

감마카메라의 Sensitivity 보정 Factor에 관한 연구 - 전신 뼈 영상을 중심으로 -

서울아산병원 핵의학과

정은미 · 정우영 · 류재광 · 김동석

The Correction Factor of Sensitivity in Gamma Camera - Based on Whole Body Bone Scan Image -

Eun Mi Jung, Woo Young Jung, Jae Kwang Ryu, Dong Seok Kim

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

Purpose: Generally a whole body bone scan has been known as one of the most frequently executed exams in the nuclear medicine fields. Asan medical center, usually use various gamma camera systems - manufactured by PHILIPS (PRECEDENCE, BRIGHTVIEW), SIEMENS (ECAM, ECAM signature, ECAM plus, SYMBIA T2), GE (INFINIA) - to execute whole body scan. But, as we know, each camera's sensitivity is not same so it is hard to consistent diagnosis of patients. So our purpose is when we execute whole body bone scans, we exclude uncontrollable factors and try to correct controllable factors such as inherent sensitivity of gamma camera. In this study, we're going to measure each gamma camera's sensitivity and study about reasonable correction factors of whole body bone scan to follow up patient's condition using different gamma cameras. **Materials and Methods:** We used the ^{99m}Tc flood phantom, it recommend by IAEA recommendation based on general counts rate of a whole body scan and measured counts rates by the use of various gamma cameras - PRECEDENCE, BRIGHTVIEW, ECAM, ECAM signature, ECAM plus, IFINIA - in Asan medical center nuclear medicine department. For measuring sensitivity, all gamma camera equipped LEHR collimator (Low Energy High Resolution multi parallel Collimator) and the ^{99m}Tc gamma spectrum was adjusted around 15% window level, the photo peak was set to 140-kev and acquired for 60 sec and 120 sec in all gamma cameras. In order to verify whether can apply calculated correction factors to whole body bone scan or not, we actually conducted the whole body bone scan to 27 patients and we compared it analyzed that results. **Results:** After experimenting using ^{99m}Tc flood phantom, sensitivity of ECAM plus was highest and other sensitivity order of all gamma camera is ECAM signature, SYMBIA T2, ECAM, BRIGHTVIEW, IFINIA, PRECEDENCE. And yield sensitivity correction factor show each gamma camera's relative sensitivity ratio by yielded based on ECAM's sensitivity. (ECAM plus 1.07, ECAM signature 1.05, SYMBIA T2 1.03, ECAM 1.00, BRIGHTVIEW 0.90, INFINIA 0.83, PRECEDENCE 0.72) When analyzing the correction factor yielded by ^{99m}Tc experiment and another correction factor yielded by whole body bone scan, it shows statistically insignificant value ($p < 0.05$) in whole body bone scan diagnosis. **Conclusion:** In diagnosing the bone metastasis of patients undergoing cancer, whole body bone scan has been conducted as follow up tests due to its good points (high sensitivity, non invasive, easily conducted). But as a follow up study, it's hard to perform whole body bone scan continuously using same gamma camera. If we use same gamma camera to patients, we have to consider effectiveness of equipment's change by time elapsed. So we expect that applying sensitivity correction factor to patients who tested whole body bone scan regularly will add consistence in diagnosis of patients. (*Korean J Nucl Med Technol* 2008;12(3):208-213)

Key Words : Sensitivity, Correction factors, Bone scan

• 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

서 론

전신 뼈 검사는 핵의학에서 시행되는 가장 일반적인 검사의 하나로 뼈의 생리적인 변화를 영상기전으로 이용하기 때문에 골 병변을 발견하는데 매우 유용하다. 특히, 암 환자의 골 전이 진단에 있어 예민도가 매우 높고 비침습적이며 비교적 쉽게 시행할 수 있는 장점이 있어 추적검사(follow-up)로 널리 이용되고 있다.¹⁾ 그러나, 추적 검사 시 가급적 영상 획득 조건이 동일한 것이 바람직하지만, 환자의 수분 공급 상태, 신기능, 산란 물질뿐만 아니라 방사성의약품의 질, 스캔 간격 등의 여러 요인에 의하여 조금씩 변한다.²⁾ 그리고 이러한 대부분의 요인들은 검사 시 인위적으로 통제하는 것이 현실적으로 매우 불가능하다.

