

전신 뼈 스캔 후 경과 시간 차이에 따른 ^{201}Tl 심근관류 SPECT 영상의 영향 평가

서울 아산병원 핵의학과

김동석 · 유희재 · 류재광 · 유재숙

The Influence Evaluation of ^{201}Tl Myocardial Perfusion SPECT Image According to the Elapsed Time Difference after the Whole Body Bone Scan

Dong Seok Kim, Hee Jae Yoo, Jae Kwang Ryu and Jae Sook Yoo

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

Purpose: In Asan Medical Center we perform myocardial perfusion SPECT to evaluate cardiac event risk level for non-cardiac surgery patients. In case of patients with cancer, we check tumor metastasis using whole body bone scan and whole body PET scan and then perform myocardial perfusion SPECT to reduce unnecessary exam. In case of short term in patients, we perform ^{201}Tl myocardial perfusion SPECT after whole body bone scan a minimum 16 hours in order to reduce hospitalization period but it is still the actual condition in which the evaluation about the affect of the crosstalk contamination due to the each other dissimilar isotope administration doesn't properly realize. So in our experiments, we try to evaluate crosstalk contamination influence on ^{201}Tl myocardial perfusion SPECT using anthropomorphic torso phantom and patient's data. **Materials and Methods:** From 2009 August to September, we analyzed 87 patients with ^{201}Tl myocardial perfusion SPECT. According to ^{201}Tl myocardial perfusion SPECT yesterday whole body bone scan possibility of carrying out, a patient was classified. The image data are obtained by using the dual energy window in ^{201}Tl myocardial perfusion SPECT. We analyzed ^{201}Tl and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ counts ratio in each patients groups obtained image data. We utilized anthropomorphic torso phantom in our experiment and administrated ^{201}Tl 14.8 MBq (0.4 mCi) at myocardium and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 44.4 MBq (1.2 mCi) at extracardiac region. We obtained image by ^{201}Tl myocardial perfusion SPECT without gate method application and analyzed spatial resolution using Xeleris ver 2.0551. **Results:** In case of ^{201}Tl window and the counts rate comparison result yesterday whole body bone scan of being counted in $^{99\text{m}}\text{Tc}$ window, the difference in which a rate to 24 hours exponential-functionally notes in 1:0.114 with Ventri (GE Healthcare, Wisconsin, USA), 1:0.249 after the bone tracer injection in 12 hours in 1:0.411 with 1:0.79 with Infinia (GE healthcare, Wisconsin, USA) according to a reduction a time-out was shown (Ventri $p=0.001$, Infinia $p=0.001$). Moreover, the rate of the case in which it doesn't perform the whole body bone scan showed up as the average 1:0.067 \pm 0.6 of Ventri, and 1:0.063 \pm 0.7 of Infinia. According to the phantom after experiment spatial resolution measurement result, and an addition or no and time-out of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ administrated, it doesn't note any change of FWHM ($p=0.134$). **Conclusion:** Through the experiments using anthropomorphic torso phantom and patients data, we found that ^{201}Tl myocardium perfusion SPECT image later carried out after the bone tracer injection with 16 hours this confirmed that it doesn't receive notable influence in spatial resolution by $^{99\text{m}}\text{Tc}$. But this investigation is only aimed to image quality, so it needs more investigation in patient's radiation dose and exam accuracy and precision. The exact guideline presentation about the exam interval should be made of the validation test which is exact and in which it is standardized about the affect of the crosstalk contamination according to the isotope use in which it is different later on. (Korean J Nucl Med Technol 2010;14(1):67-72)

Key Words : Crosstalk contamination, Myocardial perfusion SPECT, ^{201}Tl

- Received: April 12, 2010. Accepted: April 26, 2010.
- Corresponding author: Hee Jae Yoo
Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, 388-1
Pung nap 2-dong, Song pa gu, seoul, 138-736, Korea
Tel: +82-2-3010-4608 Fax: +82-2-3010-5429
E-mail: yoohj@amc.seoul.kr

