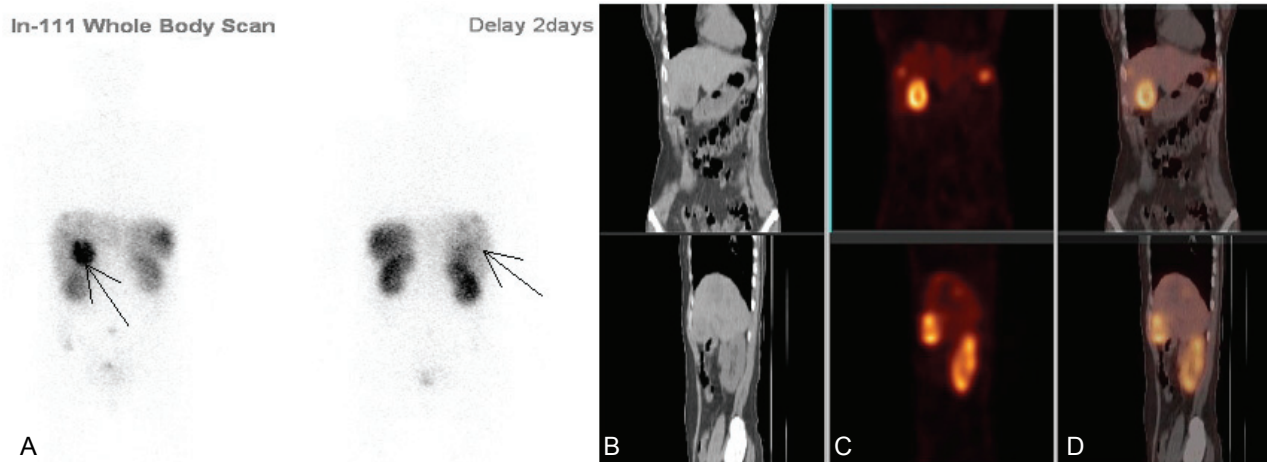


Fig. 4. Diagnosis of carcinoma with ^{111}In -Octreotide scan and SPECT. (A) Planar image showing mildly intense focal lesion extending to liver area (arrow). Corresponding sections of CT (B), SPECT (C), and fused SPECT/CT (D) images showing focal uptake extending to liver, indicating carcinoma.

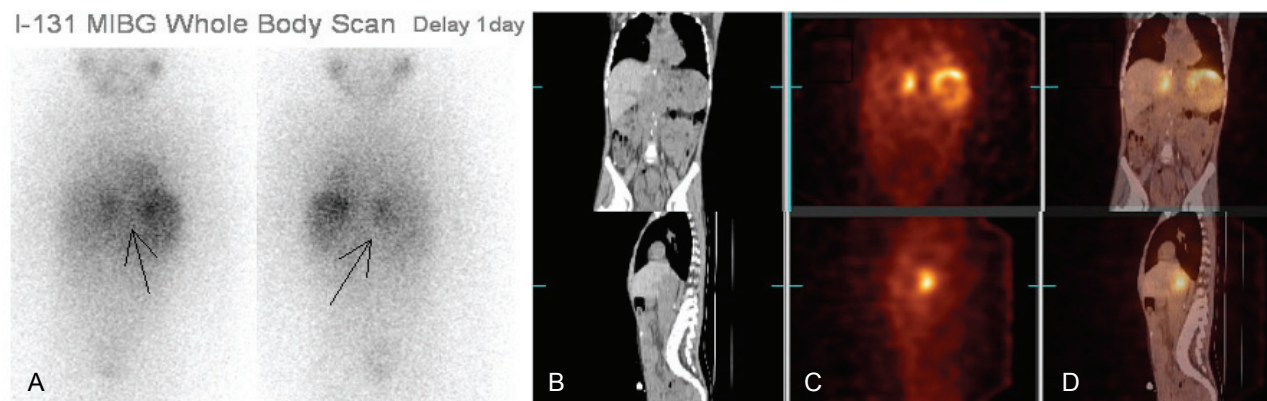


Fig. 5. Diagnosis of neuroblastoma with ^{131}I -MIBG SPECT/CT. (A) Planar image showing mildly intense focal lesion extending to right paravertebral area. (B-D) Corresponding sections of CT (B), SPECT (C), and fused SPECT/CT (D) images showing focal uptake extending to enlarged liver caudate lobe, indicating neuroblastoma.