현재 서울아산병원 핵의학과에서는 PHILIPS (PRECEDENCE, BRIGHTVIEW), SIEMENS (ECAM, ECAM signature, ECAM plus, SYMBIA T2), GE (INFINIA)의 다양한 감마카메라를 사용하여 전신 뼈 검사를 수행하고 있다. 각각의 감마카메라는 같은 검사를 수행할지라도 여러 요인에 의해 서로 다른 민감도를 가지며, 이는 전신 뼈 검사의 추적 검사에 있어 진단의 일관성을 저해하는 요인이 된다. 따라서 본 연구에서는 각각의 감마카메라의 민감도를 측정하여 전신 뼈 검사를 추적검사로 시행하였을 경우, 보정할 수 있는 합리적인 보정계수 산출하기 위하여 연구를 하였다.

실험재료 및 방법

1. 연구 대상

2008년 6월부터 7월까지 전신 뼈 검사를 시행하기 위해 서울아산병원 핵의학과에 내원한 환자들 중 27명을 대상으로 연구하였다.

2. 실험 기기 및 장비

Table 1. The features of Gamma Camera

제조사	명칭	헤드수	PMTs	Crystal Thickness	Computer 사양	사용기간
SIEMENS	ECAMS	2	59	3/8"	e-SOFT	2004~현재
SIEMENS	ECAM	2	66	3/8"	e-SOFT	2002~현재
SIEMENS	ECAMP	2	66	5/8"	e-SOFT	2000~현재
PHILIPS	BRIGHTVIEW	2	59	3/8"	JETStream	2007~현재
PHILIPS	PRECEDENCE	2	55	3/8"	JETStream	2007~현재
GE	INFINIA	2	61	3/8"	Xeleris	2006~현재



Fig. 1. The measurement of sensitivity.

- ① 감마카메라(Table 1)
- ② 방사성동위원소: ^{99m}Tc , ^{99m}Tc - DPD
- ③ 팬텀: ^{99m}Tc 면 선원(2~4 mCi)

3. 측정 방법

- ① ^{99m}Tc 면 선원 제작 및 민감도 측정

^{99m}Tc 면 선원의 민감도는 IAEA에서 권고하는 면 선원 민감도 측정 방법에 따라 시행하였다.³⁾ ^{99m}Tc 면 선원 제작은 팬텀에 물을 채운 후 ^{99m}Tc 을 투여하고, 고르게 분포하도록 충분히 흔든 뒤 기포를 제거하였다. 이때 ^{99m}Tc 은 2~4 mCi를 투여하였는데, 이는 ^{99m}Tc -DPD를 30 mCi 투여하여 전신 뼈 검사를 시행할 경우 성인의 흉부에서의 일반적인 계수율인 4~7 Kcps를 나타내는 양이다. ^{99m}Tc 면 선원의 민감도 측정 시 배후 방사능을 가능한 낮게 유지하기 위하여 주변에 방사선원과 그에 의한 오염을 최소한으로 제거하였다. 모든 감마카메라는 저 에너지 고 분해능용 평행다공형 조준기(Low Energy High Resolution multi parallel Collimator)를 장착하였으며, ^{99m}Tc 면 선원은 검출기에 가능한 가까이 밀착시켰다

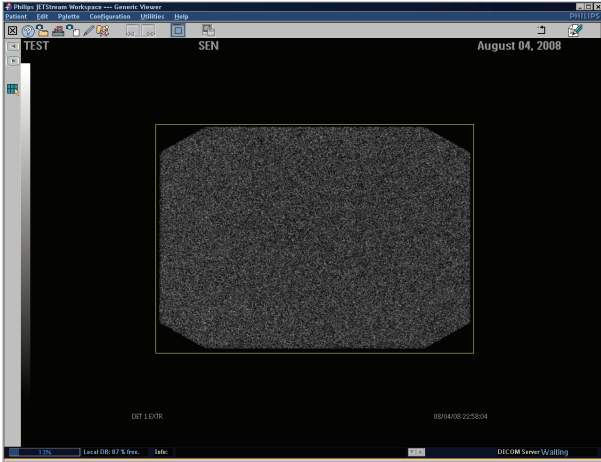


Fig. 2. The method of count measurement for sensitivity measurement using ^{99m}Tc flood phantom.

(Fig. 1). ^{99m}Tc 감마 스펙트럼은 140 KeV 중심으로 15% 에너지 식별 영역, 256×256 매트릭스를 이용하여 60초와 120초간 영상을 획득하였다. 정확한 민감도 측정을 위하여 각 장비별 측정시간의 보정을 하였고, 이때 감약 보정은 시간-방사능 곡선을 이용하였다.

