

Original Article

SPECT/CT에서 서로 다른 에너지의 방사성동위원소 사용시 영상보정기법의 유용성 평가

서울특별시 보라매병원 핵의학과¹, 서울대학교병원 핵의학과², 서울대학교 의과대학 핵의학교실³
신병호¹ · 김승정¹ · 윤석환² · 김태엽¹ · 임정진¹ · 우재룡¹ · 오소원^{1,3} · 김유경^{1,3}

The Evaluation of Image Correction Methods for SPECT/CT in Various Radioisotopes with Different Energy Levels

Byung Ho Shin¹, Seung Jeong Kim¹, Seok Hwan Yun², Tae Yeop Kim¹, Jung Jin Lim¹, Jae Ryong Woo¹, So Won Oh^{1,3} and Yu Kyeong Kim^{1,3}

¹Department of Nuclear Medicine, SMG-SNU Boramae Medical Center, Seoul, Korea

²Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

³Department of Nuclear Medicine, College of Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea

Purpose: To optimize correction method for SPECT/CT, image quality consisting of resolution and contrast was evaluated using three radioisotopes (^{99m}Tc, ²⁰¹Tl and ¹³¹I) and three different correction methods; attenuation correction (AC), scatter correction (SC) and both attenuation and scatter correction (ACSC). **Materials and Methods:** Images were acquired with a SPECT/CT scanner and a conventional CT protocol with an OESM reconstruction algorithm (2 iterations and 10 subsets). For resolution measurement, fixed radioactivity (2.22 kBq) was infused into a spatial resolution phantom and full width at half maximum (FWHM) was measured using a vendor-provided software. For contrast evaluation, radioactive source with a ratio of 1:8 to background was filled in a Flanged Jaszczak phantom and percent contrast (%) were calculated. All the parameters for image quality were compared with non-correction (NC) method. **Results:** As compared with NC, image resolution of all three isotopes were significantly improved by AC and ACSC, not by SC. In particular, ACSC showed better resolution than AC alone for ^{99m}Tc and ²⁰¹Tl. Image contrast of all three radioisotopes in a sphere with the largest diameter were enhanced by all correction methods. ACSC showed the highest contrast in all three radioisotopes, which was the most accurate in ^{99m}Tc (85.9%). **Conclusion:** Image quality of SPECT/CT was improved in all the radioisotopes by CT-based attenuation correction methods, except SC alone. SC failed to improve resolution in any radioisotopes, but it was effective in contrast enhancement. ACSC would be the best correction method as it improved resolution in radioisotopes with low energy levels and contrast in radioisotope with low energy levels. However, in radioisotope with high energy level, AC would be better than ACSC for resolution improvement. (Korean J Nucl Med Technol 2013;17(2):53-58)

Key Words : Attenuation correction, Scatter correction, Percent contrast, FWHM, OSEM

서 론

핵의학 체내 검사에서 SPECT/CT 장비를 이용하여 영상을

획득하는 데에 그치지 않고 영상의 질을 개선하기 위해 다양한 영상보정기법이 개발되었다. 또한, 핵의학 검사자들이 영상의 획득 및 처리, 처리시간 등을 고려하여 좀 더 효율적인 영상보정기법을 적용하는데 많은 노력을 기울이고 있고, 검사의 종류가 다양해지면서 그에 따른 각기 다른 에너지 준위를 가진 방사성동위원소를 사용하는 검사도 점차 증가하고 있다. 영상의 질을 향상시키기 위한 다양한 방법들 중 우리가 알고 있는 영상보정기법을 이용해 실험적인 데이터를 얻어 임상에 적용하기 위해서는 핵의학 검사자들의 끊임없는

• Received: August 29, 2013. Accepted: November 2, 2013.
• Corresponding author : **Byung Ho Shin**
Department of Nuclear Medicine, SMG-SNU Boramae Medical Center, 20 Boramae-ro 5-gil, Dongjak-gu, Seoul 156-707, Korea
Tel: +82-2-870-2594, Fax: +82-2-870-2587
E-mail: jpsme@naver.com

연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 SPECT/CT 검사별로 사용되어지는 방사성동위원소의 종류와 에너지 준위가 다른 방사성동위원소를 이용하여 CT를 기초로 한 감쇠보정과 산란보정을 적용하였을 때 raw data의 분해능과 대조도를 평가하여 영상의 질 개선에 도움이 되는지를 알아보고, 보정을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때 영상보정기법의 유용성을 평가해보았다.