결 과

1. 융합 영상의 평가

^{131}I -전신 스캔에서 비정상 조직(열소, hot uptake)과 정상 조직간의 집적률 차이로 인해 주위 조직이 포화(saturation)되어 나타나 병소의 위치 파악이 어려운 경우가 있다(Fig. 2). 핵의학과 전문의의 확인 후에 추가적으로 SPECT/CT 촬영한 결과, 흉추 7번 척추체(body)에서 방사성동위원소가 부분적으로 집적되어 나타나 있는 것을 확인할 수 있었다.

정적 스캔에서 위치 파악이 어려웠던 계실의 위치를 SPECT/CT를 촬영하여 영상을 융합한 결과 하복부에 위치한 오른쪽 소장에 맥켈 계실이 있는 것을 알 수 있다(Fig. 3).

SPECT에 CT를 병행하게 되면서 간엽(liver lobe)의 구역

(segment)을 정확히 나눌 수 있는 장점이 생기면서 간으로 전이된 병소를 찾는 경우 정확한 위치 정보를 제공하기 때문에 치료 계획을 세우는데 많은 도움을 주고 있다(Fig. 4, 5).

뼈 SPECT/CT는 기존 SPECT에 비해 척추간의 구별을 확실히 알 수 있게 되었고, 뼈로 종양이 침윤된 정도를 파악하여 양성과 악성을 구별할 수 있게 되었다(Fig. 6).

갑상선을 검사하는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI 검사는 SPECT/CT를 사용함으로써 인접해 있는 갑상선과 정확하게 분리할 수 있게 되어 부갑상선 선종을 찾아내는데 많은 도움을 주고 있다(Fig. 7).

2. 감쇠 보정의 평가

감쇠 보정 전과 후의 심근 관류 백분을 차이가 Anterior, Lateral wall에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

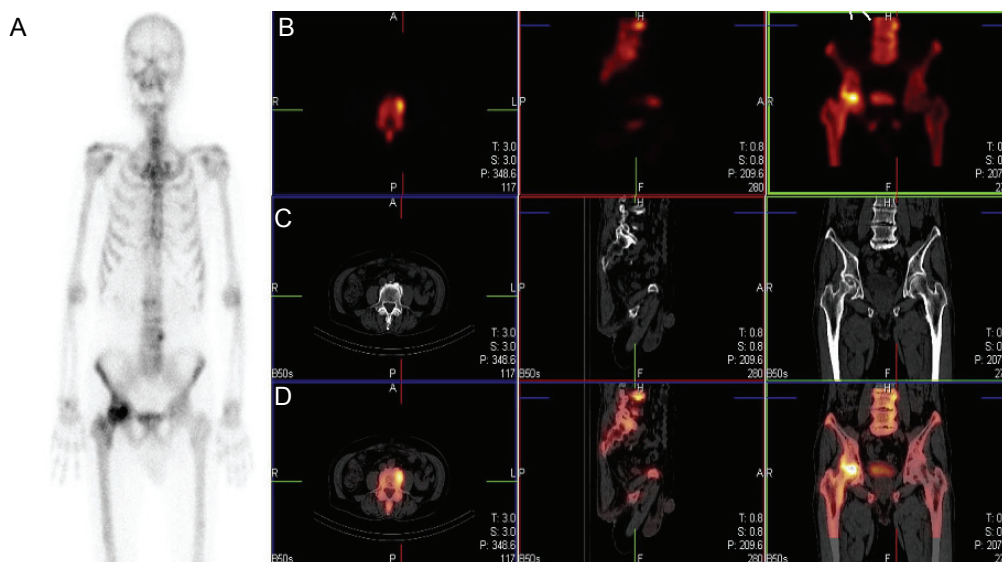


Fig. 6. Patient with Prostate cancer and 2 hot spots, in upper lumbar spine and pelvis. (A and B) Planar scintigrams from skeletal scintigraphy (^{99m}Tc -DPD). (B) Detailed view of pelvis with 2 hot spots (arrows). Transverse section of upper lesion in lumbar vertebra 4, 5. (B) Small osteolytic lesion with intense tracer uptake indicating bone metastasis in lower pelvis. (D) Fused image. Spondylarthrosis of left facet joint with intense tracer uptake indicating degenerative lesion.

