

Original article

전신 뼈 검사에서 주사 후 영상획득 시간에 따른 뼈와 연부조직에서의 대조도 비교 평가

오태훈, 박철홍, 박다현, 고현수
서울아산병원 핵의학과

Comparison and Evaluation of Bone and Soft Tissue Contrast According to Image Acquisition Time after Injection in Whole-Body Bone Scintigraphy

Tae Hoon Oh, Cheolhong Park, Dahyun Park, and Hyun Soo Ko
Department of Nuclear medicine, Asan medical Center, Seoul, Korea

Corresponding author: Tae Hoon Oh. Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul, 05505, Republic of Korea. Tel: +82-2-3010-2101, E-mail: othoon0922@naver.com

ABSTRACT

Purpose This study evaluates the effect of uptake times (2.5 hours vs. 3.5 hours post-injection) on the diagnostic quality of whole-body bone scans using ^{99m}Tc -DPD, focusing on contrast between bone and soft tissue. The aim is to determine whether shorter uptake times can ensure sufficient diagnostic quality while enhancing patient convenience and clinical workflow efficiency, particularly during periods of radiopharmaceutical shortages. **Materials and Methods** A total of 60 patients, divided into a normal group ($n=30$) and a lesion group ($n=30$), were included in this study. All scans were performed using Siemens gamma cameras equipped with LEHR collimators. Scans were conducted at 2.5- and 3.5-hours post-injection. Regions of interest (ROIs) were defined for femoral bone and adjacent soft tissue to calculate uptake ratios. Statistical analysis was performed using paired t-test to compare uptake ratios. Imaging conditions and radiopharmaceutical doses were carefully standardized across all patients to minimize variability. **Results** In the normal group, the mean uptake ratio increased from $70.1\% \pm 4.7\%$ at 2.5 hours to $72.6\% \pm 4.3\%$ at 3.5 hours, showing a statistically significant difference ($p < 0.05$). Similarly, in the lesion group, uptake ratios improved from $90.7\% \pm 4.3\%$ to $92.7\% \pm 3.9\%$, also demonstrating statistical significance ($p < 0.05$). While the 3.5-hour uptake time produced slightly better lesion contrast and improved diagnostic utility, the 2.5-hour scans provided comparable results in visual quality and diagnostic accuracy, making them a viable option in resource-constrained environments. **Conclusion** The findings suggest that while a 3.5-hour uptake time yields optimal diagnostic quality and superior lesion contrast, the 2.5-hour time point remains a practical alternative, especially in high-demand clinical settings or during radiopharmaceutical supply constraints. This study supports the development of flexible, optimized bone scan protocols that maintain high diagnostic standards without compromising operational efficiency.

Key word: Whole body bone scan, Uptake time, Contrast evaluation, Signal count, Image analysis

서론

전신 뼈 검사(Whole body bone scan)는 다양한 골질환과 뼈의 대사 활동을 평가하기 위한 핵의학 검사로, 다양한 임상 상황에서 기본적인 검사 방법으로 사용된다. 이 검사는 방사성의약품을 환자에게 주입한 후, 뼈에 축적된 방사성 물질의 분포를 시각화하여 조기 진단과 병변 평가에 매우 유용하다[1].

검사 절차는 99mTc-DPD (Deoxy pyridinoline)를 정맥주사한 후 보통 3~4시간 후에 영상을 획득한다. 이 과정은 전체적으로 4시간 이상의 시간이 요구되며, 환자에게 시간적 부담을 줄 수 있다. 뼈 스캔에서의 영상 획득 시점은 영상 품질과 병변 진단에 중요한 영향을 미친다. 일반적으로, 조기 영상 획득 시 병변과 연부조직 간의 대비가 낮아질 수 있지만, 유럽 핵의학 협회 (European Association of Nuclear Medicine; EANM)와 미국 핵의학회 (Society Nuclear Medicine; SNM) 가이드라인에 따르면 방사성의약품 주입 후 2~4시간 까지 경과한 시점에서도 영상을 획득하여도 되는 것으로 공표하였다[2,3]. 선행 연구에서는 방사성의약품 주입 후 3시간과 4시간의 획득 시간 차이가 Bone Scan Index(BSI)에 유의미한 변화를 가져올 수 있다는 결과가 보고되었다[4]. 또한, 최신 연구에서 환자에게 Tc-99m -HMDP (Hydroxymethylene Diphosphonate)를 사용한 전신 골 스캔에서 2시간과 3시간 대기 시간을 비교한 결과, 3시간 대기 시 영상의 질적 및 정량적 평가가 더욱 향상되는 것을 보여주었다[5]. 본원에서도 방사성의약품 투여 후 3시간부터 검사를 시행하고 있었으나, 2022년 11월 국내 테크니슘 제너레이터 공급 대란 시 투여 용량을 740 MBq에서 25 % 감량하였고, 그에 따라 방사선의약품 투여 후 2 시간 30 분부터 검사를 시행하게 되었다.

