

Original Article

핀홀 콜리메이터 초점의 직경 크기 별 성능비교 및 평가

삼성서울병원 핵의학과

이광훈 · 안병호 · 김수영 · 최성욱

Performance Evaluation of a Pinhole Collimator According to the Aperture Diameter

Kwang Hun Lee, Byung Ho An, Soo Young Kim and Sung Wook Choi

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

Purpose: Conventional pinhole scintigraphy offers a high resolution and generally use for thyroid scan or bone scintigraphy. the aim of this study is to evaluate performance of each aperture according to the diameter size.

Materials and Methods: In this study 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm diameter pinhole collimators were mounted on Siemens E.CAM systems. In order to evaluate performance evaluation of each aperture, we acquired projection image by using SPECT for evaluating FWHM, resolution test and static image for evaluating thyroid phantom test. **Results:** As a result of FWHM showed 2.2 mm FWHM, 3.2 mm FWHM, 5.4 mm FWHM, 7.5 mm FWHM per each aperture in the resolution test. SNR, uniformity, contrast were acquired result from thyroid phantom test comparing general image and delayed image. as a result of SNR showed 6.55, 8.47, 6.2, 5.23 in case of general image and 5.25, 5.01, 5.38, 5.82 in case of delayed image per each aperture. as a result of uniformity showed 0.152, 0.118, 0.161, 0.19 in case of general image and 0.19, 0.199, 0.185, 0.171 in case of delayed image per each aperture. as a result of contrast showed 1.31, 1.19, 1.15, 1.01 in case of general image and 1.09, 1.08, 1.04, 1 in case of delayed image per each aperture. **Conclusion:** Resolution and sensitivity were heavily influenced by aperture size. and also we found advantage of delayed image as a result of thyroid phantom test. (Korean J Nucl Med Technol 2014;18(1):104-109)

Key Words : Pinhole collimator, Aperture, Resolution, SPECT

서 론

콜리메이터는 스캔부위에서 방출되는 감마선을 기하학적으로 제한하여 필요한 부위에서 방출되는 감마선만이 NaI (Tl) 결정과 반응하도록 하는 매우 중요한 기구이다. 콜리메이터는 검사목적에 따라 여러 종류가 있으며, 일반적으로 NaI (Tl) 결정의 바로 전면부에 부착하여 사용한다. 영상 검사에 사용되는 콜리메이터의 종류는 격벽의 두께, 홀의 집속형태 등에 따라 분류되어 사용되고 있으며 그중

에 갑상선 검사(thyroid scan)와 전신 뼈 검사(wholebody bone scan)시 고 분해능을 필요로 하는 정적검사에 주로 사용되는 핀홀 콜리메이터는 납으로 된 속이 빈 원추형으로 뾰족한 끝부분에 작은 구멍이 있는 콜리메이터로서 감마카메라가 출현하면서 최초로 사용되었다. 핀홀 콜리메이터의 감도와 분해능은 초점(aperture) 크기와 연관이 있다. 즉 초점 크기가 커지면 각 선원 점으로부터 초점에 의해 받아들이는 입체각이 증가하고 감도를 높이지만 반면에 분해능은 나빠지는 특성을 갖고 있다.¹⁾ 이러한 핀홀 콜리메이터의 초점크기는 선택적으로 사용할 수 있으며 현재 임상용으로 출시된 초점 크기는 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm 이렇게 4종류가 출시되어 있지만 현재 임상에서는 거의 모든 검사에 있어 4 mm 초점만을 사용하고 있다. 본 연구를 통해 핀홀 콜리메이터 각 초점 크기별 성능평가 및 특성을 알아보았다.

