

# $^{99m}\text{Tc}$ 용 콜리메타의 성능과 SPECT 화상의 영향

원광보건대학 방사선과 · 동남보건대학 방사선과\*  
이만구 · 이정옥 · 박성옥\*

– Abstract –

## Comparison of SPECT Images with $^{99m}\text{Tc}$ Collimators

Man Koo Lee · Jeong Ok Lee · Soung Ock Park  
Dept. of Radiologic Technology, Wonkwang Health Science College  
Dept. of Radiologic Technology, Dongnam Science College

Performance of SPECT imaging systems which use a rotating gamma camera, are affected by characteristics of the detector-collimator assembly, the data acquisition method, and the filter used in imaging reconstruction.

The purpose of this study is to examine image qualities of SPECT with different types of low energy collimators. The SPECT imaging system in this study is a digital gamma camera system GCA-901A(Toshiba) and a data processing unit Scintipac-700(Shimadzu). The four types of collimators compared are UHR(ultra high resolution), LEHR(low energy high resolution), LEGP(low energy general purpose), and I-123 PAR(parallel), with 0.27, 0.66, 1.00, and 2.06 relative sensitivity, respectively.

In this case of the same collimators, the spatial resolutions measured in the slice plane showed a slight difference in the FWHM values(mean values of UHR, LEHR, LEGP, and I-123 PAR were 11.3 mm, 13.6 mm, 15.8 mm, and 20.4 mm, respectively) between the center and the circumference of the field of view, in the radial direction, but a large difference in the tangential direction, with lower FWHM values(values of UHR, LEHR, LEGP, and I-123 PAR were 8.4 mm, 8.7 mm, 9.3 mm, and 10.8 mm at 12 cm from the center, respectively). In comparison of SPECT images with the four types of collimators, except for the I-123 PAR collimator, image qualities of UHR, LEHR, and LEGP collimators showed only a slight difference. From the point of for, it is expected that the LEGP collimator would be suitable for SPECT imaging with  $^{99m}\text{Tc}$ .

## I. 서 론

단광자방출형컴퓨터단층촬영장치(single photon emission computed tomography, SPECT) 중 현재 널리 이용되고 있는 것은 회전형 쉐리카메라를 이용한 SPECT 장치이다. 이 장치는 ring형의 전용 SPECT 장치에 비하여 2차원 평면화상(planar image)을 얻을 수 있다는 점에서 유리하나, 성능 면에서 약간 떨어진다는 것이다<sup>1-3)</sup>. 또한 이 장치의 평면화상과 횡단화상을 비교한 경우 화질 면에서 전자가 우수한 것도 사실이다. 평면화상은 주로 검출기 계의 감도(sensitivity), 감도불균일성(non-uniformity), 공간분해능(spatial resolution) 등 하드웨어에 관한 인자의 영향을 받으며, 횡단화상은 이러한 검출기 계 인자 외에 데이터 수집방법<sup>4-6)</sup>, 화상재구성 시 흡수보정<sup>7-12)</sup>, 필터처리<sup>13-14)</sup> 등 소프트웨어에 관한 인자의 영향을 받는다.

SPECT 화상에 영향을 미치는 많은 인자 중 검출기 계의 일부인 콜리메타에 대하여 특성의 차이에 의한 SPECT 화상이 미치는 영향을 보고하고자 한다.

## II. 장치 및 재료

본 실험에 사용한 SPECT 장치는 Toshiba 디지털 감마카메라(GCA-901A)와 데이터 처리장치(Scintipac-700)이다. 쉐리카메라에 부착한 콜리메타는  $^{99m}\text{Tc}$ 용 저에너지로 초고분해능형(UHR), 저에너지 고분해능형(LEHR), 저에너지 범용형(LEGP) 및 I-123 PAR(parallel) 4종류이다(Table 1). 또한 팬텀은 아크릴 원통형 용기(내경 30 cm×길이 50 cm)에 공간분해능 측정용으로서 별도의 아크릴 원통형 용기(내경 30 cm×길이 5 cm)를 사용하였다. 각각 물을 주입하여 사용하였으며, 공간분해능 측정

\* 이 논문은 1999학년도 원광보건대학 교내 연구비 지원에 의해 연구 되었음.