본 연구의 목적은 방사성의약품 주사 후 기존의 3시간 반 대기 시간과 새로 변경 된 2시간 반 대기 시간 간의 영상에서 뼈와 연부 조직의 대조도를 비교 평가하고 이를 통해 환자의 시간적 부담을 줄이는 동시에 최적의 검사 프로토콜을 제공하기 위한 근거를 마련하고자 한다.

실험 대상 및 방법

1. 장비 및 검사 방법

본 연구에서는 Evo Excel (Siemens Healthineers, Erlangen, Germany), Evo Excel Intevo 16 (Siemens Healthineers, Erlangen, Germany), Intevo Bold (Siemens Healthineers, Erlangen, Germany), Symbia E (Siemens Healthineers, Erlangen, Germany) 장비를 사용하였으며(Fig. 1), 저에너지 고해상도 (Low Energy High Resolution; LEHR) 콜리메이터를 사용하여 뼈스캔을 수행하였다. 모든 환자에게 방사성의약품 99mTc-DPD 740MBq를 정맥 주사로 투여하였으며, 스캔은 전면(Anterior view)과 후면(Posterior view) 각각 최소 1000 kcounts를 초과하는 조건에서 시행되었다. 스캔 속도는 20 cm/min으로 설정되었다. 뼈스캔은 2시간 30분과 3시간 30분의 대기 시간 후에 획득하였으며, 검사 후 얻은 이미지를 통해 대퇴골(femur), 병변, 연부 조직의 방사성의약품 흡수 비율을 분석하였다.



Fig. 1. Symbia Intevo(Siemens Healthineers, Erlangen, Germany) used in the study. The Siemens Symbia Intevo gamma camera, equipped with a Low Energy High Resolution (LEHR) collimator, was utilized to perform bone scans.

2.연구 대상 및 분석 방법

2.1정상군 (Normal Group): 이 그룹은 뼈에 병변이 없는 정상 환자 30명(남자 15명, 여자 15명, 평균 나이 64.6 ± 10.5)으로 구성되었다. 동일 환자가 각각 다른 날에 2시간 30분 $\pm$ 15분(이하 2.5h) 및 3시간 30분 $\pm$ 15분(이하 3.5h) 후에 영상을 얻어 비교하였으며, 검사 간 차이는 6개월 이내로 설정하였다. 시간 경과에 따른 카운트 감쇠를 고려하여 2.5h보다 3.5h에서 총 count가 적은 경우만을 연구 대상으로 하였다. 분석은 대퇴골과 허벅지의 연부 조직에서 관심영역(ROI, Region of Interest)을 설정하여 두 부위의 비율을 산출하는 방식으로 이루어졌으며(Fig. 2), 대조도는 다음과 같은 식을 이용하여 산출하였다(Eq. 1).

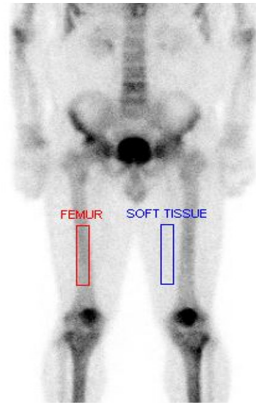


Fig. 2. Method for setting Regions of Interest (ROIs) for femur and soft tissue. The red area is set as the femur, and the blue area is set as the soft tissue

$$\text{Femur Ratio}(\%) = \frac{\left(\frac{\text{Femur count}}{\text{Pixel}} \right)}{\left(\frac{\text{Femur count}}{\text{Pixel}} \right) + \left(\frac{\text{Tissue count}}{\text{Pixel}} \right)} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

2.2병변군 (Patient Group): 이 그룹은 뼈에 병변이 있는 환자 30명(남자 16명, 여자 14명, 평균 나이 67.9 ± 9.9)으로 구성되었다. 환자들은 2시간 30분 $\pm$ 20분(이하 2.5h) 및 3시간 30분 $\pm$ 20분(이하 3.5h) 후에 뼈 스캔을 시행하였으며 검사 간 차이는 1년 이내로 설정하였다. 분석은 병변 부위를 기준으로 하여, 병변이 있는 부위와 동일한 허벅지의 연부 조직에서 관심영역(ROI)을 설정하여 두 부위의 비율을 산출하였다(Fig.3). 대조도는 다음과 같은 식으로 산출하였다(Eq. 2).