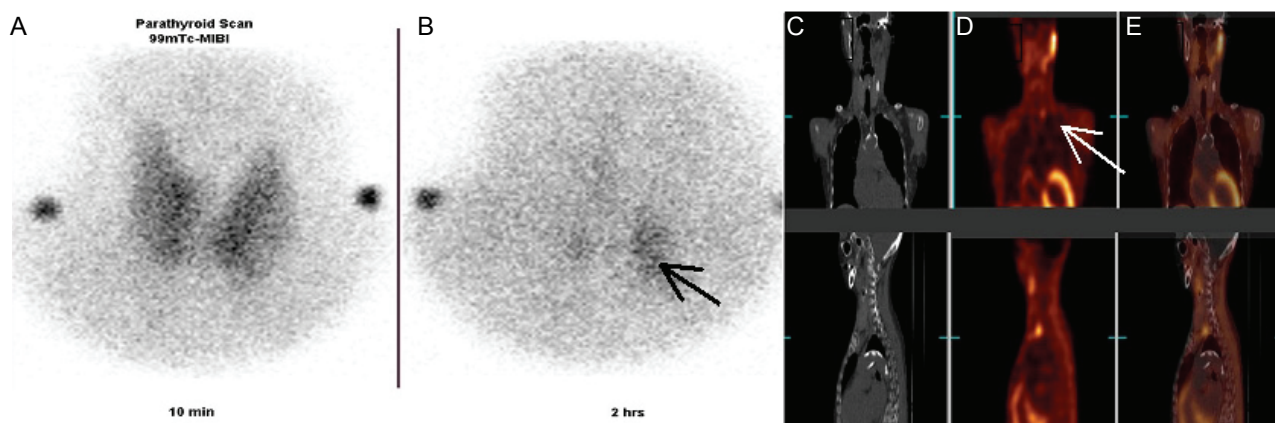


Fig. 7. Parathyroid scintigraphy with SPECT/CT. (A and B) Planar views of ^{99m}Tc -MIBI scintigraphy 10 min (A) and 120 min (B) after ^{99m}Tc -MIBI injection. Arrows indicate lesions. (D) Coronal section of ^{99m}Tc -MIBI SPECT showing mildly intense focal lesion in left lower neck region (arrow). Corresponding CT section (C) and fused image (E) Demonstration of parathyroid adenoma in corresponding coronal SPECT/CT images.

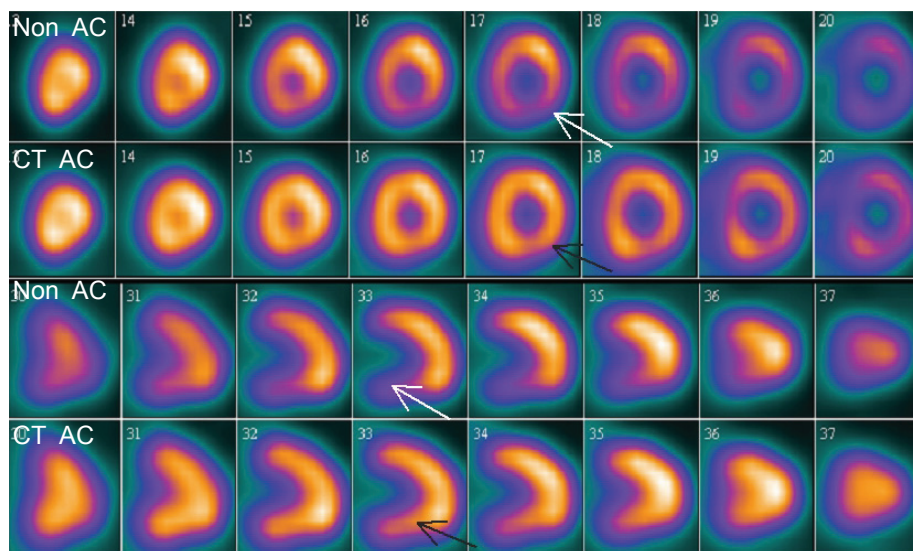
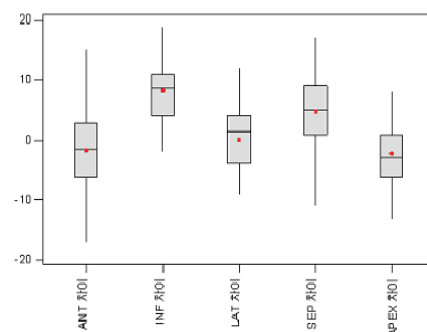
그러나 Inferior, Apex, Septum wall에서는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 차이를 보이는 값 중 가장 심부에 있는 Inferior Wall에서 AC perfusion: $76.84 \pm 6.52\%$, Non AC perfusion: $68.58 \pm 7.55\%$ 로 CT 보정에 의한 차이가 $8.26 \pm 0.80\%$ 로 가장 크게 측정되었다($t=10.29$, $p < 0.01$)(Table 7). 촬영된 영상을 비교하면 Non AC 영상은 허혈 관류 상태를 나타내지만 CT AC영상은 정상 관류의 상태를 보이고 있다(Fig. 8).

