

Original Article

SPECT/CT에서 CT를 기반으로 한 Attenuation Correction의 정확도 평가

서울특별시 보라매병원¹, 서울대학교병원², 서울대학교 의과대학 핵의학교실³
김승정¹ · 김재일² · 김정수² · 김태엽¹ · 김수미³ · 우재룡¹ · 이재성^{2,3} · 김유경^{1,3}

Accuracy Evaluation of CT-Based Attenuation Correction in SPECT with Different Energy of Radioisotopes

Seung Jeong Kim¹, Jae Il Kim², Jung Soo Kim², Tae Yeop Kim¹, Soo Mee Kim³, Jae Ryong Woo¹,
Jae Sung Lee^{2,3} and Yoo 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, Seoul National University, Seoul, Korea

Purpose: In this study, we evaluated the accuracy of CT-based attenuation correction (AC) under the conventional CT protocol (140 kVp, on average 50-60 keV) by comparing the SPECT image qualities of different energy of radioisotopes, ²⁰¹Tl, ^{99m}Tc and ¹³¹I. **Materials and Methods:** Using a cylindrical phantom, three different SPECT scans of ²⁰¹Tl (70 keV, 55.5 MBq), ^{99m}Tc (140 keV, 281.2 MBq) and ¹³¹I (364 keV, 96.2 MBq) were performed. The CT image was obtained with 140 kVp and 2.5 mA in GE Hawkeye 4. The OSEM reconstruction algorithm was performed with 2 iterations and 10 subsets. The experiments were performed in the 4 different conditions; non-AC and non-scatter correction (SC), only AC, only SC, AC and SC in terms of uniformity and center to peripheral ratio (CPR). **Results:** The uniformity was calculated from the uniform whole region in the reconstructed images. For ²⁰¹Tl and ^{99m}Tc, the uniformities were improved by about 10-20% AC was applied, but these were decreased by about 2% as SC was applied. The uniformity of ¹³¹I was slightly increased as both AC and SC were applied. The CPR of the reconstructed image was close to one, when AC was applied for ²⁰¹Tl and ^{99m}Tc scans and ¹³¹I was distant from 1 and that is only AC. **Conclusion:** The image uniformity improved by AC on low energy likely to ²⁰¹Tl and ^{99m}Tc. However, image uniformity of high energy such as ¹³¹I was improved, when both AC and SC was applied. (**Korean J Nucl Med Technol 2013;17(1):25-29**)

Key Words : Attenuation correction, Scatter correction, Uniformity, Center to peripheral ratio

서론

일반적으로 SPECT/CT는 X-ray CT를 이용하여 감쇠 보정(attenuation correction, AC)을 한다. 핵의학과에서 가장 많이 사용하는 ²⁰¹Tl, ^{99m}Tc, ¹³¹I 각각의 평균 에너지는 70,

167 keV, 140 keV, 364 keV이고, 감쇠 보정에 이용되는 CT는 120-140 kVp이다. 에너지 영역에 따라 30-130 keV에서는 광전 효과와 콤프턴 산란이 많이 일어나고, 200 keV 이상에서는 콤프턴 산란이 지배적으로 일어나게 되는데, 각 3가지 핵종과 평균 에너지가 약 40-50 keV인 CT의 에너지 영역이 서로 비슷하거나 다른 상태로 감쇠 보정 및 산란 보정(scatter correction, SC)이 이루어지고 있다. 이에 본 논문은 서로 다른 에너지 영역인 3가지 핵종과 CT와의 감쇠 보정 및 산란 보정이 잘 이루어지고 있는지 평가하고자 한다.

• Received: January 31, 2013. Accepted: April 6, 2013.
• Corresponding author : **Seung Jeong Kim**
Department of Nuclear Medicine, SMG-SNU Boramae Medical Center, 20 Boramae-ro 5-gil, Dongjak-gu, Seoul 156-707, Korea
Tel: +82-2-870-2589, Fax: +82-2-870-2587
E-mail: seungjeong1@naver.com

실험재료 및 방법

1. 실험대상 및 방법

이 실험에 사용한 장비는 Hawkeye 4 SPECT/CT (GE Healthcare, USA)이고(Fig. 1), Jaszczak ECT phantom에서 insert를 모두 빼낸 cylindrical phantom을 사용하였으며



Fig. 1. The experiments were performed by Hawkeye 4 SPECT/CT in GE.