• Received: March 28, 2014. Accepted: April 21, 2014.
• Corresponding author : **Kwang Hun Lee**
Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, 81
Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-701, Korea
Tel: +82-2-3410-2637, Fax: +82-2-3410-2639
E-mail: kh-lee-kh@hanmail.net

실험재료 및 방법

1. 실험장비 및 재료

이 실험에 사용한 장비는 Gamma camera E.CAM (Siemens, Germany)이고(Fig. 1), 디텍터에 핀홀 콜리메이터를 장착하였으며(Fig. 2), 실험을 위해 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm 4가지의 핀홀 콜리메이터 초점을 사용하였다(Fig. 3).

2. 실험 방법

1) 분해능 실험

핀홀 콜리메이터의 각 초점별 FWHM (Full Width at Half maximum) 평가를 위해 지름 0.58 mm의 capillary tube 안에 선원당 5.5 MBq을 주입한 두 개의 선원을 1 cm 간격을 두고 평행하게 위치시킨 후 테이프로 고정하여 FWHM 평가용 선 선원(line source)을 제작하였고(Fig. 4), 분해능의 육안적 평가를 위해 micro deluxe phantom을 사용하였다(Fig. 5). Micro deluxe phantom의 내부는 1.2 mm, 1.6 mm,

2.4 mm, 3.2 mm, 4.0 mm, 4.8 mm 총 6종류의 hole (Fig. 6)로 구성되어 있으며 실험을 위해 volume 15 mL의 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 222 MBq (6 mCi)를 넣어 사용하였다. Line source와 micro deluxe phantom 실험 모두 SPECT (Single Photon Computed Tomography)를 시행하여 영상을 획득 및 분석하였으며 위 실험에 사용된 장비인 Gamma camera E.CAM에서 핀홀 콜리메이터를 장착한 상태에서 SPECT를 시행할 경우 intrinsic으로 인식을 하여 일반적인 방법으로는 시행할 수 없었다. 그래서 인위적인 방법을 사용하여 검출기를 회전시켜 투사상(projection image)을 얻은 후 OSEM (Ordered Subset Expectation Maximization)을 사용하여 영상을 재구성하였다.²⁾ Matrix size는 256×256, Zoom은 2.0으로 설정하고 검출기는 9°씩 회전시켜 frame당 30 sec씩 총 40개의 투사상을 획득하였으며 OSEM의 반복횟수는 3회 부분집합은 5로 설정하여 재구성하였다.

2) Thyroid phantom 실험

핀홀 콜리메이터의 각 초점별 갑상선 영상평가를 위해

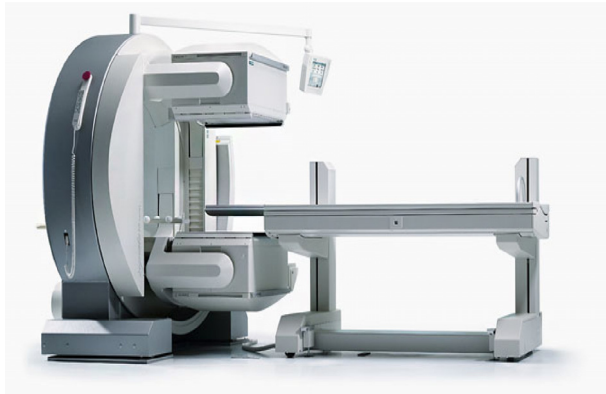


Fig. 1. Gamma camera e.cam was used for this study.



Fig. 3. Apertures were used for this study.



Fig. 2. Pinhole collimator was used for this study.

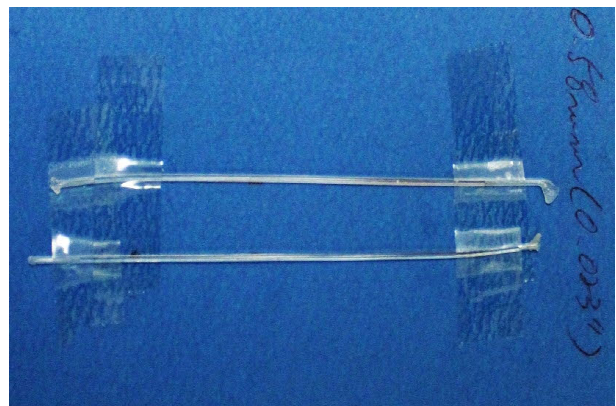


Fig. 4. We made line source for measuring FWHM.