고 찰

최근에 소개된 SPECT/CT는 기능적 영상으로 점차적인 발달을 해가고 있다. 국내 최초로 도입된 SPECT/CT를 사용하면서 많은 이점들이 생겼다. 첫째, 정확한 해부학적 정보를 얻을 수 있게 되었다. 기존 SPECT는 병소의 활성도를 나타내는 기능적 영상으로써는 우수하나 정확한 해부학적 정보를 제공하지 못하는 것이 최대 단점이었다. 기능 및 해부학적 정보를 둘 다 얻을 수 있는 SPECT/CT의 개발로 기존 SPECT의 단점을 보완할 수 있게 되었다. 둘째, 감쇠 보정의 효과이다. 관류 상태를 평가하는 심근 검사의 경우 인체 구조에 따

Table 7. Regional radiotracer uptake for noncorrected and attenuation-corrected myocardial perfusion SPECT images

Wall	AC	Non AC	<i>t</i>	<i>p</i>
Ant	77.05±6.21	78.87±5.43	-1.83	0.075
Latl	73.61±5.69	73.53±6.29	0.10	0.918
Apex	75.97±4.98	78.3±6.51	-2.84	0.007
Septum	76.92±5.45	72.21±5.21	4.46	0.000
Inf	76.84±6.52	68.58±7.55	10.29	0.000

**Fig. 8.** Non AC image revealed inferior perfusion defect (white arrow). CT AC image however, correctly revealed minimal nonsignificant perfusion defect (black arrow).

른 방사선 감쇠를 CT로 정확하게 보정하기 때문에 임상적 가
협심증과 심근 경색을 구별할 수 있도록 정확한 정보를 제공
할 것으로 사료 된다. 이러한 장점들에도 불구하고 아직 해결
되지 못한 몇 가지 문제점들이 있다. 우선 CT 장비 및 환자
로부터 발생하는 인공물(artifact)이 감쇠 지도(attenuation map)
를 만드는데 오류를 발생시켜 재구성된 영상의 질을 떨어뜨
리는 경우가 종종 있다. 또한 움직임이 잦은 심근 검사에 경
우 SPECT와 CT의 등록정보(registration)가 맞지 않아 각각
의 영상을 일일이 맞추어야 하는 번거로움이 있는 경우도 있
다. 그리고 CT 슬라이스 수에 따라 다르지만 기존 SPECT에
비해 대략 4배 이상 비싼 장비 가격과 저선량으로 촬영되는
CT지만 환자의 피폭 노출량 문제, CT의 유지관리비 등의
문제점들이 남아 있다. 핵의학 영상 기술을 방사선 영상 장비
와 접목을 시킨 시점에서 CT를 실전으로 접해 보지 못한
핵의학 기술학회 회원들 및 SPECT/CT 실무 담당자를 대상

으로 방사선 영상 장비에 대한 수행 능력 및 정도 관리에
대한 다양한 교육이 필요할 것으로 생각된다.

결 론

SPECT는 기능적이고 분자학적인 영상을 얻기에는 충분
하나 병소의 위치 결정이 어렵기 때문에 정확한 위치 측정을
위해 환자가 CT나 MRI를 추가적으로 검사하는 불편함이 있
었다. 또한 공간적 위치에서의 방사선 방출 감쇠로 인해, 심
부에 있는 병소의 기능적 활성도를 신뢰하기는 미흡하였다.
근래 SPECT에 나선형 CT가 부착되면서 병변의 기능적 활성
도를 나타내는 분자학적 영상은 물론 병변의 해부학적 위치
정보를 보다 정확하게 확인할 수 있게 되었다. 이것은 비정상적
부위를 찾아내는 것에 그치지 않고 복잡한 인체 부위에서
정상군과 비정상군을 분리하는데 많은 도움을 주게 되었다.

따라서 임상적은 하나의 검사 영상으로 진단과 치료 계획을 동시에 시행할 수 있게 되었다. 또한 감쇠가 잘 되는 thorax 부위 안에 있는 심근 검사 시, CT로 보다 정확한 감쇠 보정을 할 수 있기 때문에 위양성을 줄일 수 있어 관류 상태를 더욱 신뢰할 수 있게 되었다. SPECT/CT의 진보적인 발달로 핵의학 검사 시 치료 예후의 정당성을 입증할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

목적 : 융합 SPECT/CT가 기존 SPECT에 비해 병소의 해부학적 위치를 정확히 판단할 수 있는지 정성 평가하고, CT 감쇠 보정이 SPECT 영상에 미치는 효과를 알아보아 SPECT/CT의 유용성을 제시하고자 한다.