서 론

전신 뼈 스캔은 핵의학과에서 가장 흔히 이용되는 핵의학

영상 진단법 중 하나로 골격계에 대해 예민하고 높은 해상력의 영상 검사이다. 뼈는 악성 종양의 전이가 가장 많이 일어나는 장기의 하나이며 뼈 스캔에 의한 악성 종양의 뼈 전이 병소 검출 능력은 95% 이상으로 대단히 높다. 악성 종양 환자에서 뼈 전이의 증상이 의심되거나 치료 전 조기 악성 종양의 병기를 결정하는데 뼈 스캔이 매우 유용하다. 또한 암세포의 경우 정상 세포와는 달리 성장과 분열에 관여하는 여러 생화학적 대사가 항진되어 있어 포도당 유도체인 ¹⁸F-fluorodeoxyglucose (FDG)의 양전자단층촬영술(PET)을 암환자에서 유용하게 이용하고 있다.¹⁾

암환자의 경우 수술 전에 전신 뼈 스캔 혹은 전신 PET 스캔으로 암 전이 여부 확인 후 심근관류 SPECT를 시행하여 비심장 수술 환자의 수술 시 심장사건 위험도를 평가하고 있다. 특히 관상동맥질환의 유병률이 높은 환자군에서 전신 마취를 동반한 수술이 예정되어 있을 때 수술 중 혹은 수술 후에 심장질환과 연관된 위험도를 수술 전에 평가하는 것은 심근관류 SPECT의 중요한 적응증 중의 하나이다. 또한 게이트 심근관류 SPECT는 부하유발 관류결손 유무와 좌심실 구혈률, 좌심실 용적 등의 정보를 제공할 수 있어서 수술 전후 장단기간의 심장 위험도 평가에 매우 유용하다.²⁻³⁾

현재 본원에서는 단기 병동에 입원한 환자의 경우 재원 일수를 줄이고자 전신 뼈 스캔 시행 후 최소 16시간의 간격을 두고 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT를 시행하는 경우가 종종 있다. 하지만 bone tracer의 배출이 완전히 이루어지지 않은 상태에서 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT를 시행하는 경우 서로 다른 동위원소 투여로 인한 crosstalk contamination 영향에 대해 유효성 검정이 아직까지 제대로 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 anthropomorphic torso phantom을 이용한 실험과 실제 환자 데이터를 이용하여 이에 대한 validation test를 시행하고 전신 뼈 스캔과 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT 사이의 적절한 검사 시간 간격에 대한 가이드라인을 제시하고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 대상

2009년 8월부터 10월까지 서울아산병원 핵의학과를 내원한 환자 중 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT를 시행한 84명의 환자(나이 30~90세, 평균연령 62±10.5세, 남성 52명, 여성 32명)를 대상으로 하였다. 84명의 환자 중 전날 전신 뼈 스캔 시행

유무에 따라 두 집단으로 분류하였다.

2. 검사방법

²⁰¹Tl 심근관류 SPECT 환자 데이터 획득은 아테노신 부하 시 ²⁰¹Tl 111 MBq (3 mCi)를 정맥주사한 뒤 게이트법을 적용하여 앙와위 자세에서 스캔을 시행하였다. 영상 획득에는 Low Energy General Purpose (LEGP) 콜리메이터를 장착한 이중 헤드 감마카메라 두 대(Infinia, Venti, GE healthcare, USA)를 사용하였다. 영상 획득 파라미터로는 step and shoot 방식, 64×64 matrix, zoom factor는 1.382, 에너지 창 설정에는 ²⁰¹Tl (70 keV±15%, 167 keV±10%)과 ^{99m}Tc (140 keV±7%) 이중 에너지 창이 사용되었다. R-R 간격은 ±50% 이내인 경우만 영상 처리 자료로 이용하였다. 하나의 투사 영상당 6도 간격으로 50초 동안 얻어졌고 총 프레임 수는 15, 영상 획득 시간은 15분이었다. 영상 재구성은 여과 후 역투사 방법으로 하였고, butterworth 여과기를 사용하였다.