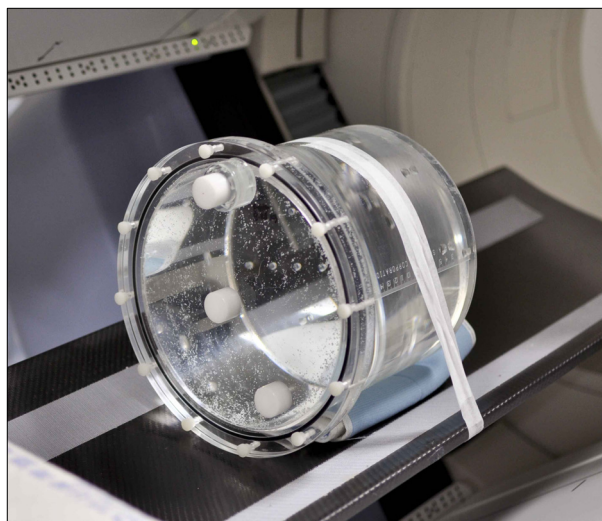


Fig. 2. The cylindrical phantom was Flanged Jaszczak ECT phantom without insert.

(Fig. 2), phantom에 ^{201}Tl 은 55.5 MBq (2 mCi), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 은 281.2 MBq (7.6 mCi), ^{131}I 은 96.2 MBq (2.66 mCi)를 주입하였다. 모든 SPECT는 frame 당 약 50 kcounts, 총 120 frame을 획득하였고, CT는 140 kVp, 2.5 mA로 설정하여 영상을 얻었다. 획득한 영상은 OSEM (iteration: 2, subset: 1), Gaussian filter 2 mm로 재구성하였다.

2. 평가 방법

재구성한 영상으로 감쇠 보정 적용 유무, 산란 보정 적용 유무를 서로 비교했다. 즉, 보정하지 않는 영상을 기준으로 CT를 이용하여 감쇠 보정한 영상, 3가지 핵종의 산란 에너

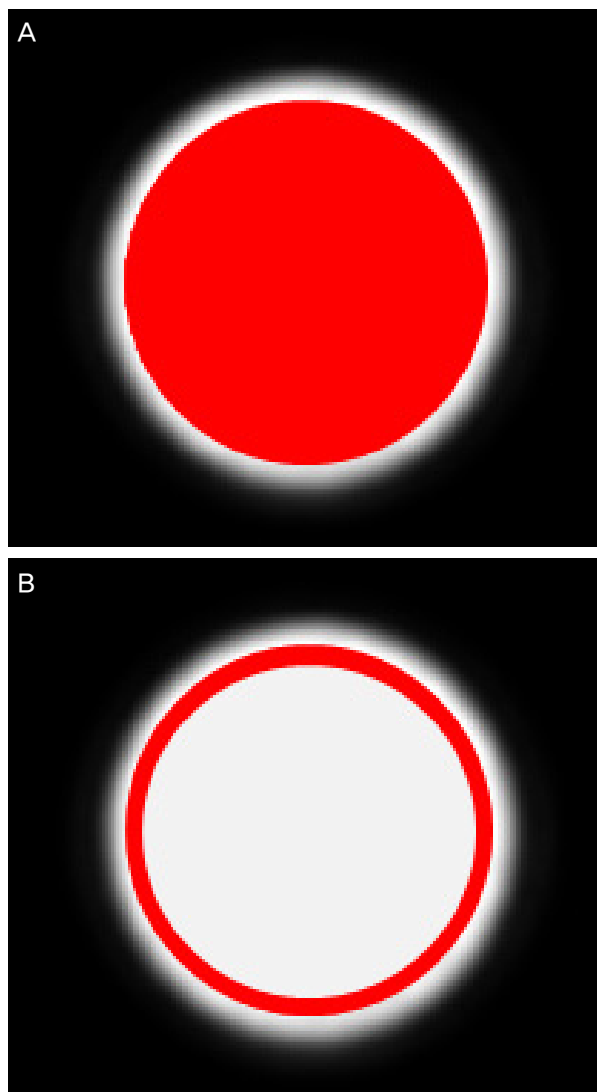


Fig. 3. The reconstruction images evaluated the total uniformity and center to peripheral ratio. (A) Total uniformity, (B) Peripheral uniformity.