thyroid phantom안에 volume 35 mL의 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 9 MBq (240 μCi)을 사용하였다(Fig. 7). Thyroid phantom의 각 초점별 5분의 시간 설정법과 230 kcounts의 계수 설정법에 대한 영상을 비교해 보았으며 시간 설정법에 대한 계수치와 계수 설정법에 대한 검사 소요시간을 측정해 보았다. 지연 영상 획득 시의 유용성을 알아보고자 팬텀을 만든 직후의 100 kcounts 영상과 24시간 후의 100 kcounts 영상에 대해 열소와 주변부(background)에 150 mm²의 ROI (Region Of Interest)를 설정하여 SNR (Signal to Noise Ratio), uniformity, contrast 수치를 비교해 보았다(Fig. 8). matrix size는 256×256, zoom은 1.45이며 검출기와의 거리는 7 cm로 설정하였다.

결 과

1. 분해능 평가

선 선원을 이용한 FWHM 평가에서 2 mm 초점에서 2.2 mm FWHM, 4 mm에서 3.2 mm FWHM, 6 mm에서 5.4 mm FWHM, 8 mm에서 7.5 mm FWHM의 각 초점별 FWHM이 나타났다(Fig. 9). Micro deluxe phantom을 이용한 육안



Fig. 5. Micro deluxe phantom was used for this study.

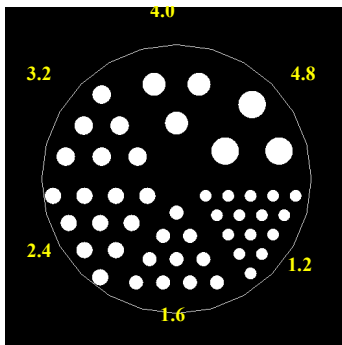


Fig. 6. This figure is sectional view of micro deluxe phantom.

평가에서 다음과 같이 초점이 작아질수록 분해능이 향상됨을 알 수 있었다(Fig. 10).

2. Thyroid phantom 영상 평가

각 초점별 시간 설정법과 계수 설정법에 대한 영상은 다음과 같이 나타났으며(Fig. 11), 5분 시간 설정법에 대한 초점별 계수값은 2 mm 초점일 때 27 kcounts, 4 mm일 때 96 kcounts, 6 mm일 때 228 kcounts, 8 mm일 때 410 kcounts가



Fig. 7. Thyroid phantom was used for this study.

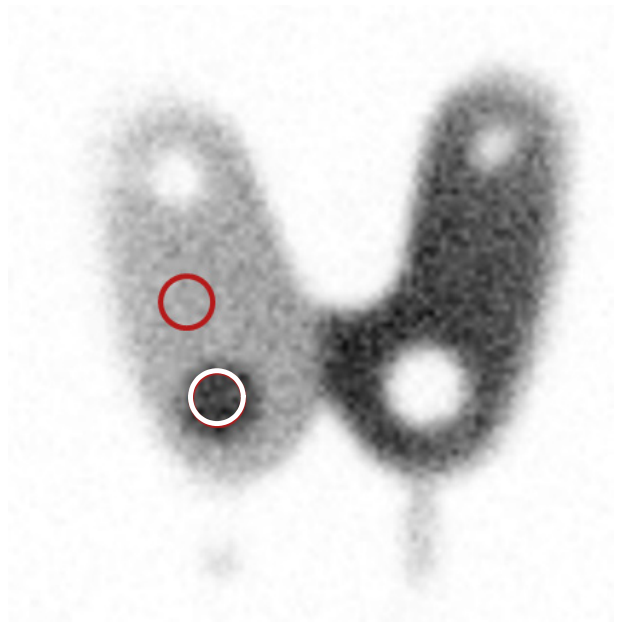


Fig. 8. We drew ROI to measure SNR, uniformity, contrast.