실험재료 및 방법 : 1. 융합 영상의 평가 : 2008년 1월부터 8월까지 Precedence 16 혹은 Symbia T2에서 ^{131}I -MIBG, Bone, ^{111}In -Octreotide, Meckel 게실, Parathyroid MIBI 등을 SPECT/CT 시행한 환자를 대상으로 하였고, SPECT/CT영상을 융합한 것과 하지 않은 것을 비교하여 정성 평가하였다. 2. 감쇠 보정의 평가 : Symbia T2로 2008년 6월에서 8월까지 ^{201}Tl 심근 검사를 한 환자 38명을 대상으로 Cedars-Sinai의 QPS를 이용하여 산출하였다. Ant, Inf, Lat, Septum, Apex로 5개 부분으로 분류하고, 각 부분에 대한 관류의 상태를 백분율로 산출했다. CT AC와 Non AC를 평균±표준편차로 각 부분에 대한 관류 상태를 비교하고 차이를 분석하였다.

결과 : 1. 융합 영상의 평가 : 에너지가 높은 ^{131}I SPECT의 경우 병소와 주위 조직 간의 섭취율 차이로 인해 (주위 조직이 saturation 됨) 병소의 위치 파악이 어려웠으나 CT로 융합한 결과 해부학적 위치를 정확히 평가할 수 있었다. 또한 맥켈 게실이나 ^{111}In 과 같이 장이나 장기쪽에 질환을 찾는 경우에는 그 우수성이 더욱 뛰어났다. Bone SPECT/CT는 척추간의 구별을 확실히 할 수 있어 임상적의 정확한 결과를 제시하는데 도움을 준다. 2. 감쇠 보정의 평가 : 감쇠 보정 전후의

관류 백분율의 차이가 Ant, Lat에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나($p>0.05$), Inferior, Apex, Septum에서는 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 차이를 보이는 값 중 Inferior Wall에서 CT AC perfusion: $76.84\pm6.52\%$, Non AC perfusion: $68.58\pm7.55\%$ 로 CT 보정에 의한 차이가 $8.26\pm4.95\%$ 로 가장 크게 측정되었다($t=10.29$, $p<0.01$).

결론 : SPECT에 CT가 부착되면서 병변의 기능적 활성도를 나타내는 분자학적 영상은 물론 병변의 해부학적 위치 정보를 보다 정확하게 확인할 수 있게 되었다. 이것은 비정상적 부위를 찾아내는 것에 그치지 않고 복잡한 인체 부위에서 정상군과 비정상군을 분리하는데 많은 도움을 주게 되었다. 따라서 임상적은 하나의 검사 영상으로 진단과 치료계획을 동시에 시행할 수 있을 것이다. 또한 감쇠가 잘 되는 흉곽 부위 안에 있는 심근 검사에는, CT로 보다 정확한 감쇠 보정을 할 수 있기 때문에 SPECT 검사 시 관심부위의 관류 상태를 더욱 신뢰할 수 있어 치료 예후의 정당성을 입증할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. 정진호, 최용, 홍기조, 민병준, 호위, 강지훈. 핵의학 영상기기의 최근 진보. *대한핵의학회지* 2008;42(2):98-101.
2. James AP, Timothy GT. SPECT/CT Physical Principles and Attenuation Correction. *J Nuclear Medicine Technology* 2008;36: 5-7.
3. Wolfgang R. SPECT-Guided CT for Evaluating Foci of Increased Bone Metabolism Classified as Indeterminate on SPECT in Cancer Patients. *J Nuclear Medicine* 2006;47(7):1102-1104.
4. Sibyll G, Tracy LB. Attenuation Correction in Myocardial Perfusion SPECT/CT Effects of Misregistration and Value of Reregistration. *J Nuclear Medicine* 2007;48:1090-1091.
5. Hiroto K. Fusion of SPECT and Multidetector CT Images for Accurate Localization of Pelvic Sentinel Lymph Nodes in Prostate Cancer Patients. *J Nuclear Medicine Technology* 2005;33:78.
6. Andreas KB, Stephan N. SPCT/CT. *J Nuclear Medicine* 2008; 49:1305-1314.