② 전신 뼈 검사의 민감도 측정

^{99m}Tc 면 선원의 감도 측정과 동일한 조건으로 시행하였으며, 대한 핵의학 기술학회의 핵의학 영상 기술 지침에 따라 전신 뼈 검사를 시행하였다.²⁾ ^{99m}Tc DPD를 30 mCi 정맥 주사 후 3~4시간 뒤에 환자가 누운 테이블을 일정한 속도로(15 cm/min) 움직여서 전신 뼈의 전면상과 후면상을 획득하였다. 정맥주사 후 환자에게 수분(500 mL) 충분히 섭취하도록 하였으며 검사 전 소변을 보도록 유도하였다. 또한, 정맥 주사 시 분출물이 튀지 않게 하고 정맥 이외의 부분으로 누출되지 않도록 하였으며 소변이 옷이나 몸에 묻지 않도록 하였다. 방사성 의약품의 제조 시 Vial에 공기가 들어가지 않도록 주의함으로써 ^{99m}Tc이 DPD와 잘 결합하도록 하였고, 표지효율을 측정한 후 3시간 이내 사용하였다.

4. 분석 방법

① ^{99m}Tc 면 선원 민감도 분석

감약 보정을 위하여 ^{99m}Tc 면 선원의 제작 시간(t_0)과 방사능(A_0), 민감도 측정 시간(t) 을 기록하여 지연시간을($\Delta t = t - t_0$) 산출하여 아래 공식에 적용하였다.⁴⁾

$$A = A_{0e}^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \Delta t}$$

산출된 A는 민감도를 측정할 때의 방사능(A)으로서 이를 이용하여 각각의 방사능 비를 구했다. 총 계수는 각각의 감마 카메라에서 측정된 영상이 모두 포함되도록 관심영역(Region of Interest)(Fig. 2)을 설정한 후 획득하였고, 총 계수에 방사능비를 곱함으로써 방사능이 동일할 경우의 계수를 산출하였다. 상대적으로 중간 정도의 계수가 측정된 감마카메라를 기준으로 민감도 보정계수를 산출하였다.

② 전신 뼈 검사의 민감도 분석

한 명의 환자를 모든 감마카메라에서 검사하는 것은 불가능하므로 한 환자 당 2대의 감마카메라에서 전신 뼈 검사를 시행하였다. 전신 뼈 검사의 민감도 분석에서도 ^{99m}Tc 면 선원 민감도 분석과 동일하게 환자의 전신 뼈 검사 시간을 기록한 뒤, 시간-방사능 곡선을 사용하여 시간에 대한 감약 보정을 하였다. 전신 뼈 검사를 통하여 얻은 계수를 ^{99m}Tc 면 선원 민감도 분석을 통하여 얻은 보정계수에 적용하여 오차의 정도를 분석하였다.

5. 연구 모형

^{99m}Tc 면 선원을 이용하여 ECAM plus, ECAM signature, SYMBIA T2, ECAM, BRIGHTVIEW, PRECEDENCE, INFINIA의 7대의 감마카메라에서 민감도를 측정하여 각각의 보정계수를 산출하였다. 한 명의 환자 당 2대의 감마카메라에서 전신 뼈 검사를 시행하여 각각의 계수를 획득하였다. 보정계수를 적용하여 산출한 계수와 실제 전신 뼈 검사를 통하여 획득한 계수 간 오차의 차이를 짝지은 t-Test (Paired

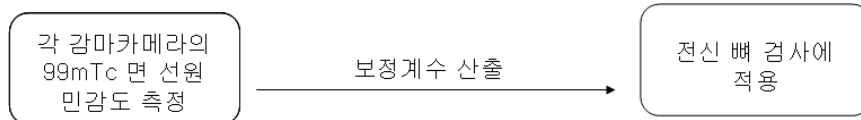


Fig. 3. Research model.

t-Test)로 검증하였다(Fig. 3).

결 과

1. ^{99m}Tc 면 선원으로 획득한 보정계수

^{99m}Tc 면 선원을 이용하여 실험한 결과, 각 감마카메라의 민감도는 ECAM plus에서 가장 높았으며 ECAM signature, SYMBIA T2, ECAM, BRIGHTVIEW, INFINIA, PRECEDENCE 감마카메라 순으로 관찰되었다. 이를 기초로 하여 상대적으로 중간 정도의 민감도를 갖는 ECAM 감마카메라를 기준으로 보정계수를 산출하였다(Fig. 4, Table 2).