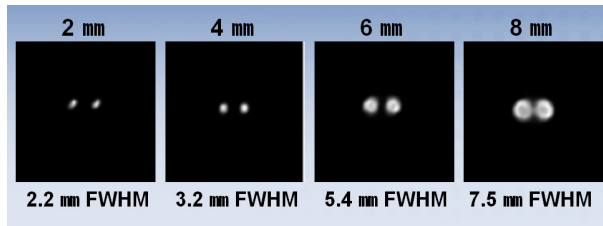


Fig. 9. This figure is the result of FWHM by using each aperture.

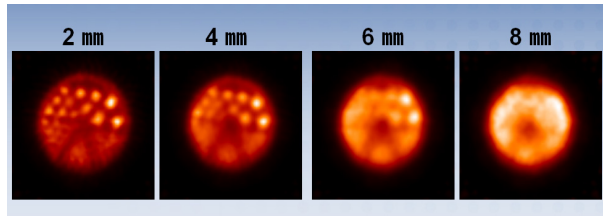


Fig. 10. This figure is the result of resolution test by using each aperture.

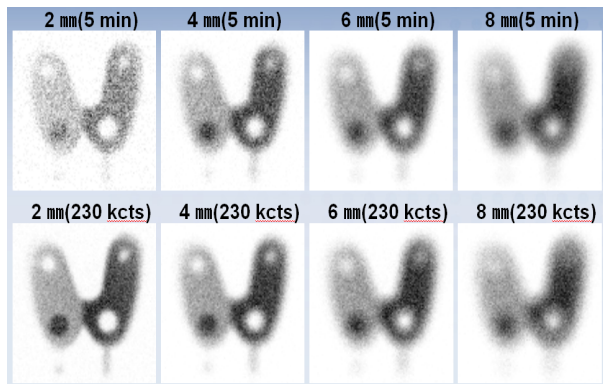


Fig. 11. We acquired thyroid phantom image according to each stop condition.

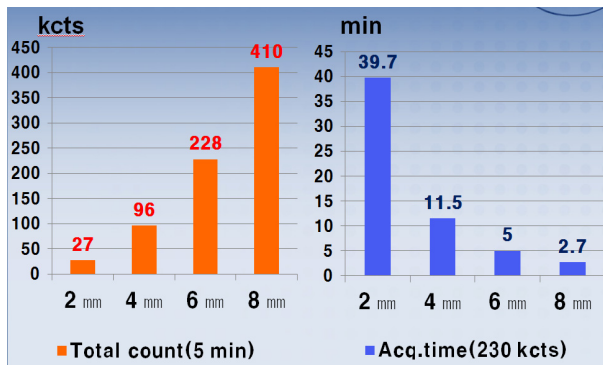


Fig. 12. This figure is a graph showing total count and acquisition time.

얻어졌으며 230 kcounts의 시간 설정법에 대한 초점별 검사 소요시간은 2 mm일 때 39.7분, 4 mm일 때 11.5분, 6 mm

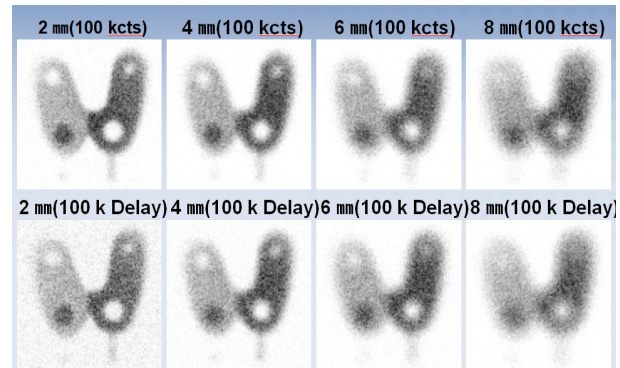


Fig. 13. We acquired both general and delayed images of thyroid phantom for comparing SNR, uniformity, contrast.