Table 1. Specifications and Characteristics of Collimators

Type of collimator	Holes, shape Hole diameter × length(mm) Septum thickness(mm)	Relative sensitivity		System spatial resolution				
		Specified	Measured	Specified		Measured		
				Clearance (cm)	FWHM (mm)	Clearance (cm)	FWHM (mm)	FWTM (mm)
UHR	79000, square 1.08 × 23.6 0.15	0.27	0.34	0	4.1	1.5	3.7	8.6
				10	5.9	10.5	5.1	10.9
LEHR	81700, square 1.07 × 23.6 0.15	0.66	0.66	0	4.1	1.5	4.0	7.9
				10	7.1	10.5	6.9	12.4
LEAP	54600, square 1.41 × 23.6 0.18	1.00	1.00 (340 cpm/37 kBq)	0	4.3	1.5	4.6	7.3
				10	8.7	10.5	7.9	15.4
I-123 PAR	28800, square 2.03 × 23.6 0.20	2.06	2.09	0	4.5	1.5	5.0	9.4
				10	12.6	10.5	10.7	20.5

용 팬텀은 단층면내 용과 단층 두께 방향 용 2종류이며, 모두 선 선원(내경 1.0 mm × 길이 50 mm의 폴리에틸렌으로 된 가는 관에 선원을 넣음)을 팬텀 외부에서 삽입할 수 있도록 도관을 설계하였다. 그리고 전자는 팬텀 중심 및 중심으로부터 4, 8, 12 cm의 각 위치에서 축 방향과 평행으로, 후자는 팬텀 중심 및 중심으로부터 5, 10 cm의 각 위치에서 축 방향과 45°로 설계하였다. 또한 검출능 평가는 SPECT 장치 성능관리용 팬텀을 사용하였다. 이 팬텀은 아크릴 원통형 용기(내경 25 cm × 길이 21 cm)로 내부에 각종 형상(hot spot, cold spot, Jaszczak15) pattern 등의 팬텀이 들어갈 수 있도록 만들었다. 사용 핵종은 <sup>99m</sup>Tc이었다. 또한 신티카메라의 기본 성능인 콜리메타를 포함하여 시스템 감도 측정에는 면적 100 cm<sup>2</sup>의 평판선원 [<sup>99m</sup>Tc 약 4 MBq(100 μ Ci)]을 사용하였으며, 시스템 공간분해능 측정에는 선 선원(전체 길이 약 50 cm, 평행 폭 5 cm의 U자 형)을 사용하였다<sup>16)</sup>.

디지털 화상은 512 × 512 matrix로 데이터를 수집하였다. Table 1은 시스템 공간분해능의 공칭 값과 실측값을 나타낸 것이며 거의 상응한 결과이었다. 또한 Fig. 1은 콜리메타 표면으로부터의 거리(20 cm까지)와 공간분해능(FWHM 및 FWTM)의 관계를 나타낸 것이다. 콜리메타 표면 가까이에서 FWHM은 콜리메타의 종류에 따라 그다지 큰 차를 볼 수 없으나, 콜리메타 표면에서 20 cm의 거리에서는 현저한 차이를 나타내었다. 20 cm에서 공기 중 선원에 의한 FWHM은 UHR(8.7 mm)이 가장 양호하고, 이어서 LEHR(11.9 mm), LEGP(12.5 mm)의 순이며, I-123 PAR(21.7 mm)가 가장 나쁘다. 평면화상에서는 콜리메타 표면을 환자에 될 수 있는 한 가까이 할 수 있으므로 콜리메타 표면으로부터 10 cm 정도까지의 공간분해능이 중요하다. 그러나 SPECT에서는 회전반경 15~25 cm(평균 20 cm) 정도에서의 데이터를 수집하기 때문에 콜리메타 표면의 FWHM보다 떨어진 위치에서의 공간분해

### III. 측정방법 및 결과

#### 1. 신티카메라의 기본 성능

신티카메라에 각종 콜리메타를 부착하여 시스템 감도 및 시스템 공간분해능을 측정하였다. 감도는 콜리메타 표면에서 평판선원의 계수율을 측정으로부터 LEGP에 대한 상대감도를 구하였다. 4종류의 콜리메타의 상대감도는 Table 1과 같다. LEGP에서는 340 cpm/37 kBq(1 μ Ci)이었으며, UHR은 그의 약 1/3, LEHR은 약 2/3, I-123 PAR은 2배 강한 감도이다. 또한 공간분해능은 U자형 선 선원을 사용하여 콜리메타 표면-선원간 거리 1.5, 4.5, 10.5, 15, 20 cm에서 각 디지털화상의 선응답함수(LSF)로부터 반치폭(FWHM) 및 1/10폭(FWTM)을 구하였다.