Anthropomorphic torso phantom을 이용한 phantom 실험으로 ^{99m}Tc의 배후방사능으로 인한 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT영상의 영향을 평가하였다. Phantom에 주입된 동위원소의 양은 심근 영역에 ²⁰¹Tl 14.8 MBq (0.4 mCi), 심근 외 영역에 ^{99m}Tc 44.4 MBq (1.2 mCi)으로, 투여한 동위원소 dose는 실제 환자에서 얻어지는 카운트와 최대한 유사한 값이 나오도록 설정하였다. 배후방사능으로 인한 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT영상의 관류 값의 변화를 살펴보기 위해 인위적으로 심근 영역에 인공물을 삽입하여 심근 관류 결손을 만들었다. Phantom을 이용한 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT 촬영은 게이트법 적용을 제외하고 환자 촬영 시와 같은 조건에서 시행하였고 ^{99m}Tc 배후방사능으로 인한 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT영상의 변화를 살펴보기 위해 ²⁰¹Tl만 심근 영역에 투여 후 그 외의 부분은 물로 채워 검사하였고 이 후 곧바로 심근 외 영역에 ^{99m}Tc를 투여하여 스캔하였다. 첫번째 촬영 후 4시간 간격으로 총 12시간 동안 5개의 영상을 획득하였고 같은 실험을 5번 반복하여 데이터를 획득하였다(Fig. 1).

데이터 분석은 전신 뼈 스캔의 시행 유무에 따라 환자를 두 집단으로 분류한 후 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT 시행으로 얻어진 영상에서 ^{99m}Tc의 에너지 창의 카운트와 ²⁰¹Tl 에너지 창의 카운트 비(ratio)를 서로 비교하였다. 전신 뼈 스캔 시행 후 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT까지의 시간간격이 일정하지 않아 다른 집단과의 카운트 비의 비교가 어려웠다. 이에 전신 뼈 검사 시행 집단에서 얻어진 카운트를 동위원소 붕괴를 감안

하여 bone tracer 주입 12시간 후로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션된 카운트 비를 12시간 후부터 24시간 후까지 2시간 간격으로 카운트 비를 구하여 다른 집단의 카운트 비와 비교 분석하였다.

Phantom 영상 획득 후 재구성은 Germano 등에 의해 개발되어 현재 상업적으로 판매되는 프로그램인 QGS (Quantitative Gated SPECT) 소프트웨어 (Cedars Sinai Medical Center, Los Angeles, CA)를 사용하여 자동화된 방법으로 심근 관류 수치 SSS (Summed Stress score), SRS (Summed Rest score), SDS (Summed Difference Score)를 구하였다.⁴⁾ 재구성된 영상의 분석은 Xeleris ver 2.0551 (GE healthcare, USA)를 이용하여 short axis image의 공간 분해능을 측정 분석하였다. 각각의 재구성 데이터에서 가장 공간 해상력이 좋은 3개의 슬라이스를 선택하여 통계분석에 이용하였다.

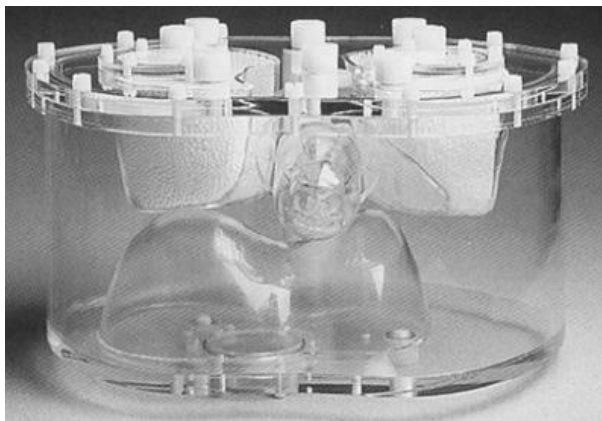


Fig. 1. Anthropomorphic torso phantom.