실험재료 및 방법

1. 실험대상 및 방법

이 실험에서 사용한 장비는 GE Infinia Hawkey4 (GE Medical systems, USA)이고(Fig. 1), collimator는 각 방사성동위원소에 따라 low energy high resolution (LEHR), low energy general purpose (LEGP), high energy general purpose (HEGP) (Fig. 2)



Fig. 1. The experiments were performed by SPECT/CT-GE Infinia Hawkey4 (GE Medical Systems, USA).



Fig. 2. These collimators were used for experiments (LEHR, LEGP, HEGP).

총 3종류의 collimator가 사용되었다. 영상의 분해능 평가를 위해 spatial resolution phantom (Fig. 3)을 사용하였고 대조도 평가를 위해 Standard Jaszczak phantom (Fig. 4)이 사용되었다.

2. 분해능 평가

1) 실험방법

분해능 평가를 위해 spatial resolution phantom의 내부에 물을 채우고 세 가지 서로 다른 에너지를 가진 방사성동위원소 ^{99m}Tc (140 keV, 2.22 kBq), ^{201}Tl (70 keV, 2.22 kBq), ^{131}I (364 keV, 2.22 kBq)을 각각 line에 주입하여 phantom을 제작하였다. ^{99m}Tc 의 분해능 평가 실험에서는 LEHR collimator를 장착하여 SPECT/CT table의 정중앙에 phantom을 위치시키고, acquisition parameter는 본원에서 사용하는 기존 프로토콜을 적용하였다. 128×128 matrix size, rotation 360, 120 frames, orbit circular로 total counts 700 kcounts를 획득하고, reconstruction



Fig. 3. This figure is showing the spatial resolution phantom for resolution test.

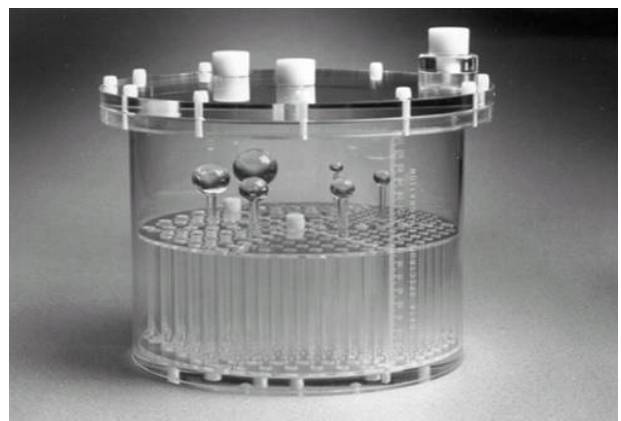


Fig. 4. This figure is showing the Standard Jaszczak phantom (hot sphere) for contrast test.

method는 2 iterations, 10 subsets의 설정으로 OSEM (Ordered-Subset Expectation Maximization) 방식을 채택하여 SPECT/CT 영상을 획득하였다. ^{201}Tl , ^{131}I 의 분해능 평가 실험에서는 collimator를 각각 LEGP, HEGP를 사용하여 collimator를 제외한 모든 parameter들을 동일하게 적용하여 영상을 획득하였다.

획득한 영상을 non-correction (NC), attenuation correction (AC), scatter correction (SC), 두 가지 영상보정기법을 동시에 적용한(ACSC) 4가지 조건을 적용하였을 때 분해능을 평가해 보았다.

2) 분석방법

각 방사성동위원소를 주입한 phantom의 영상을 획득하고, GE Xeleris Workstation[®]에서 4가지 조건을 적용하였다. 각 조건마다 총 20개의 횡단면 재구성 영상의 선 프로파일을 적

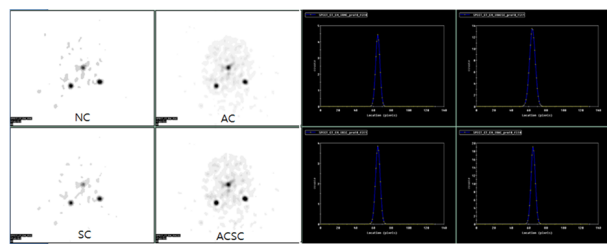


Fig. 5. The images are acquired by GE Xeleris Workstation[®] by applying 4 conditions and X-profile Gaussian curve of transaxial images for $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

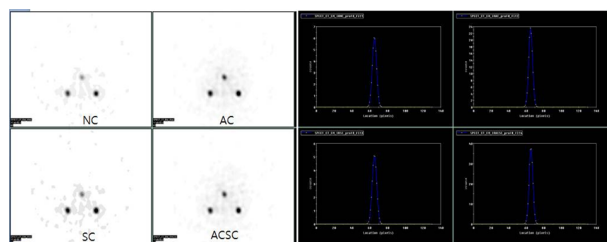


Fig. 6. The images are acquired by GE Xeleris Workstation[®] by applying 4 conditions and X-profile Gaussian curve of transaxial images for ^{201}Tl .