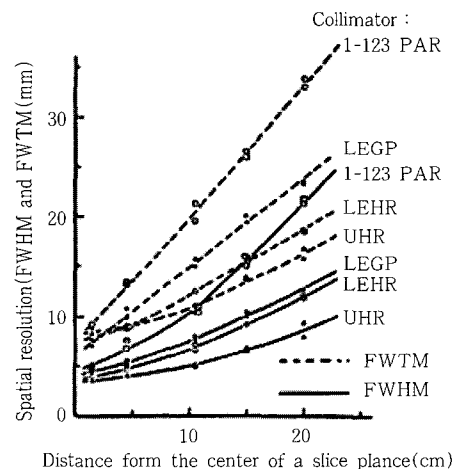


Fig. 1. System spatial resolutions in FWHM and FWTM.

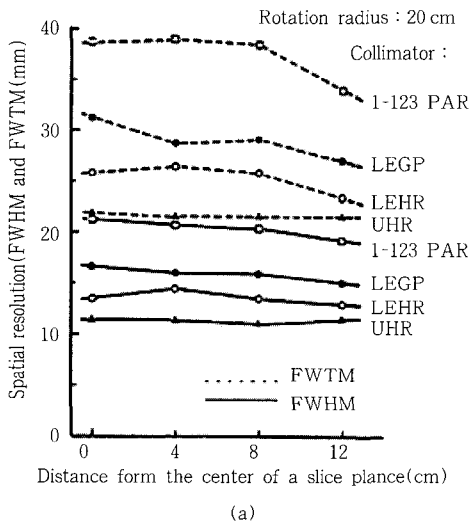
능이 문제가 된다. 따라서 FWHM 뿐만 아니라 FWTM 도 함께 고려하지 않으면 안 된다.

## 2. SPECT의 공간분해능

### 1) 단층면 내 및 단층 두께방향의 FWHM, FWTM

핀티카메라에 의한 SPECT의 공간분해능을 단층면내와 단층두께방향에 대하여 측정하였다. 측정은 선 선원물 팬텀의 각 도관에 각각 삽입하여 시행하였다. 데이터 수집조건은 회전반경 20 cm, 촬상방향 수 64(5.6°씩 step 식 회전), 1방향 당 수집시간 30초(일부는 60 및 90초), 수집 matrix의 크기는 64×64이었다. 화상재구성은 Shepp & Logan Filter에 의한 역 투영법으로 하였다. 그리고 단층면내의 각 위치에서의 공간분해능은 반경(radial) 방향 및 접선(tangential) 방향의 각 선응답함수(LSF)에 의해 구하였다. 단층면내에 있어서 반경방향 및 접선방향의 각 공간분해능은 Fig. 2와 같다. 4종류의 콜리메타에 의한 공간분해능은 Fig. 1의 시스템 공간분해능과 거의 비슷하였다. 다만, LEHR과 LEGP의 FWHM을 비교한 경우 그 차는 Fig. 1보다 Fig. 2쪽이 약간 크다. 또한 팬텀 내의 선원위치에 의한 FWHM을 반경방향과 접선방향에서 비교하면 반경방향에서는 팬텀 중심부와 주변 부에서 거의 차이를 볼 수 없으나, 접선방향에서는 주변 부에서 FWHM이 낮은 값을 나타내며, 중심부와 차가 보다 커진다. 그리고 콜리메타 상호간의 FWHM의 차이도 중심부 보다 주변 부에서 작음을 알 수 있다. 이것은 FWTM에서도 같은 경향이였다. 반경 방향에서 FWHM은 평균 UHR 11.3 mm, LEHR 13.6 mm, LEGP 15.8 mm, I-123 PAR 20.4 mm이며, 또한 팬텀 중심으로부터 12 cm의 주변 부에서 접선방향의 FWHM은 UHR 8.4 mm, LEHR 8.7 mm, LEGP 9.3 mm, I-123 PAR 10.8 mm이었다.