Table 1. Specifications of anthropomorphic torso phantom

Lateral outside dimension	38 cm
Lateral inside dimension	36 cm
Anterior-posterior outside dimension	26 cm
Anterior-posterior inside dimension	24 cm
Wall thickness	0.95 cm
Liver volume	1.2 L
Background	10.3 L

Table 2. ²⁰¹Tl/^{99m}Tc window counts ratio analysis of Ventri Values in parentheses represent 95% CI

	Without ^{99m} Tc (n=11)	12hrs (n=24)	14hrs (n=24)	16hrs (n=24)	18hrs (n=24)	20hrs (n=24)	22hrs (n=24)	24hrs (n=24)	F	P
Mean counts ratio	0.067	0.371	0.298	0.242	0.196	0.157	0.131	0.103	26.784	.0001
SD	0.006	0.134	0.109	0.888	0.717	0.057	0.047	0.039		

3. 통계분석

통계분석은 SPSS version 12. (SPSS Inc., USA)을 사용하여 환자 데이터와 phantom 실험 데이터 모두 One-way ANOVA test를 이용하여 분석하였고, 통계적 유의성은 p값 0.05 미만으로 하였다.

결 과

1. Patient study

총 84명의 환자 중 Ventri 장비에서 전날 전신 뼈 스캔을 시행한 환자 집단(11명)과 그렇지 않은 집단(24명)간의 영상 획득 후 ²⁰¹Tl 창과 ^{99m}Tc 창의 심근 영역에서 측정된 카운트의 비를 비교하였다. Ventri 장비에서 촬영한 두 집단 간의 비교 분석 결과 경과 시간에 따라 ²⁰¹Tl/^{99m}Tc 에너지 창의 카운트 비는 지수함수적으로 감소하는 추세를 나타내었고, bone tracer 주입 후 12시간 후부터 20시간까지 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 2, Fig. 2).

Infinia 장비에서 촬영한 전날 전신 뼈 스캔을 시행한 환자 집단(36명)과 그렇지 않은 집단(13명)간의 비교 분석에서 영상 획득 후 ²⁰¹Tl 창과 ^{99m}Tc 창의 심근 영역에서 측정된 카운트의 비를 비교하였다. 경과 시간에 따라 ²⁰¹Tl/^{99m}Tc에너

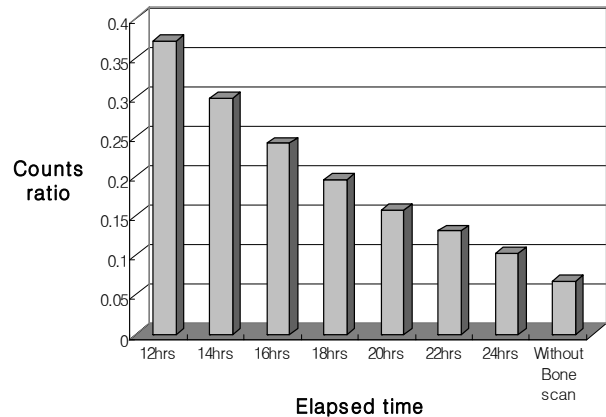


Fig. 2. ²⁰¹Tl/^{99m}Tc window counts ratio of Ventri is analyzed.

Table 3. $^{201}\text{Tl}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ window counts ratio analysis of Infinia Values in parentheses represent 95% CI

	Without $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (n=11)	12hrs (n=24)	14hrs (n=24)	16hrs (n=24)	18hrs (n=24)	20hrs (n=24)	22hrs (n=24)	24hrs (n=24)	F	P
Mean counts ratio	0.063	0.323	0.273	0.234	0.203	0.18	0.162	0.143	4.638	.0001
SD	0.007	0.17	0.182	0.194	0.194	0.209	0.229	0.228		

Table 4. FWHM analysis Values in parentheses represent 95% CI

	Without $^{99\text{m}}\text{Tc}$	12hrs	16hrs	20hrs	24hrs	F	P
Mean FWHM	4.221	4.111	3.981	4.049	4.07	0.861	0.493
SD	0.464	0.269	0.281	0.305	0.484		
Mean Difference		0.11	0.24	0.172	0.151		