지를 이용하여 산란 보정한 영상, 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상으로 정확도를 평가하였다. 감쇠 보정은 140 kVp, 2.5 mA의 조건을 사용하는 CT를 이용하였고, 산란 보정은 ^{201}Tl 54 keV, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 120 keV, ^{131}I 297 keV의 산란 에너지를 이용하였다. 위의 4가지 영상의 평가 방법은 total uniformity와 center to peripheral ratio (CPR)이다.

1) Total uniformity

Total uniformity는 전체 slice를 합친 영상 위에 바깥쪽의 얇은 아크릴 부분을 제외한 ROI를 그리고(Fig. 3-A), 다음과 같은 식으로 uniformity를 구하였다.

$$\% \text{Uniformity} = \left[1 - \frac{SD}{mean} \right] \times 100$$

2) Center to peripheral ratio

CPR은 center uniformity와 peripheral uniformity의 비율이다. 도넛 모양의 peripheral ROI는 total ROI에서 smaller ROI를 제거하여 만들었고, 이때 total ROI와 smaller ROI의 크기는 지름이 약 2 cm 정도 차이가 나게 그렸다(Fig. 3-B). Center ROI의 크기는 total ROI 면적의 30% 정도로 그렸고 이는 peripheral ROI와 center ROI의 면적을 같게 하기 위해 설정하였다.

$$CPR = \frac{\text{centric uniformity}}{\text{peripheral uniformity}}$$

결 과

^{201}Tl 영상의 total uniformity의 결과는 감쇠 보정만 한

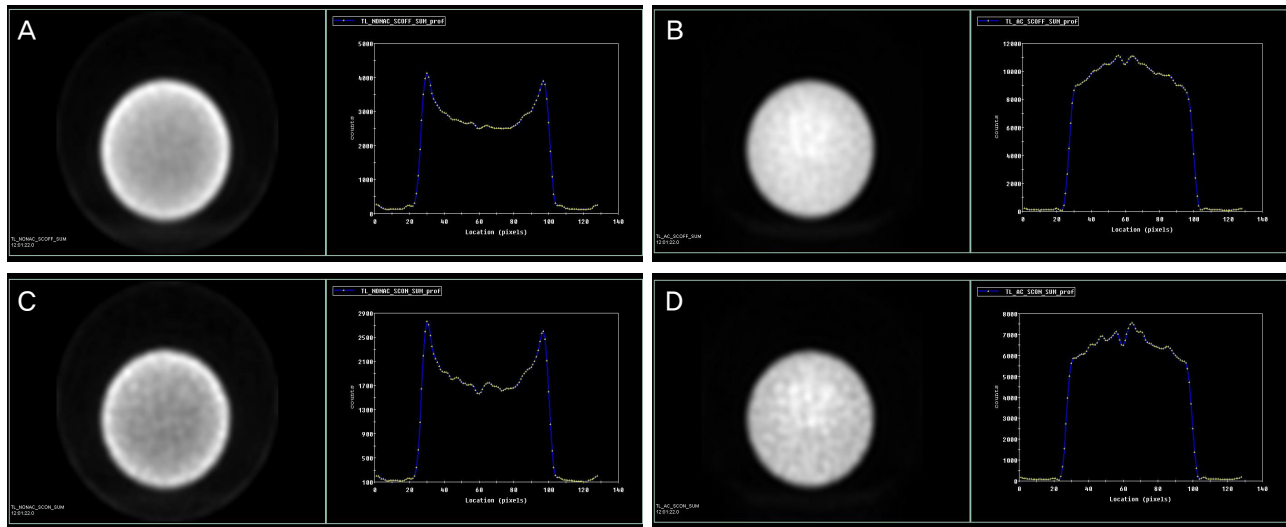


Fig. 4. The results showed reconstructed images and profiles of ^{201}Tl .