2. 전신 뼈 검사로 획득한 계수(Real Count)와 보정계수로 획득한 계수(Expect Count)의 비교 분석

전신 뼈 검사로 획득한 계수(Fig. 5-A)와 보정계수를 이용하여 획득한 계수(Fig. 5-B)는 정규성을 가지고 있었다. 또한, 짝지은 t-Test를 통해서 전신 뼈 검사로 획득한 계수와 보정계수를 이용하여 획득한 계수의 차이를 분석한 결과(Table 3, Fig. 6), 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

고 찰

전신 뼈 검사의 추적 검사 시 감마카메라의 민감도 차이로 인한 영향은 검사의 일관성 저해 및 판독의 오류, 영상의 불

Table 2. The correction factor yielded by using ^{99m}Tc flood phantom

ECAMP	ECAMS	SYMBIA T2	ECAM	BRIGHTVIEW	INFINIA	PRECEDENCE
1.07	1.05	1.03	1.00	0.90	0.83	0.72

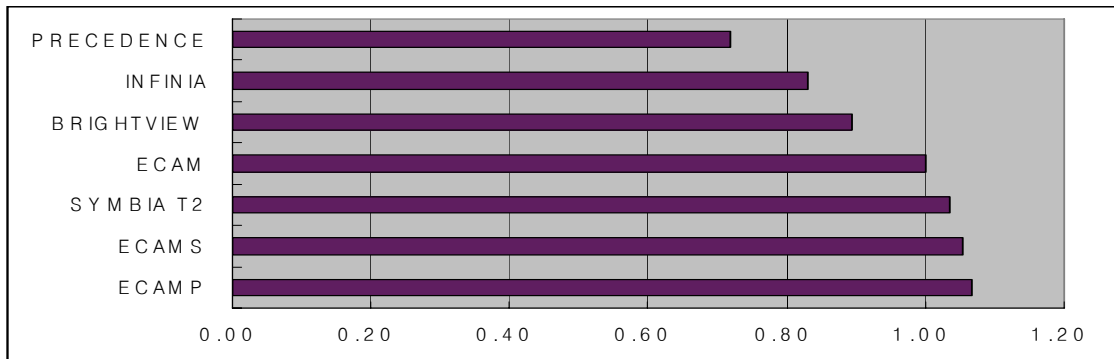


Fig. 4. The Correction factor yielded by using ^{99m}Tc flood phantom.

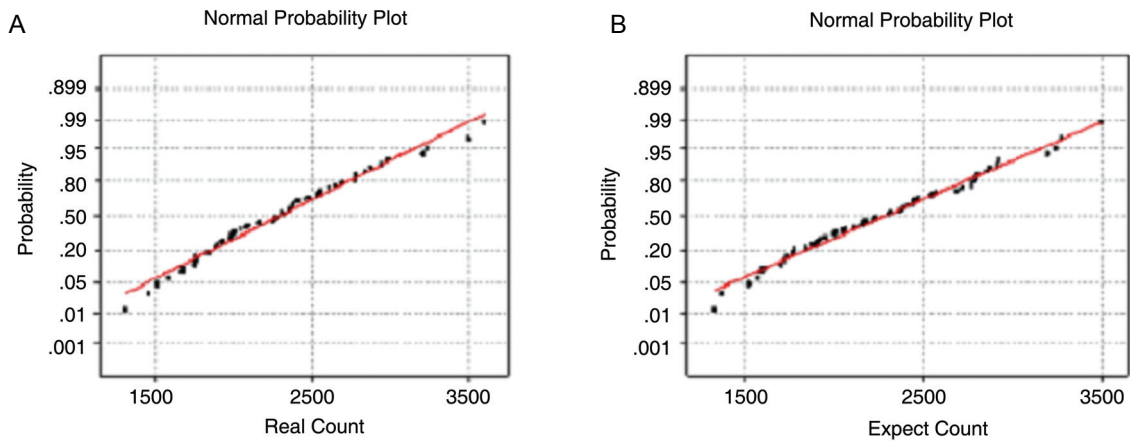


Fig. 5. The Normal Probability Plot of Real Count and Expect Count.