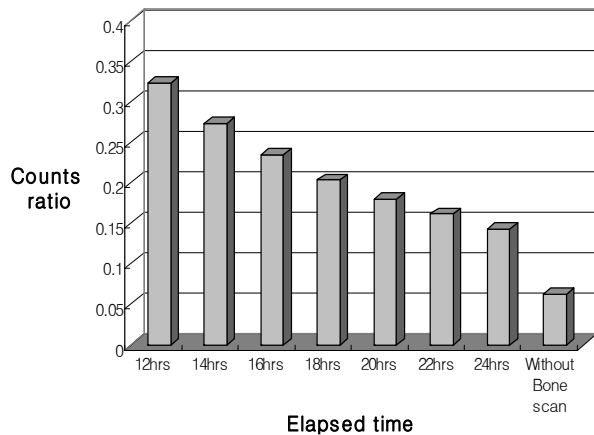


Fig. 3. $^{201}\text{Tl}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ window counts ratio of Infinia is analyzed.

지 창의 카운트 비는 지수함수적으로 감소하는 추세를 나타내었고, bone tracer 주입 후 12시간 후부터 16시간까지 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 2, Fig. 3).

2. Phantom study

Phantom 실험은 총 5회 반복 실험되어 얻은 데이터를 4DM SPECT 프로그램을 이용하여 재구성하였다. 이 후 얻어진 재구성 데이터를 Xeleris 프로그램에서 각 재구성 영상의 short axis 영상에서 가장 공간 해상력이 뛰어난 3개 슬라이스의 Full Width Half Maximum (FWHM)을 구하였다. FWHM 분석에서는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 의 첨가 유무와 경과 시간에 따라서 FWHM에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 3, Fig. 4).

4DM SPECT를 이용하여 인위적으로 만들어진 심근 관류 결손에 대한 정량 분석 값을 구하였다. 분석 결과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 첨가

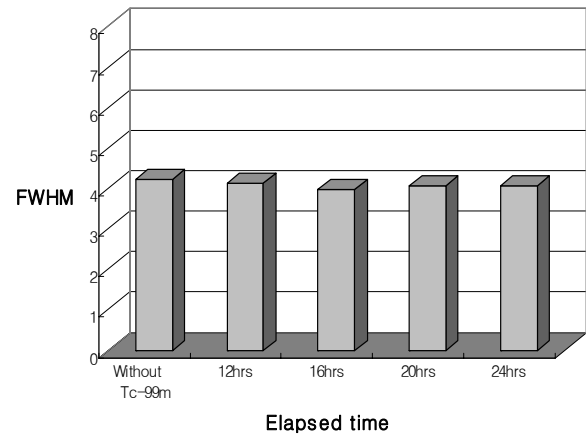


Fig. 4. Analysis of FWHM, yielded using Xeleris program

유무와 경과 시간에 따라서 perfusion score에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 4, Fig. 5).

고 찰

환자 데이터 비교에서는 전날 전신 뼈 검사를 한 수검자 집단의 경우 그렇지 않은 수검자 집단에 비해 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 대 ^{201}Tl 의 카운트 비의 유의한 차이를 나타내었다. Venti와 Infinia 두 장비 모두 각 장비의 민감도 차이 및 제한된 수의 환자 데이터로 인해 bone tracer 주입 후 각각 통계적으로 유의한 차이를 나타내는 주사 후 경과 시간에는 차이가 있었지만 모두 시간 경과에 따라서 지수함수적으로 감소하는 추세를 나타내었다. 두 집단 간의 유의한 카운트 비의 차이가 영상의 공간 해상력 및 정량 평가에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보기 위해 anthropomorphic torso phantom을 이용한 실험을 하였다. Phantom 실험 결과, phantom의 심근 영역에 ^{201}Tl

Table 5. Perfusion score analysis Values in parentheses represent 95% CI

	Without ^{99m} Tc	12hrs	16hrs	20hrs	24hrs	F	P
Mean Perfusion score	11.2	11	12	11.667	11.667		
SD	3.3	2.928	2.777	4.0	4.093	0.21	0.932
Mean Difference		0.2	-0.8	-0.467	-0.467		