다음에 팬텀 내 각 위치에 있어서 단층 두께 방향의 공



간분해능에 대해서도 단층면 내에서의 측정과 동일한 조건으로 시행하여 선 선원 방향의 선응답함수로부터 FWHM, FWTM을 구하였다. 결과는 Fig. 3과 같으며, 4종류의 콜리메타에 의한 FWHM, FWTM의 경향은 Fig. 2(a)와 비슷하다. 다만, 단층 두께방향의 FWHM, FWTM은 단층면내에 비하여 30~40% 정도 크고, FWHM은 15.3~15.9 mm(UHR), 16.8~19.2 mm(LEHR), 19.8~22.8 mm(LEGP), 24.3~29.7 mm(I-123 PAR)이었다.

### 2) 회전반경의 차이에 의한 FWHM, FWTM

단층상의 화질을 향상시키기 위하여 SPECT에서는 회전반경을 뿔 수 있는 한 작게 하는 것이 바람직하다. 앞에서의 결과는 모두 회전반경 20 cm에 의한 것이었으나, 회전반경을 변경하였을 경우의 공간분해능에 대해서도 측정하였다. Fig. 4는 LEHR에서 회전반경 20, 22.5, 25 cm

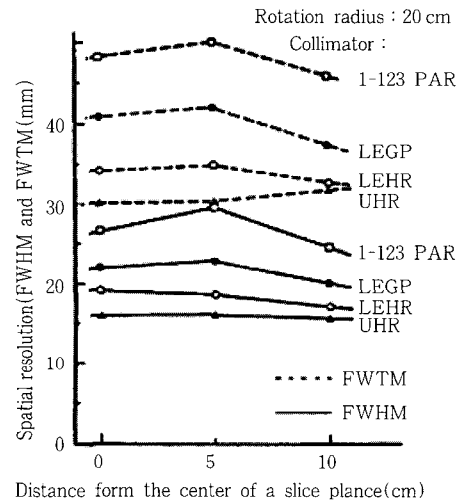


Fig. 3. Spatial resolutions of slice thickness(of axial direction) in a cylindrical water phantom with SPECT

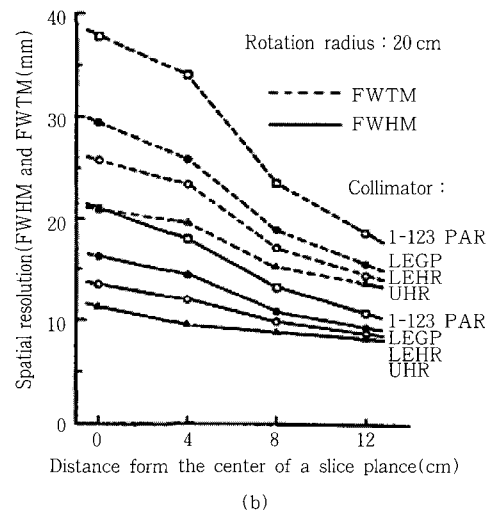


Fig. 2. Spatial resolutions of radial direction (a) and tangential direction(b) in a cylindrical water phantom with SPECT.

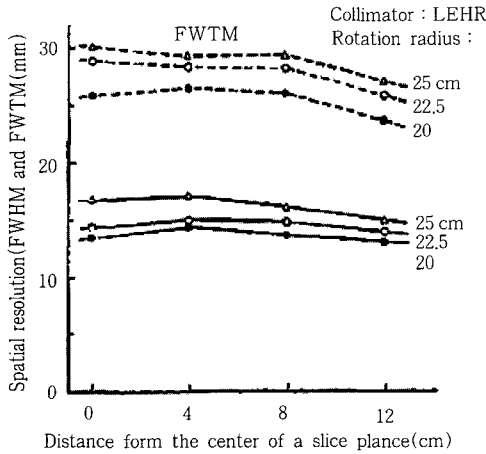


Fig. 4. Spatial resolutions of radial direction, as a parameter of rotating radius of the scinticamera.