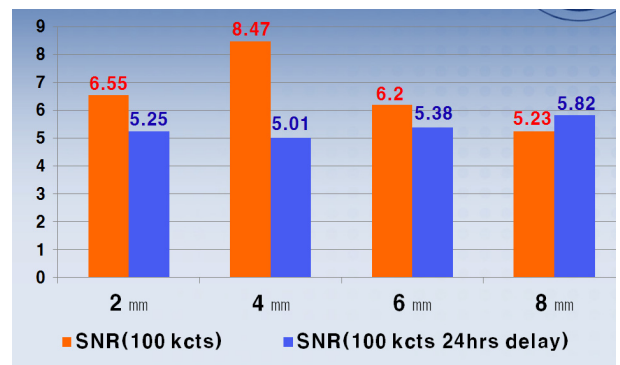


Fig. 14. This figure is a graph showing SNR.

일 때 5분, 8 mm일 때 2.7분이 소요되었다(Fig. 12). 지연영상과의 비교를 위한 phantom을 만든 직후와 24시간 후에 획득한 100 kcounts 영상은 다음과 같이 나타났으며(Fig. 13), 열소와 주변부의 ROI를 통한 SNR평가에서는 thyroid phantom을 만든 직후 실험한 결과에서 2, 4, 6, 8 mm일 때 각각 6.55, 8.47, 6.2, 5.23으로 4 mm 초점에서 가장 높은 SNR값이 나타났으며 24시간 후에 실험한 결과에서는 각각 5.25, 5.01, 5.38, 5.82로 8 mm 초점에서 가장 높은 SNR값이 나타났다(Fig. 14). Uniformity평가에서는 thyroid phantom을 만든 직후 실험한 결과에서 2, 4, 6, 8 mm일 때 각각 0.152, 0.118, 0.161, 0.19로 4 mm 초점에서 가장 낮은 uniformity값이 나타났으며 24시간 후에 실험한 결과에서 각각 0.19, 0.199, 0.185, 0.171로 8 mm 초점에서 가장 낮은 uniformity값이 나타났다(Fig. 15). Contrast평가에서는 thyroid phantom을 만든 직후 실험한 결과에서 2, 4, 6, 8 mm일 때 각각 1.31, 1.19, 1.15, 1.01로 2 mm 초점에서 가장 높은 contrast값이 나타났으며 24시간 후에 실험한 결과에서 각각 1.09, 1.08, 1.04, 1로 2 mm 초점에서 가장 높은 contrast값이 나타났다(Fig. 16).

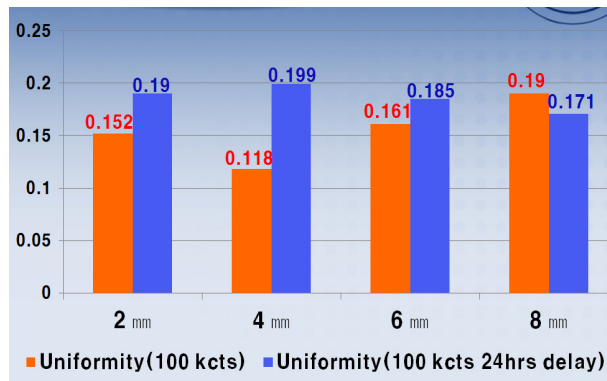


Fig. 15. This figure is a graph showing uniformity.