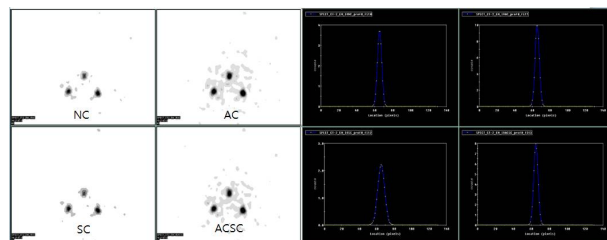


Fig. 7. The images are acquired by GE Xeleris Workstation[®] by applying 4 conditions and X-profile Gaussian curve of transaxial images for ^{131}I .

용하여 FWHM (Full Width at Half Maximum) 값을 나타내 보았다(Fig. 5-7). 각 조건으로부터 얻어진 FWHM 값은 Mean $\pm$ SD값과 paired samples *t*-test를 통하여 유의수준 관계를 분석하였다.

3. 대조도 평가

1) 실험방법

$^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl , ^{131}I 을 각각 Standard Jaszczak phantom에 주입하여 배후방사능과 열소의 방사능 비율이 1:8이 되도록 제작하고, 분해능 평가와 마찬가지로 collimator를 제외한 모든 acquisition parameter와 reconstruction method를 동일하게 적용하여 영상을 획득하였다.

2) 분석방법

GE Xeleris Workstation[®]에서 재구성된 횡단면 영상에 4가

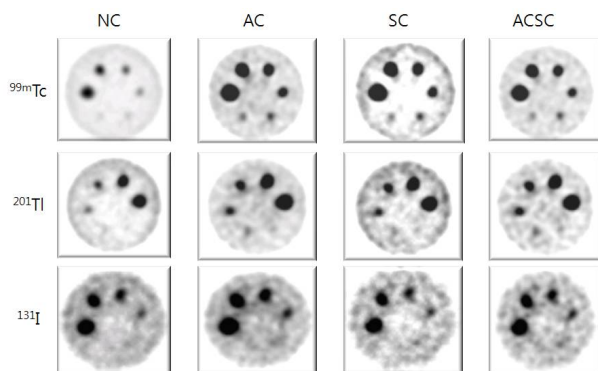


Fig. 8. The transaxial images are acquired by GE Xeleris Workstation[®] by applying 4 conditions for 3 radioisotopes.

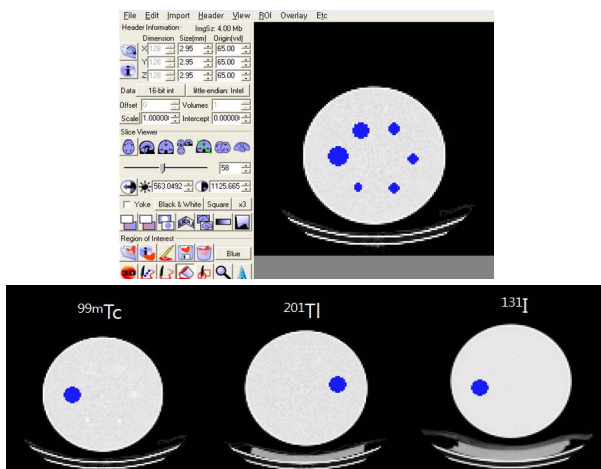


Fig. 9. This figure is showing the analysis of manual both spheres and BKG ROI measurement with MRIcro[®].

$$Q_{H,j} = \frac{C_{H,j} / C_{B,j} - 1}{a_H / a_B - 1} \times 100\%$$

Fig. 10. This figure is the formula for analysis of percent contrast(%).

지 조건을 적용하여 획득한 영상에(Fig. 8) MATLAB (Ver.7.0)[®]과 MRicro[®]를 이용하여 영상의 배후방사능 관심영역과 열소 부위의 관심영역을 설정하여(Fig. 9) 각각의 counts를 아래 수식에 적용한 후 percent contrast(%)를 구해보았다(Fig. 10).