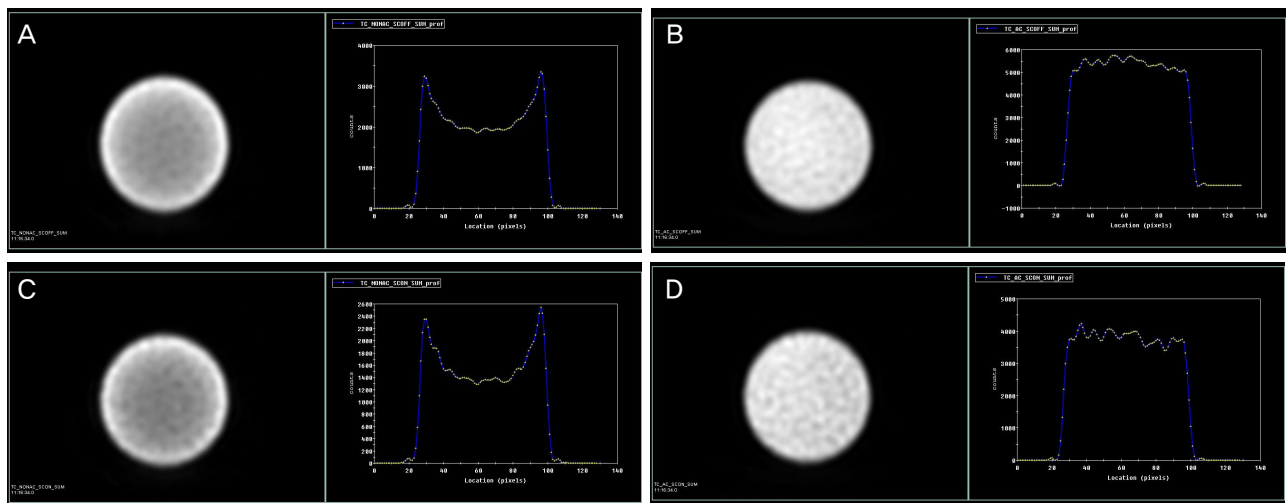


Fig. 5. The results showed reconstructed images and profiles of $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

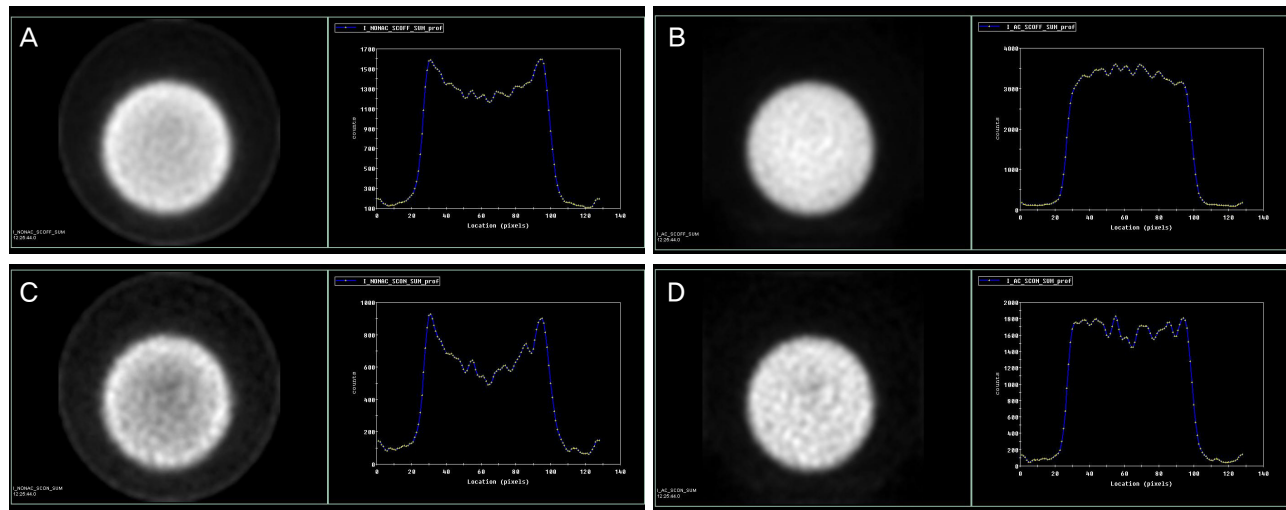


Fig. 6. The results showed reconstructed images and profiles of ^{131}I .