에 있어서 단층면 내 반경방향의 각 FWHM 및 FWTM을 나타낸 것이다. 회전반경 20 cm에서 25 cm로 변경하였을 경우 FWHM 및 FWTM의 증가는 팬텀 내의 선원 위치에 따라 약간의 차이는 볼 수 있으나, 평균 2.5 및 3.0 mm 정도에 불과하다. 단층 두께방향에 대해서도 회전반경의 증가에 의한 FWHM 및 FWTM을 측정하였으며 Fig. 4와 비슷한 경향이었다.

### 3) 시각에 의한 검출능 평가

SPECT 화상을 시각적으로 평가하기 위하여 형상이 다른 2종류의 팬텀을 사용하였다. 하나는 Fig. 5(a)에 나타낸 우물형(간격 4.0, 4.8, 6.4, 7.9 mm)의 아크릴 팬텀(Jaszczak)으로 이것을  $^{99m}\text{Tc}$  수용액(농도  $37 \text{ kBq/cm}^3$ )을 채운 원통형 팬텀에 삽입한 것이며, 다른 하나는 여러 직경(6.4, 7.9, 9.5, 11.1, 12.7, 16 mm  $\phi$ )의 원통형 용기를 Fig. 5(b)와 같이 배열한 팬텀으로 역시 원통형 팬텀 속에 넣어 hot spot(농도  $370 \text{ kBq/cm}^3$ 의  $^{99m}\text{Tc}$  수용액 주입) 또는 cold spot(수용액만 주입)로 이용할 수 있다. 수집 데이터는 화상재구성 전에 균일흡수보정을 시행하였다. Jaszczak 팬텀의 4종류 콜리메타에 대한 각 SPECT 화

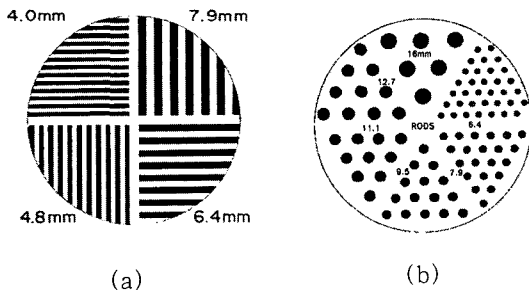


Fig. 5. Two types of phantoms used for determinations of spatial resolutions with SPECT images. Jaszczak type(a) and cylindrical target(b).

상은 I-123 PAR를 제외하고 UHR, LEHR, LEGP 3종류의 콜리메타에서는 검출 능에 큰 차이는 볼 수 없었다. 또한 어느 것이나 팬텀 주변 부의 화상에 비하여 중심부에서 화상이 약간 떨어진다. Hot spot와 cold spot를 나타내는 팬텀에 의한 SPECT 화상으로부터 4종류의 콜리메타에 대한 검출 능을 비교한 결과 I-123 PAR의 화질은 떨어지나 다른 3종류의 콜리메타에 의한 화질은 거의 비슷하였다. 또한 동일한 직경의 spot가 나타나는 상의 크기에서 차이가 있는데, 이것은 모니터상의 농도 레벨을 바꾸어 표시하기 때문이다.

### 3. 시스템 공간분해능과 SPECT 공간분해능의 비교

SPECT의 공간분해능은 데이터의 수집조건 및 화상재구성 시 처리조건이 영향을 준다. 각 콜리메타에 대하여 동일한 조건으로 측정된 SPECT 공간분해능과 시스템 공간분해능의 관계를 구하였다. 그 결과는 Fig. 6과 같이 횡축은 각 콜리메타의 표면으로부터 20 cm 거리에서 시스템 공간분해능, 종축은 회전반경 20 cm에서 직경 30 cm 원통형 팬텀의 중심, 중심으로부터 4, 8, 12 cm의 각 위치에서 SPECT 공간분해능이다. 실선은 반경방향, 점선은 접선방향에서 각 SPECT에 의한 FWHM을 나타낸 것이다. SPECT에 의한 FWHM은 시스템의 FWHM에 비례하여 증가하며 팬텀 주변 부 보다 중심부에서 크다. 또한 접선방향의 FWHM 증가의 정도는 반경방향의 FWHM에 비해 작다. 측정된 시스템 공간분해능(FWHM)은 UHR이 8.0 mm로 가장 작다.