결론

본 연구를 통해 핀홀 콜리메이터의 초점별 성능을 비교해보고자 하였다. 핀홀 SPECT를 이용하여 선 선원과 micro deluxe phantom을 통한 분해능 평가에서는 기존 이론대로 초점이 작아질수록 분해능이 점차 향상됨을 알 수 있었다.^{3,4)} 감도 평가라 할 수 있는 thyroid phantom의 230 kcounts 영상획득 시 소요시간을 비교해본 결과 초점이 커질수록 감도는 증가되어 영상 획득시간은 감소됨을 알 수 있었으며 그 수치는 초점의 지름이 2배가 될수록 감도는 약 4배가 향상됨을 알 수 있었다. 각 초점별 thyroid phantom을 이용한 영상에서는 작은 초점을 사용할수록 육안적 선예도는 높아졌지만 낮은 감도로 인해 충분한 검사시간을 얻지 못한다면 부족한 계수 값으로 인해 비교적 거친 영상을 얻게 될 것이다. Thyroid phantom의 100 kcounts 영상획득을 통한 일반영상과 24시간 지연영상의 비교에서는 일반영상에서 2 mm, 4 mm의 작은 초점이 6 mm, 8 mm의 큰 초점보다 비교적 높은 SNR값을 나타냈지만 24시간 지연영상시 6 mm, 8 mm의 큰 초점에서 오히려 높은 SNR값이 나타났다. 지연영상에서 작은 초점을 사용 시 phantom 바깥 부분의 잡음계수가 많아져 SNR값이 큰 폭으로 떨어지는 것으로 사료된다. Uniformity 경우에서도 일반영상에서 2 mm, 4 mm의 작은 초점이 6 mm, 8 mm의 큰 초점보다 비교적 균등한 uniformity값을 나타냈으며 지연영상에서 오히려 큰 초점에서 더 균등한 uniformity값이 나타났다. Contrast 경우에는 일반영상과 지연영상 모두 초점이 작아질수록 값이 증가되었지만 지연영상에서는 격차가 현저히 줄어들게 되어 비교적 균일한 수치가 나타나게 되었다. 실험결과 2 mm의 작은 초점의 경우 분해능은 우수하지만 검사시간 증가로 인해 환자검사에 대한 적용에는 어려움이 있지만



Fig. 16. This figure is a graph showing contrast.

소동물형 검사나 환자의 방사능이 충분한 경우 2 mm 초점의 사용으로 고 분해능 영상을 얻을 수 있을 것이다.⁵⁾ 6 mm, 8 mm의 큰 초점의 경우 분해능은 저하되지만 중증환자 및 소아 적용에는 유용성이 있을 것으로 사료된다. 또한 지연 영상에서 큰 초점의 높은 감도와 SNR, uniformity의 장점을 활용한다면 전신 뼈 검사 시 지연된 핀홀 정적검사에⁶⁾ 대한 활용도 고려할 수 있으며 현재 연구 중에 있다.

요약

핀홀 콜리메이터는 목적 장기 영상의 확대와 고 분해능을 필요로 하는 검사에 사용하며 주로 갑상선 검사와 전신 뼈 검사 시 정적검사에 이용되어 왔다. 현재 임상에 적용할 수 있는 핀홀 콜리메이터 초점 직경은 2 mm, 4 mm, 6 mm 및 8 mm의 4종류가 있지만 기존 핀홀 콜리메이터 검사는 모든 검사에 있어서 4 mm 직경의 초점만을 이용한 검사를 시행해 왔다. 본 연구에서는 실험을 통한 각각의 초점 직경별 성능을 비교 평가해보고 임상에 적용시킬 수 있도록 알아보려고 하였다. Gamma camera E.CAM을 이용하였으며 핀홀 콜리메이터와 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm의 4가지 초점을 준비하였다. 분해능 실험을 위해 capillary tube를 이용한 선 선원과 micro deluxe phantom을 사용하였으며 선 선원을 이용한 FWHM과 micro deluxe phantom을 이용한 육안 평가를 하였으며 두 가지의 분해능 실험 모두 인위적인 방법을 통한 핀홀 SPECT를 통해 영상을 획득하여 분석하였고 thyroid phantom을 이용하여 5분 시간 설정법과 230 kcounts 계수 설정법에 대한 영상비교와 각 초점별 시간 설정법에 대한 계수치와 계수 설정법에 대한 검사 소요시간을 비교하였으며 thyroid phantom을 만든 후의 일반영상과 24시간 후의 지연영상의 100 kcounts 계수를 획득 후 열소