Table 1. Total uniformity

	Non-AC & non SC	Only AC	Only SC	Both AC & SC
^{201}Tl	86.82 ± 0.73	93.09 ± 0.94	84.80 ± 0.57	91.82 ± 1.05
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	85.52 ± 1.89	96.05 ± 0.11	82.80 ± 1.81	94.90 ± 0.53
^{131}I	92.39 ± 1.50	92.39 ± 2.24	85.14 ± 0.88	92.22 ± 2.32

Table 2. Center to peripheral ratio

	Non-AC & non SC	Only AC	Only SC	Both AC & SC
^{201}Tl	1.05	0.99	1.06	0.98
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.08	1.01	1.09	1.01
^{131}I	1.03	1.08	0.99	1.02

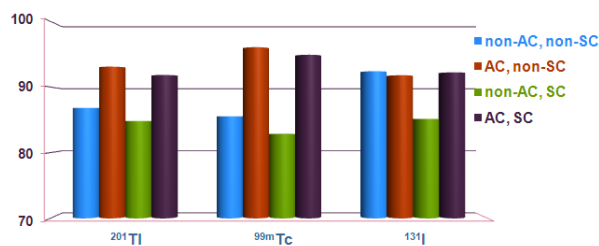


Fig. 7. The results of total uniformity showed in graph.

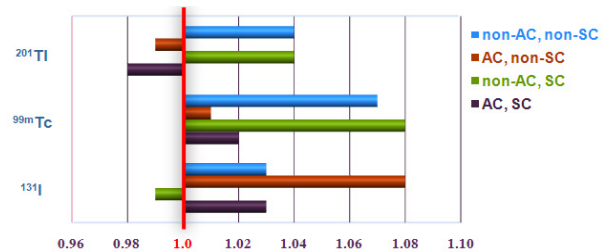


Fig. 8. The results of center to peripheral ratio showed in graph.

영상과 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상에서 각각 93.09 ± 0.94 , 91.82 ± 1.05 로 높게 나타났고(Table 1, Fig. 7), CPR의 결과도 각각 0.99, 0.98로 1에 가깝게 나타났다(Table 2, Fig. 8). 또한 재구성 영상의 profile에서 보정하지 않은 영상과 산란 보정만 적용한 영상보다 감쇠 보정만 한 영상과 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상에서 약 20-30%정도 중심부가 높아진 것을 볼 수 있다(Fig. 4).

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 영상의 total uniformity의 결과는 ^{201}Tl 결과와 비슷하게 감쇠 보정만 한 영상과 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상에서 각각 96.05 ± 0.11 , 94.90 ± 0.53 으로 나타

났고(Table 1, Fig. 7), CPR의 결과도 각각 1.01, 1.01로 1에 가깝게 나타났다(Table 2, Fig. 8). 또한 재구성 영상의 profile에서도 감쇠 보정만 한 영상과 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상에서 약 10% 정도 중심부가 높아진 것을 볼 수 있다(Fig. 5).

고에너지인 ^{131}I 영상의 total uniformity의 결과는 산란 보정만 적용한 영상에서 85.14 ± 0.88 로 낮게 나타났고(Table 1, Fig. 7), CPR의 결과는 산란 보정만 적용한 영상과 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상에서 각각 0.99, 1.02로 1에 가깝게 나타났다(Table 2, Fig. 8). 또한 재구성 영상

의 profile에서 감쇠 보정만 한 영상과 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상에서 가장자리와 중심부가 균등한 것을 볼 수 있다(Fig. 6).

결론

본 실험의 결과를 요약해 보면 ^{201}Tl 과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 는 감쇠 보정을 적용한 영상에서, ^{131}I 에서는 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용할 때 uniformity가 향상되었다고 보인다. 광전 효과와 콤프턴 산란이 발생하는 영역 내에 포함되는 ^{201}Tl 과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 는 감쇠 보정에 의해 영향을 많이 받았다. 그러나 산란선이 많은 영역에 속하는 ^{131}I 의 uniformity는 감쇠 보정만 적용한 경우에는 큰 영향을 미치지 않았지만 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 영상에는 uniformity 향상을 보였다. 이는 고에너지와 고에너지 콜리메이터를 사용함으로써 산란선이 더욱 많이 발생하여 uniformity와 CPR에 영향을 많이 미친다고 생각한다.