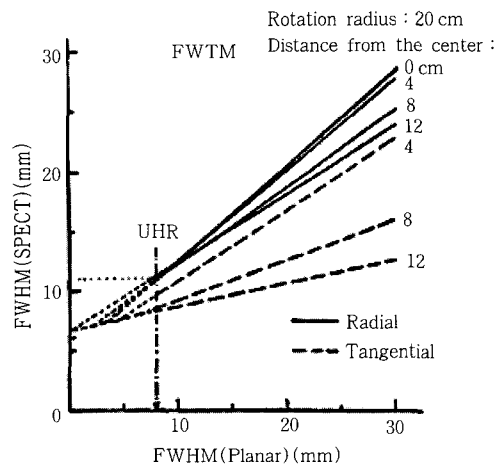


Fig. 6. Relationship between spatial resolutions with planar system and with SPECT system, as a parameter of distance from a center of the phantom

## IV. 고찰

신티카메라의 기본 성능은 사용하는 콜리메타의 특성

에 따라 좌우되며, 이것을 SPECT에 이용할 경우 콜리메타의 선택이 매우 중요하다.

콜리메타의 선택은 사용 핵종에 따라 한정된다. 본 연구는  $^{99m}\text{Tc}$ 용으로 사용하는 4종류의 콜리메타에 대하여 비교를 시도하였으며, 기본 성능인 시스템 감도 및 시스템 공간분해능은 UHR을 제외하고 거의 공칭값에 가까운 측정결과를 얻었다. UHR은 공칭값에 비해 25% 강한 감도를 나타냈는데 이것은 콜리메타 각각의 제품에 차이가 있는 것으로 생각된다. 한편 시스템 공간분해능은 선 선원과 콜리메타 구멍의 배열방향과의 위치관계에 의해 약간 변화하기 때문에<sup>16)</sup> 측정오차 범위 내에서 거의 일치한다고 볼 수 있다. 또한 콜리메타 표면으로부터 20 cm에서의 공간분해능은 보고되고 있지 않으나, 본 연구에서 측정한 결과 콜리메타의 기하학적 구조에 의한 FWHM 및 FWTM에 증가가 있음을 알 수 있었다. SPECT의 경우 회전반경 20 cm 이상에서 데이터를 수집하는 경우가 많기 때문에 콜리메타 표면으로부터 10~20 cm 범위의 공간분해능이 관계한다. LEHR과 LEGP 또는 UHR의 공간분해능을 Fig.1에서 비교하면 FWHM은 LEHR과 LEGP에 가까운 값을 나타내며, FWTM은 LEHR과 LEGP보다 오히려 UHR에 가까운 값이다. 따라서 공간분해능 면에서  $^{99m}\text{Tc}$ 을 사용한 SPECT에서는 LEGP보다 LEHR 쪽이 약간 우수하다고 할 수 있다. SPECT에 의한 공간분해능의 실제 측정(Fig. 2, Fig. 3)에서도 각 콜리메타간의 경향은 Fig. 1과 동일하다. 한편 감도는 LEHR보다 LEGP가 약 1.5배 높고, 또한 SPECT 화상을 검토한 결과 LEGP, LEHR, UHR 3종류에 대한 화상의 차이는 별로 나타나지 않았으며, 종합적으로 판단하면  $^{99m}\text{Tc}$ 용 SPECT 콜리메타는 LEGP로도 충분히 대응할 수 있다고 할 수 있다.

센티카메라의 시스템 공간분해능(FWHM)과 SPECT의 공간분해능(FWHM)은 Fig. 6과 같이 직선관계에 있다. UHR보다 초고분해능 콜리메타는 소유하고 있지 않기 때문에 시스템의 FWHM이 작고, 공간분해능이 우수한 영역에서 측정은 불가능하다. 시스템의 FWHM 0 mm는 이상적인 검출기인 경우에만 해당되며, SPECT에서는 화상 데이터의 수집 matrix의 크기가 관계한다. 본 연구에서는 1 pixel이 약  $6 \times 6 \text{ mm}^2$ 이기 때문에 FWHM을 이보다 작게 할 수는 없다.