결 과

1. 분해능 평가

분해능 평가에서 총 20개의 횡단면 영상에 4가지 조건을 각각 적용하였을 때 ^{99m}Tc 실험에서 FWHM (mm)의 Mean±SD 값은 각각 4.97±0.46, 4.73±0.27, 4.97±0.39, 4.60±0.26로 나타났다. NC를 기준으로 비교하였을 때 3가지 동위원소에 대해 공통적으로 AC를 포함한 영상보정기법에서는 그 값이 낮게 나타남을 알 수 있었다. P값 유의성은 0.05 미만(P<0.05)으로 통계적으로 유의한 차이를 보였지만, SC만을 적용하였을 때는 유의한 차이가 없음(P>0.05)을 보여주었다(Table 1, Fig. 11).

²⁰¹Tl의 분해능 평가 실험에서도 공통적으로 ACSC를 적용하였을 때 FWHM값이 가장 낮게 나타났으며, SC만을 적용한 경우는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05) (Table 2, Fig. 12).

반면, ¹³¹I을 이용한 실험에서 ACSC를 동시에 적용한 영상의 FWHM값은 AC만을 적용한 영상보다 높게 나타남을 확인할 수 있었다(Table 3, Fig. 13).

2. 대조도 평가

대조도 평가는 열소원통 31.8, 25.4, 19.1, 15.9, 12.7, 9.5 mm에 대해 percent contrast (%)값을 도출하였고, 아래 그래프와 같이 각 방사성동위원소의 결과 값을 확인할 수 있었다. NC를 기준으로 비교하였을 때 공통적으로 3가지 동위원소에서 AC와 SC를 동시에 적용한 영상의 percent contrast (%) 값이 가장 높음을 확인할 수 있었고, AC를 적용했을 때 보다 SC를 적용했을 때의 percentage가 더 높게 나타났다. 단, 12.7 mm와 9.5 mm의 열소원통에서는 유의한 차이를 보이지 않아 상위 4개의 열소원통에 대해서만 percent difference (%)값을 나타내보았다. NC와 AC, SC, ACSC를 각각 비교하였을 때 percent difference (%)값은 ^{99m}Tc에서 24.73, 38.10, 67.31%의 차이를 보였고, ²⁰¹Tl은 30.90, 51.82, 86.02%의 차이를, ¹³¹I에서는 18.60, 46.26, 73.67%의 차이를 보였다(Fig. 14).

고찰 및 결론

감마카메라의 장비 성능에 따라 영상의 분해능 및 대조도가 차이가 나지만 검사에 사용되는 방사성동위원소의 에너지 준위에 따라서도 그 차이를 확인할 수 있었다. 본 연구는 감마카메라에서 에너지가 서로 다른 방사성동위원소를 사용함으로써 그에 따른 영상보정기법이 제대로 적용되고 있는지 또 영상의 질 개선이 실제로 이루어지는지에 대해 초점을 두고 진행되었다.

CT를 기초로 한 AC를 적용했을 때 3가지 동위원소에서 영상의 질 향상을 볼 수 있었고, SC는 contrast enhancement에 효과가 있는 것으로 나타났다. ^{99m}Tc, ²⁰¹Tl과 같은 에너지 준위가 낮은 핵종에 대해서는 AC와 SC를 동시에 적용하였을

Table 1. The results of resolution test applying 4 conditions for ^{99m}Tc

	Right (mm)	Center (mm)	Under (mm)	Mean±SD (mm)	P-value
NC	5.00	4.94	4.96	4.97±0.46	-
AC	4.67	4.74	4.77	4.73±0.27	0.0023
SC	4.98	5.02	4.90	4.97±0.39	0.8651
ACSC	4.57	4.59	4.65	4.60±0.26	0.0008

Table 2. The results of resolution test applying 4 conditions for ²⁰¹Tl

	Right (mm)	Center (mm)	Under (mm)	Mean±SD (mm)	P-value
NC	5.16	5.34	5.28	5.26±0.28	-
AC	5.05	5.17	5.21	5.14±0.21	0.0273
SC	5.17	5.29	5.30	5.25±0.25	0.5664
ACSC	4.97	5.05	5.12	5.05±0.23	0.0004