결론

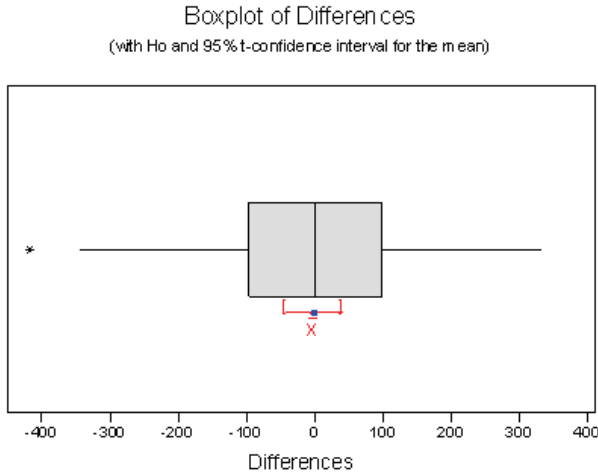


Fig. 6. Boxplot of Real Count and Expect Count.

균형 등을 초래하여 진단적 가치의 저하를 초래할 수 있다. 그러나 이는 전신 뼈 검사에 영향을 줄 수 있는 다양한 요인 (환자의 수분 공급 상태, 신기능, 비만이나 복수에 의한 복부 둘레의 증가, 방사성의약품의 질, 환자의 연령, 방사성의약품을 주사하고 영상화하는 시간의 간격, 화학요법이나 부신피질호르몬 제제 등에 의한 ^{99m}Tc 인산염 화합물의 섭취 감소 등) 중 하나에 불과하다. 본 연구에서는 감마카메라의 민감도를 제외한 그 밖의 여러 인자들에 대해서는 최대한으로 일정하게 유지하고자 했지만 그에 대해 특별한 보정을 하지는 않았다. 또한, ^{99m}Tc 면 선원실험 시 정적 영상(Static image)을 획득하여 보정계수를 산출하였지만, 실제 전신 뼈 검사는 전신 촬영(wholebody image)으로 영상을 획득하였다. 그 밖에 전신 뼈 검사를 시행함에 있어서의 한계점도 있었다. 한 명의 환자를 서로 다른 감마카메라에서 전신 뼈 검사를 시행할 때 각각의 감마카메라의 검출기와 테이블의 크기가 다르므로 과체중이거나 체격이 큰 환자의 경우 팔의 포함 여부에 따른 민감도 차이를 고려할 수 없었다. 또한, 각각의 감마카메라마다 전신 뼈 검사가 종료되는 시점이 다르므로 발 부분에서 계수를 얻는 시간이 다를 수 있었다. 추후 연구에서는 위의 요인들을 보정할 수 있는 방안을 모색하여 보다 정확한 추적검사가 이루어 질 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

전신 뼈 검사 시 검사의 일관성 유지 및 영상의 질 향상을 도모하기 위하여, 동일한 양의 동위원소 투여, 주사 후 검사 시간까지의 일정 시간 유지, 가급적 다량의 수분 섭취 및 스캔 속도의 일정성 유지 등의 노력을 해 왔었다. 하지만 서로 다른 감마카메라에 대한 고려나 시간 경과에 따른 장비의 효율 저하와 같은 하드웨어 측면의 중요성은 간과해 왔었다. 이에 기기적인 특성의 차이점을 고려한, 각각의 감마카메라 별 민감도의 정도를 알아내어 전신 뼈 검사 시 그 차이를 보정해줌으로써 조금이나마 추적검사에 도움이 될 수 있는 자료를 제공하고자 하였다. 실험결과, 전신 뼈 검사로 획득한 계수와 보정계수로 획득한 계수는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 측정된 민감도 보정계수의 임상적 적용은 영상의 판독 시 장비의 차이에 따른 계수보정의 추정을 가능하게 함으로써 검사의 정확도와 신뢰성을 높여 특히 연속된 추적 검사에서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

요약

목적: 전신 뼈 검사는 핵의학에서 가장 많이 수행하는 대표적인 검사로서 서울아산병원 핵의학과에서는 다양한 감마카메라(Philips BRIGHTVIEW, PRECEDENCE, Siemens - ECAM, ECAM signature, ECAM Plus, SYMBIA T2, GE - INFINTIA)를 사용하여 검사를 시행하고 있다. 그러나 각각의 감마카메라는 같은 검사를 수행할지라도 여러 요인에 의해 서로 다른 민감도를 가지며, 이는 전신 뼈 검사의 추적검사에 있어 진단의 일관성을 저해하는 요인이 되기도 한다. 따라서 전신 뼈 검사 시 주사 후 검사시간, 수분섭취량, 신진 대사 정도 등의 통제 불가능한 인자들은 제외하고 최소한의 통제할 수 있는 감마카메라 그 자체의 민감도 보정을 목적으로, 본 연구에서는 각각의 감마카메라의 민감도를 측정하여 전신 뼈 검사를 추적 검사(follow-up)로 시행하였을 경우 보정할 수 있는 합리적인 보정계수 산출에 대한 연구를 하였다.