## V. 결 론

센티카메라에 부착하는 4종류의  $^{99m}\text{Tc}$ 용 콜리메타에 대하여 기본 성능 및 이것을 SPECT에 사용하였을 경우 각 공간분해능을 측정하였다. SPECT의 공간분해능은 단층면 내와 단층 두께방향에 대하여 측정하였으며, 단층면 내는 직경 30 cm의 원통형 팬텀 단면의 각 위치(중심, 4, 8, 12 cm)에서 반경방향과 접선방향에 대하여 측정하였다. 4종류의 콜리메타에 의한 단층면 내의 공간분해능은

어느 것이나 동일한 경향이었으며, 팬텀 내의 위치에 따른 FWHM은 반경방향에서는 거의 일정한 값(평균 UHR : 11.3 mm, LEHR : 13.6 mm, LEGP : 15.8 mm, I-123 PAR : 20.4 mm)인 반면, 접선방향에서는 주변 부일수록 낮은 값(중심으로부터 12 cm에서 UHR : 8.4 mm, LEHR : 8.7 mm, LEGP : 9.3 mm, I-123 PAR : 10.8 mm)이었다. 한편 단층 두께방향에서는 팬텀의 위치에 따른 공간분해능은 중심부에 비해 주변 부에서 약간 작은 경향이 있으나, 그 FWHM 및 FWTM은 단층면 내에 비해 모두 30~40% 정도 컸다. 또한 FWHM의 SPECT 공간분해능은 시스템 공간분해능과 거의 직선관계를 나타냈다.

4종류의 콜리메타에 의한 각 SPECT 화상의 시스템 감도를 포함한 시각적 종합 화상평가로부터 범용형 콜리메타도 SPECT에 충분히 대응할 수 있다고 본다.

## 참 고 문 헌

1. 박성욱, 이만구, 장상섭, 유광열 : 핵의학영상 기술학, pp 127-132, 보문서원, 1998.
2. 田中榮一 : ラジオアイソトープの斷層イメージ装置. *Radioisotopes* 34 : 57-66, 1985.
3. Kuhl D.E., (Ed.) : Principles of radionuclide emission imaging, Pergamon Press, Paris, 1982.
4. Piez C.W. and Holman B.L. : Single photon emission computed tomography. *Computerized Radiol.* 9 : 201-211, 1985.
5. Tanaka E., Toyama H. and Murayama H. : Convolutional image reconstruction for quantitative single photon emission computed tomography. *Phys. Med. Biol.* 29 : 1489-1500, 1984.
6. Jaszczak R.J., Greer K.L., Flogd C.E., et al : Improved SPECT quantification using compensation for scattered photons. *J. Nucl. Med.* 25 : 893-900, 1984.
7. Shepp, L.A., and Vardi, Yi. : Maximum likelihood reconstruction for emission tomography. *IEEE Trans. Med. Imaging*, MI-1, 113-122, 1982.
8. Tanaka E. : Quantitative image reconstruction with weighted back projection for single photon emission computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 7 : 692-700, 1983.
9. Danbe-Witherspoon M.E., and Muehllehner G. : An iterative image space reconstruction algorithm suitable for volume ECT. *IEEE Trans. Med. Imaging*, MI-5, 61-66, 1986.
10. Murayama, H., Tanaka, E., and Nohara, N. : Comparative studies on various iterative image reconstruction algorithm for emission tomography. *Med. Imag. Tech.*, 7, 315-333, 1989.

11. Chang L.T. : Attenuation correction and incomplete projection in single photon emission computed tomography. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-26, 2780-2789, 1979.
12. Chang L.T. : A method for attenuation correction in radionuclide computed tomography. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-25, 638-643, 1988.
13. Shepp L.A. and Logan B.F. : The Fourier reconstruction of a head section. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-21, 12-43, 1974.
14. Budinger T.F., Gulberg G.T. and Huesman R.H. : Emission computed tomography in topics in applied Physics, Vol. 32, Image reconstruction from projections, ed. Herman G.T., Springer-Verlag, pp. 147-246, 1979.
15. Jaszczak R.J., Coleman R.E. and Lim C.B. : SPECT : Single Photon Emission Computed Tomography. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-27, 1137-1153, 1980.
16. Saegusa K., Fukushi M. and Katoh H. : Comparison of SPECT images with four kinds of  $^{99m}\text{Tc}$  collimators, *Radioisotopes* 38 : 196-202, 1989.