와 주변부의 150 mm² ROI를 설정하여 SNR, uniformity, contrast값을 비교해 보았다. 선 선원을 이용한 FWHM 평가에서는 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm의 각 초점별로 2.2 mm FWHM, 3.2 mm FWHM, 5.4 mm FWHM, 7.5 mm FWHM의 FWHM이 측정되었고 micro deluxe phantom을 이용한 육안평가에서는 초점이 작아질수록 분해능이 점차 향상됨을 알 수 있었다. Thyroid phantom 5분 시간 설정법에 대한 계수치는 각 초점별로 27 kcounts, 96 kcounts, 228 kcounts, 410 kcounts가 획득되었으며 230 kcounts의 계수 설정법에 대한 검사 소요시간은 각 초점별로 39.7분, 11.5분, 5분, 2.7분이 소요되어 초점이 커질수록 감도가 향상되었다. 일반영상과 지연영상의 SNR 평가에서는 2, 4, 6, 8 mm 각 초점별 값은 일반영상에서 6.55, 8.47, 6.2, 5.23으로 4 mm 초점에서 가장 높은 SNR값이 나타났으며 지연영상에서 5.25, 5.01, 5.38, 5.82로 8 mm 초점에서 가장 높은 SNR값이 나타났다. Uniformity 평가에서는 0.152, 0.118, 0.161, 0.19로 4 mm 초점에서 가장 낮은 uniformity값이 나타났으며 지연영상에서 0.19, 0.199, 0.185, 0.171로 8 mm 초점에서 가장 낮은 uniformity값이 나타났다. Contrast평가에서 일반영상은 1.31, 1.19, 1.15, 1.01로 2 mm 초점에서 가장 높은 contrast값이 나타났으며 지연영상은 1.09, 1.08, 1.04, 1로 2 mm 초점에서 가장 높은 contrast값이 나타났다. 본 연구는 핀홀 콜리메이터의 초점별 성능을 비교해 보고자 하였다. 감도와 분해능은 초점 크기에 따른 영향이 크다는 것을 알

수 있었다. 2 mm 초점은 고 분해능 영상을 획득할 수 있지만 낮은 감도로 인해 소동물형 검사나 환자의 방사능이 충분할 경우에 유용한 검사가 될 것이다. 6 mm, 8 mm 초점은 분해능 저하는 있지만 높은 감도로 인해 중증환자나 움직임이 많은 소아의 경우 유용하게 사용할 수 있으며 지연영상 시 큰 초점의 높은 감도와 SNR, uniformity의 장점을 활용한다면 전신 뼈 검사 시 지연된 핀홀 정적검사에 고려해 볼 수 있다.

REFERENCES

1. 정준기, 이명철. 고창순 핵의학. 제3판. 고려의학; 2008. p. 101-103.
2. 안병호, 차은선, 석재동, 진광호. 핀홀콜리메이터를 이용하여 SPECT 방법에 대한 고찰. 대한핵의학기술학회지 2007;11:203-208.
3. Baek CH, An SJ, Kim HI, Kwak SW, Chung YH. Development of a pinhole gamma camera for environmental monitoring. Radiation Measurements 2013;59:114-118.
4. Jacobowitz H, Metzler SD. Geometric sensitivity of a pinhole collimator. Int J Math Math Sci 2010;2010:915-958.
5. 김중현, 이재성, 김진수, 이병일, 김수미, 정인순, 등. Philips ARGUS 감마카메라와 바늘구멍조준기를 이용한 소동물 SPECT 시스템의 개발 및 성능평가. 핵의학 분자영상 2005;39: 6445-455.
6. Gauthé M, Mestas D, Canavese F, Samba A, Cachin F. Differential diagnosis of trampoline fracture from osteomyelitis by bone scan with pinhole collimator. Ann Nucl Med 2014;28: 163-166.