실험재료 및 방법: 각 감마카메라의 민감도 측정은 IAEA에서 권고하는 면 선원 민감도 측정 방법에 따라 BRIGHTVIEW, PRECEDENCE, ECAM, ECAM signature, ECAM

Table 3. Difference of between real count and expect count

	N	Mean	SD	t-value	p-value
Real Count	54	2285.4	513	-0.07	0.94
Expect Count	54	2286.9	514.3		

Plus, SYMBIA T2, INFINIA의 감마카메라 7대를 분석하였다. 민감도 측정을 위한 ^{99m}Tc 면 선원은 전신 뼈 검사에 일반적인 계수율인 4~7 Kcps를 기준으로 제작하였다. 모든 감마카메라는 저 에너지 고 분해능용 평행다중구멍 조준기 (Low Energy High Resolution multi parallel Collimator)를 장착하였고, 15%의 Window Width, 140-keV photopeak로 설정하였다. ^{99m}Tc 면 선원을 조준기에 최대한 밀착시킨 후 60초, 120초 동안 계수를 측정하여 보정계수를 산출하였다. ^{99m}Tc 면 선원으로 산출한 보정계수를 실제 환자 전신 뼈 검사에 적용시킬 수 있는지 확인하기 위하여 27명의 환자를 대상으로 전신 뼈 검사를 수행하고 보정계수를 적용 후 비교·분석하였다.

결과 : ^{99m}Tc 면 선원을 이용하여 실험한 결과, 각 감마카메라의 민감도는 ECAM plus가 가장 높았으며 ECAM signature, SYMBIA T2, ECAM, BRIGHTVIEW, INFINIA, PRECEDENCE 감마카메라 순으로 관찰되었다. 이를 기초로 하여 상대적으로 중간 정도의 민감도를 갖는 ECAM 감마카메라를 기준으로 보정계수를 산출했을 때 각각 1.07, 1.05, 1.03, 1.00, 0.90, 0.83, 0.72로 분석되었다. ^{99m}Tc 면 선원의 실험을 통해 산출한 보정계수와 전신 뼈 검사로 산출된 보정계수의 차이를 분석하였을 때 통계적으로 유의한 차이가 없었다 ($p < 0.05$).

결론 : 암환자의 골 전이 진단에 있어 전신 뼈 검사는 예민도가 높고 비침습적이며 비교적 쉽게 시행할 수 있는 장점이 있어 추적검사로 널리 이용되고 있다. 그러나 추적 검사로 전신 뼈 검사를 시행할 경우 연속적으로 동일한 감마카메라만을 사용하는 것은 여건상 불가능하며, 동일한 감마카메라를 사용한다 하더라도 시간의 경과에 따른 장비의 효율에 변화를 고려하지 않을 수 없다. 따라서 서로 다른 감마카메라를 대상으로 산출된 민감도 보정계수의 임상적 적용은 정기적으로 전신 뼈 검사를 받는 환자의 진단에 일관성을 더 해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

1. 고창순, 핵의학, *고려의학*, 1992:541-602.
2. 핵의학 영상기술, 대한핵의학기술학회, *대한핵의학기술학회* 2000:12-5.
3. International Atomic Energy Agency IAEA, Quality control of nuclear medicine instruments 1991.
4. Abdelhamid A. Elkamhawy, Joseph R. Rothenbach, Srikanth Damaraju, Shamim M. Badruddin. Intrinsic Uniformity and Relative Sensitivity Quality Control Tests for Single-Head Gamma Cameras. *J Nucl Med Technol* 2000;28:252-256.
5. Frederic H. Fahey, Beth A. Harkness, John W. Keyes, Jr., Mark T. Madsen, Christina Battisti, and Valerie Zito, Sensitivity, Resolution and Image Quality with a Multi-Head SPECT Camera.