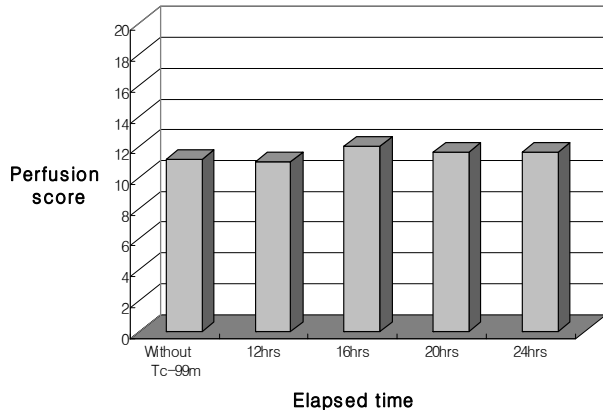


Fig. 5. Analysis of perfusion score analysis, yielded from QPS program

을 투여하고 심근 외 영역에 물을 채워 촬영한 심근관류 SPECT이미지와 phantom의 심근 외 영역에 ^{99m}Tc를 주입하여 검사한 이미지의 비교 시 두 데이터 간에 공간 분해능의 유의한 차이가 없었다. 이는 phantom의 흉곽 내에 ^{99m}Tc의 주입 여부 및 ^{99m}Tc 잔류 시 경과 시간에 관계없이 유의한 차이를 나타내지 않았다. 하지만 몇 가지 이유로 인해 이번 실험 결과의 직접적인 임상 적용에는 한계가 있다. Cardiac phantom은 고정적인 반면 실제 상황에서는 환자의 폐와 심장은 계속 움직인다. 그리고 cardiac phantom 실험 시에 결손의 벽 물질에 의해 생길 수 있는 작은 양의 빈 공간은 결손의 대조도를 과대평가할 수 있게 만들 수 있고 부분적인 심근경색으로 나타날 수도 있다.⁵⁾ 그러나 가능한 실제 임상적인 상황과 일치하기 위해 phantom의 흉곽 부위에 배후방 시능을 주었고 또한 심근 결손이 있는 환자의 경우 ^{99m}Tc의 배후방시능으로 인한 영향을 살펴보기 위해 우리는 cardiac phantom을 인위적으로 심근경색 상태로 만들었다. 심근 이미지는 흉곽의 배후방시능과 동시에 얻어졌고 ^{99m}Tc으로 인한 배후방시능이 없을 때와 비교하여 심근 perfusion score에서는 유의한 차이가 없었다. 본 실험 결과에 사용된 콜리메이터나 다른 재구성 필터는 우리가 관찰한 이미지의 영향을 바꿀 수도 있었다. 이러한 이유로 우리는 일반적인 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT 검사 조건과 동일한 콜리메이터와 재구성 조건 등을 선택하였다.

결론

본 실험 결과로 환자 데이터를 이용한 카운트 비 분석에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 우리는 이러한 유의한 카운트 비의 차이가 영상의 정량적인 평가와 공간 분해능에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 anthropomorphic torso phantom을 이용한 실험을 하였고 실험 데이터와 환자 데이터 분석을 통해 bone tracer 주입 16시간 이후에 시행된 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT영상은 ^{99m}Tc에 의해서 공간 분해능과 정량 분석에 유의한 영향을 받지 않는다는 것을 확인하였다. 하지만 이는 영상의 질적 평가만 이루어진 것으로 환자의 피폭과 검사의 정밀도 및 정확도에 관한 연구가 추가로 필요한 실정이다. 추후 서로 다른 동위원소 사용에 따른 cross-talk contamination의 영향에 대해 보다 정확하고 표준화된 유효성 검정으로 검사 간격에 대한 정확한 가이드라인 제시가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

요약

본원에서는 비심장 수술환자의 수술 전후 심장사건의 위험도 평가를 위해 심근관류 SPECT를 시행하고 있다. 암환자의 경우 수술 전에 전신 뼈 검사 혹은 전신 PET 검사로 암 전이 여부 확인 후 심근관류 SPECT를 시행하여 불필요한 검사 처방을 막고 있다. 하지만 단기 병동 입원 환자의 경우 자원 일수를 줄이고자 전신 뼈 검사 후 최소 16시간의 간격을 두고 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT를 시행하는 경우가 있지만 아직까지 서로 다른 동위원소 투여로 인한 crosstalk contamination의 영향에 대한 평가가 제대로 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 anthropomorphic torso phantom을 이용한 실험과 실제 환자 데이터를 이용하여 이에 대한 유효성 검정을 시행하고자 한다.