Fig. 3. Method for setting ROIs for abnormal and soft tissue. ROIs are set with a red box for the abnormal region and a blue box for the soft tissue.

$$\text{Lesion Ratio}(\%) = \frac{\left(\frac{\text{Lesion count}}{\text{pixel}}\right)}{\left(\frac{\text{Lesion count}}{\text{Pixel}}\right) + \left(\frac{\text{Tissue count}}{\text{Pixel}}\right)} * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

3.통계 분석

정상군과 병변군에서 2.5h와 3.5h의 섭취 비율을 비교하기 위해 각 시간에 대해 대응표본 t검정을 시행하였다.

결과

1.정상군 (Normal Group): 2.5h에서의 섭취 비율은 평균 $70.1\% \pm 4.7\%$ 였고, 3.5h에서는 평균 $72.6\% \pm 4.3\%$ 이었다. 두 시간대의 섭취 비율 차이는 평균 2.5% 였고, 대응표본 t검정 결과 두 시간대의 섭취 비율은 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$)(Table 1).

Table 1. Comparison of Femur and Tissue Counts at 2.5h and 3.5h

No.	2.5h Femur Count	2.5h Tissue Count	2.5h Femur Ratio (%)	3.5h Femur Count	3.5h Tissue Count	3.5h Femur Ratio (%)
1	14,886	6,180	70.7%	14,611	6,890	68.0%
2	19,222	8,390	69.6%	15,333	5,781	72.6%
3	9,052	3,640	71.3%	5,759	1,878	75.4%
4	20,473	6,705	75.3%	18,994	6,705	73.9%
5	17,811	8,685	67.2%	13,166	6,576	66.7%
6	21,354	8,179	72.3%	16,779	5,261	76.1%
7	22,543	8,082	73.6%	19,072	5,528	77.5%
8	19,688	9,209	68.1%	13,355	5,939	69.2%
9	13,241	7,564	63.6%	12,586	6,754	65.1%
10	20,850	12,692	62.2%	17,964	7,952	69.3%
11	17,841	10,073	63.9%	14,782	6,682	68.9%
12	13,562	5,678	70.5%	11,785	4,648	71.7%
13	12,229	4,544	72.9%	11,102	4,977	69.0%
14	13,554	5,537	71.0%	10,360	3,839	73.0%
15	19,751	8,417	70.1%	16,150	4,952	76.5%
16	11,520	5,152	69.1%	10,655	3,760	73.9%
17	14,299	3,258	81.4%	11,414	2,543	81.8%
18	19,132	13,334	58.9%	17,695	9,750	64.5%
19	11,035	3,580	75.5%	9,481	2,365	80.0%
20	12,119	5,601	68.4%	11,923	4,972	70.6%
21	12,754	4,351	74.6%	11,709	3,670	76.1%
22	14,615	5,634	72.2%	17,750	5,950	74.9%
23	19,322	6,073	76.1%	12,652	4,234	74.9%
24	10,820	5,585	66.0%	9,616	3,870	71.3%
25	10,263	4,962	67.4%	9,455	3,384	73.6%
26	15,958	8,120	66.3%	10,161	5,190	66.2%
27	15,691	7,782	66.8%	14,522	5,373	73.0%
28	19,755	7,091	73.6%	15,429	5,289	74.5%
29	13,979	4,731	74.7%	9,999	2,837	77.9%
30	9,543	4,234	69.3%	8,585	3,227	72.7%
Mean±SD			70.1%± 4.7%			72.6%± 4.3%

2.병변군 (Patient Group): 2.5h에서의 섭취 비율은 평균 $90.7\% \pm 4.3\%$ 였고, 3.5h에서는 평균 $92.7\% \pm 3.9\%$ 이었다. 두 시간대의 섭취 비율 차이는 평균 2.0% 였고, 대응표본 t 검정 결과 두 시간대의 섭취 비율은 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$)(table2).