때 분해능과 대조도가 가장 많이 향상된 것으로 보아 두 가지 영상보정기법이 매우 유용함을 알 수 있었다. 하지만 에너지 준위가 높은 ^{131}I 에서는 AC만을 적용하였을 때가 분해능 향상에 가장 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서, SPECT/CT 검사에서 영상의 질 향상을 위해 각 검사마다 영상보정기법을 무조건 적용하는 것이 아닌 사용되는 방사성동위원소에 따라 보정기법을 적절하게 응용한다면 실제 임상과 검사 목적에 따른 보다 유용한 진단적 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 실험은 현재 핵의학과에서 많이 사용되어지고 있는 방사성동위원소를 대상으로 시행되었지만 중 에너지 범위에 속하는 ^{111}In (171, 245 keV), ^{67}Ga (93, 184, 296 keV) 등의 다른 핵종에 대해서도 SPECT/CT 장비를 이용하여 영상보정기법을 적용하였을 때 에너지 준위가 다른 핵종과 비교해서 어떤 결과를 얻을 수 있을지 차후 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 각기 다른 에너지의 방사성동위원소를 이용하여 CT를 기초로 한 attenuation correction (AC)과 scatter correction (SC)을 적용했을 때 영상의 질을 비교분석하고 영상보정기법의 유용성에 대해 알아보려고 하였다. Resolution 평가를 위해 사용된 spatial resolution phantom 내부에 물을 채우고 각각의 동위원소 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (140 keV, 2.22 kBq), ^{201}Tl (70 keV, 2.22 kBq), ^{131}I (364 keV, 2.22 kBq)을 line에 주입하여 제작하였다. Contrast 평가를 위해 이용한 Jaszczak phantom은



Fig. 12. These values of mean±SD are obtained by applying 4 conditions with ^{201}Tl .

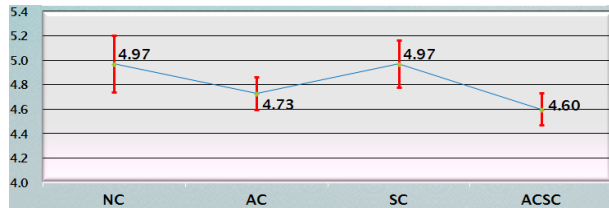


Fig. 11. These values of mean±SD are obtained by applying 4 conditions with $^{99\text{m}}\text{Tc}$. There were obvious difference with statistical analysis when it comes to apply AC and ACSC.

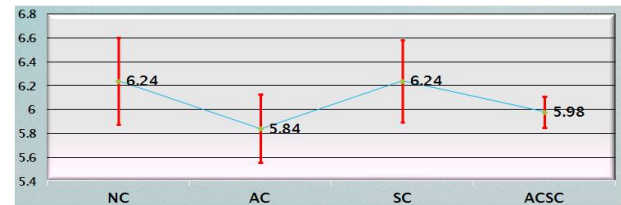


Fig. 13. These values of mean±SD are obtained by applying 4 conditions with ^{131}I . AC would be better than ACSC for resolution improvement.

Table 3. The results of resolution test applying 4 conditions ^{131}I

	Right (mm)	Center (mm)	Under (mm)	Mean±SD (mm)	P-value
NC	6.40	6.43	5.88	6.24±0.73	-
AC	5.63	6.04	5.86	5.84±0.57	0.0096
SC	6.40	6.36	5.97	6.24±0.69	0.6917
ACSC	6.02	6.07	5.86	5.98±0.26	0.0294

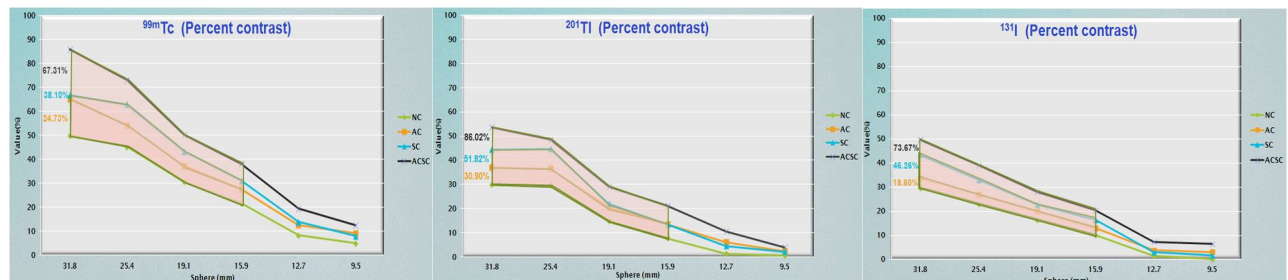


Fig. 14. These graphs are percent contrast values according to radioisotopes. Commonly, the value of percent contrast to apply SC was higher than its applied AC.