2009년 8월부터 9월까지 서울아산병원 핵의학과에서 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT를 시행한 87명의 환자를 대상으로 연구 분석하였다. ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT 시행 전일 전신 뼈 스캔 시행 여부에 따라 환자를 분류하였고 ²⁰¹Tl 심근관류 SPECT

촬영 시 이중 에너지 창을 이용하여 영상을 획득하였다. 획득한 영상에서 ^{201}Tl 창과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 창에서 계수된 카운트의 비율을 전날 전신 뼈 검사의 시행 유무에 따라 비교 분석하였다.

실험에는 anthropomorphic torso phantom을 사용하였으며 심근(^{201}Tl)과 심근 이외의 부분($^{99\text{m}}\text{Tc}$)에 각각 14.8 MBq, 44.4 MBq를 투여 하였다. 영상획득은 시간 간격을 두고 게이트법 적용 없이 ^{201}Tl 심근관류 SPECT를 시행하여 얻었고 Xeleris ver 2.0551를 이용하여 공간 분해능을 측정 분석하였다.

수집한 환자 데이터에서 ^{201}Tl 창과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 창에서 계수된 카운트 비율 비교 결과 전날 전신 뼈 스캔을 시행한 경우 Bone tracer 주입 후 12시간에서 24시간까지의 비율이 Ventri에서는 1:0.411 에서 1:0.114, Infinia에서는 1:0.249에서 1:0.079로 지수함수적으로 감소하며 시간 경과에 따라 유의한 차이 (Ventri $p=0.0001$, Infinia $p=0.0001$)를 나타내었다. 또한 전신 뼈 스캔을 시행하지 않은 경우의 비율은 Ventri에서 평균 1:0.067±0.006, Infinia에서 1:0.063±0.007로 나타났다. Phantom 실험 후 공간 분해능 측정 결과는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 의 첨가 여부와 시간 경과에 따라서 FWHM의 유의한 변화는 나타나지 않았다 ($p=0.134$).

Anthropomorphic torso phantom을 이용한 실험과 환자 데이터 분석을 통해 bone tracer 주입 16시간 이 후에 시행된

^{201}Tl 심근관류 SPECT 영상은 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 에 의해 공간 분해능에 유의한 영향을 받지 않는다는 것을 확인하였다. 하지만 이는 영상의 질적 평가만 이루어진 것으로 환자의 피폭과 검사의 정밀도 및 정확도에 관한 연구가 추가로 필요한 실정이다. 추후 서로 다른 동위원소 사용에 따른 crosstalk contamination의 영향에 대한 정확하고 표준화된 유효성 검정으로 검사 간격에 대한 정확한 가이드라인 제시가 이루어져야 할 것이다.

REFERENCES

1. 정준기. 중앙질환에서 PET의 임상이용. *대한핵의학회지* 1995; 29:404.
2. 임석태, 이동수, 강원준, 정준기, 이명철. 비심장 수술 환자에 서 수술 전후 심장사건의 위험도 평가를 위한 심근관류 SPECT의 유용성. *대한핵의학회지* 1999;33:273-4.
3. 고창순. 핵의학(제3판). *고려의학* 2008;247-519.
4. Germano G, Kiat H, Kavannagh PB, Moriel M, Massanti M, Su HT, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995;36:2138-47.
5. Val J. Lowe, Kim L. Greer, Michael W. Hanson, Ronald J. Jaszczak, Edward Coleman. Cardiac phantom evaluation of simultaneously acquired dual-isotope rest thallium-201/stress technetium-99m SPECT images. *J Nucl Med* 1993;34:1998-2006.