이번 실험에서의 한계점으로는 GE사의 Hawkeye 4 SPECT/CT 장비의 CT 사용 전압을 변경하여 실험할 수 없는 단점과 방사성동위원소의 에너지에 따른 콜리메이터 적용을 다양화하지 못한 점, 더 다양한 에너지의 구성과 다양한 에너지마다 달라질 수 있는 영상의 재구성 알고리즘의 설정, 평가 방법의 세분화 등이 있었다. 이러한 한계점들을 보완한다면 더 많은 정보들을 얻을 수 있고, 에너지에 따른 결과를 더 세분화 할 수 있을 것이다.

요약

SPECT/CT에서 140 kVp를 사용하는 CT 평균 에너지를 60 keV로 가정하고, CT 평균 에너지와 ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I 의 각기 다른 3가지 에너지를 서로 비교하여 감쇠 보정과 산란 보정의 정확도를 평가하고자 한다. Cylindrical phantom에 ^{201}Tl 은 55.5 MBq (2 mCi), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 은 281.2 MBq (7.6 mCi), ^{131}I 은 96.2 MBq (2.66 mCi)를 주입하고 장비는 GE사의 Hawkeye 4 SPECT/CT를 사용하였다. 모든 SPECT는 frame 당 약 50 kcounts, CT는 140 kVp, 2.5 mA로 하여 영

상을 얻었다. 영상은 OSEM (iteration: 2, subset: 10)으로 재구성하였고, 이때 감쇠 보정 적용 유무, 산란 보정 적용 유무를 서로 비교했다. 전체 phantom 영상의 uniformity를 모두 측정하고, center to peripheral ratio (CPR)를 구하여 평가하였다. ^{201}Tl 과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 의 재구성 영상에 감쇠 보정만 적용한 경우 약 10-20% 정도 uniformity가 향상되지만, SC만 적용한 경우에는 약 2% 감소하였다. ^{131}I 의 uniformity는 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 경우에 조금 향상되었다. 또한 CPR은 ^{201}Tl 과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 에서 감쇠 보정만 적용한 경우에 1에 가까웠고, ^{131}I 의 영상에서는 감쇠 보정만 적용한 경우 1에 가깝지 않은 결과가 나타났다. SPECT/CT에서 140 kVp의 CT 평균 에너지를 60 keV이라고 가정했을 때, 대체적으로 에너지가 낮은 ^{201}Tl 과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 은 감쇠 보정만 적용한 경우에 uniformity가 향상되었고, 에너지가 높은 ^{131}I 은 감쇠 보정과 산란 보정을 모두 적용한 경우에만 향상되었다.

REFERENCES

1. Konik A, Koesters T, Madsen MT, Sunderland JJ. Evaluation of Attenuation and Scatter Correction Requirements as a Function of Object Size in Small Animal PET Imaging. 2011;58:2308-2314.
2. Johannes Zeintl, Alexander H Vija, Amos Yahil, Joachim Hornegger, Torsten Kuwert. Quantitative Accuracy of Clinical $^{99\text{m}}\text{Tc}$ SPECT/CT Using Ordered-Subset Expectation Maximization with 3-Dimensional Resolution Recovery, Attenuation and Scatter Correction. J Nucl Med 2010;51:921-928.
3. S Shcherbinin, A Celler, T Belhocine, R Vanderwerf, A Driedger. Accuracy of quantitative reconstructions in SPECT/CT imaging. Phys Med Biol 2008;53:4595-4304.
4. Patton JA, Turkington TG. SPECT/CT Physical Principles and Attenuation Correction. J Nucl Med 2008;36: 1-10.
5. 김진수, 이재성, 천기정. Physical Artifact Correction in Nuclear Medicine Imaging: Normalization and Attenuation Correction. Nucl Med Mol Imaging 2008;42:112-117.
6. 김진수, 이재성, 이동수, 박은경, 김종효, 김재일 외. Quantitative Differences between X-Ray CT-Based and ^{137}Cs -Based Attenuation Correction in Philips Gemini PET/CT. Nucl Med Mol Imaging 2005;39:182-190.