배후방사능과 열소원통의 비율이 1:8이 되도록 각각의 동위원소를 주입하여 제작하였다. GE Infinia Hawkeye4 SPECT/CT (GE Medical System, USA)로 영상을 획득하고, non-correction (NC), AC, SC, AC와 SC가 동시에 적용된(ACSC) 4가지 조건으로 OSEM (2 iterations, 10 subsets)을 이용하여 영상을 각각 재구성하였다. FWHM값은 paired samples *t*-test를 통하여 유의수준 관계를 분석하였고, percent contrast (%)값은 MATLAB (Ver.7.0)[®]과 MRICro[®]를 이용하여 각각의 수치를 비교하였다. ^{99m}Tc의 resolution test에서 NC, AC, SC, ACSC를 각각 적용했을 때 FWHM (mm)값은 각각 4.97±0.46, 4.73±0.27, 4.97±0.39, 4.60±0.26, ²⁰¹Tl에서는 5.26±0.28, 5.14±0.21, 5.25±0.25, 5.05±0.23, ¹³¹I에서는 6.24±0.73, 5.84±0.57, 6.24±0.69, 5.98±0.52의 값을 얻을 수 있었다. 각 방사성 동위원소의 결과 값에서 NC와 비교하여 AC, ACSC를 적용했을 때 통계적으로 유의한 차이를 보였고(*P*<0.05), SC만을 적용했을 때는 유의한 차이가 없음을 보여주었다(*P*>0.05). Contrast test에서는 percent contrast(%)를 4개의 원통에 대한 값을 구했고, NC와 비교했을 때 AC, SC, ACSC의 percent difference (%)가 ^{99m}Tc은 24.73, 38.10, 67.31, ²⁰¹Tl은 30.90, 51.82, 86.02, ¹³¹I에서는 18.60, 46.26, 73.67의 차이를 보였다. 본 연구의 결과에 따르면 ^{99m}Tc, ²⁰¹Tl과 같은 낮은 에너지를 가진 핵종에 대해서는 ACSC를 동시에 적용한 영상에서 resolution 향상이 가장 크게 나타났지만, ¹³¹I 같은 높은 에너지의 핵종에서는 AC만 적용되었을 때 ACSC를 적용했을 때보다 영상의 질이 더 향상됨을 알 수 있었다. 그러므로 SPECT/CT 검사 시 사용되는 핵종의 에너지

에 따라 적절한 영상보정기법을 적용한다면 정확한 진단을 위한 최적의 영상을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Johannes Z, Alexander Hans V, Amos Y, Joachim H, Torsten K. Quantitative accuracy of clinical ^{99m}Tc SPECT/CT using ordered-subset Expectation Maximization with 3-dimensional resolution recovery, attenuation and scatter correction. J Nucl Med 2010;51:921-928.
2. Aju PP, Jelena-Rima G, Rene N, Mathias W, Ronny RB, Silke M, et al. Improved outcome prediction by SPECT myocardial perfusion imaging after CT attenuation correction. J Nucl Med 2011;52:196-200.
3. Libo C, Quanyong L, Yan S, Yongli Y, Zhibin Y, Hankui L, et al. Incremental value of ¹³¹I SPECT/CT in the management of patients with differentiated thyroid carcinoma. J Nucl Med 2008;49:1952-1957.
4. William CL, Sibyll G, Kent PF, Jeffrey PL, Zhe Z, Elizabeth GM, et al. Comparison of SPECT/CT, SPECT and Planar imaging with single-and dual phase ^{99m}Tc-sestamibi parathyroid scintigraphy. J Nucl Med 2007;48:1084-1089.
5. Youngho S, Kenneth HW, Mingshan S, Benjamin LF, Randall AH, Bruce HH. Correction of photon attenuation and collimator response for a body-contouring SPECT/CT imaging system. J Nucl Med 2005;46:868-877.
6. Jianbin X, Tim Cd, Wojciech Z, Steven GS, Freek JB. Evaluation of 3D Monte carlo-based scatter correction for ²⁰¹Tl cardiac perfusion SPECT. J Nucl Med 2007;48:637-644.