Table 2. Comparison of Abnormal and Tissue Counts at 2.5h and 3.5h

No.	2.5h Lesion Count	2.5h Tissue Count	2.5h Lesion Ratio (%)	3.5h Lesion Count	3.5h Tissue Count	3.5h Lesion Ratio (%)
1	4,163	706	85.5%	5,198	343	93.8%
2	8,587	1,036	89.2%	9,123	733	92.6%
3	19,483	1,201	94.2%	11,670	1,038	91.8%
4	7,818	844	90.1%	8,327	560	93.7%
5	22,363	1,578	93.4%	25,743	1,290	95.1%
6	8,095	623	92.9%	6,124	472	91.8%
7	13,179	2,273	85.6%	8,862	2,408	79.1%
8	10,693	1,438	88.1%	8,881	589	93.7%
9	22,289	1,577	93.1%	17,872	781	95.7%
10	41,598	4,695	90.0%	43,255	2,715	94.1%
11	14,356	915	94.0%	10,223	612	94.4%
12	10,299	1,171	89.8%	15,434	772	95.2%
13	48,738	1,831	96.0%	48,005	1,107	97.7%
14	5,777	795	88.2%	2,574	377	86.6%
15	7,422	2,040	78.5%	10,530	1,629	85.3%
16	10,437	845	92.6%	11,270	643	94.5%
17	12,483	1,384	90.3%	11,637	873	93.0%
18	3,091	905	79.5%	2,486	490	85.3%
19	34,930	2,279	93.7%	29,006	1,669	94.6%
20	7,373	842	90.0%	7,368	801	90.8%
21	12,432	815	94.0%	16,194	417	97.4%
22	5,041	527	90.1%	3,674	230	94.1%
23	8,887	759	91.9%	7,316	503	93.1%
24	8,400	824	91.1%	8,961	764	92.4%
25	50,166	1,841	96.5%	29,230	1,239	96.1%
26	7,781	773	90.2%	7,545	545	92.8%
27	9,343	1,046	89.7%	12,078	922	93.1%
28	11,639	687	94.2%	9,886	649	93.8%
29	26,407	526	98.2%	10,636	444	96.2%
30	3,391	405	89.3%	3,505	328	91.6%
Mean $\pm$ SD			90.7% $\pm$ 4.3%			92.7% $\pm$ 3.9%

고찰 및 결론

본 연구는 뼈 스캔의 대기 시간(2.5시간과 3.5시간)이 섭취 비율에 미치는 영향을 분석하여, 두 시간대 간 섭취 정도의 차이가 통계적으로 유의함을 확인하였다. 특히, 3.5시간 대기 시간이 병변 감별 능력을 높이고 대조도를 증가시키는 데 기여함으로써 진단 정확도를 향상시키는 유의미한 요소임을 확인하였다. 이는 Sho Furuya의 연구에서 EOD(Extent of Disease) 등급을 활용하여 뼈 스캔을 질적·정량적으로 평가하고, 3시간 대기 시간이 병변 감별에 효과적임을 제시한 결과와 일치하며[5], 반자동 BSI(Bone Scan Index) 계산 소프트웨어의 유효성을 평가한 Yoshida의 연구 결과와도 맥락을 같이 한다[6]. 한편, Reza Kaboteh의 연구에서는 다양한 영상 획득 시간에 따른 BSI의 변화를 정량적으로 분석하였고, SPECT/CT 기반 BSI 분석 프로그램을 통해 진단적 유용성을 입증하였다[4,7]. 이처럼 기존 연구들은 EOD와 BSI라는 서로 다른 정량 지표를 활용하여 뼈 스캔의 효용성을 다각도로 조명하였으며, 향후 연구에서는 이러한 정량 도구를 병행하거나 보완적으로 활용하여 보다 객관적이고 정밀한 영상 비교가 가능하도록 해야 한다.

또한, 본 연구에서 사용된 ^{99m}Tc -DPD는 뼈의 대사활동을 평가하는 데 널리 사용되는 방사성의약품이며, 이번 분석을 통해 대기 시간이 영상의 질에 영향을 미친다는 점을 확인하였다. 특히 $\text{Tc-}^{99m}\text{HMDP}$ 를 대상으로 한 E. K. Pauwels의 선행 연구에서도 2시간과 3시간 영상 사이에서 병변 검출 능력에 큰 차이가 없음을 보여주었으며[8], 이는 본 연구 결과를 지지한다. 이러한 맥락에서 전국적인 테크니션 공급 부족, 환자의 편의성, 검사실 운영 효율성 등을 고려할 때 2.5시간 대기 시간도 임상적으로 수용 가능한 대안이 될 수 있다. 실제로 본 연구에서는 정상군과 병변군 모두에서 대기 시간에 따른 섭취 비율이 통계적으로 유의한 차이를 보였으나, 두 시간대 간 평균 섭취 비율 차이가 5% 미만이며 정성적인 판독 결과에서도 큰 차이가 없었다.

다만, 본 연구는 몇 가지 제한점을 지닌다. 첫째, 연구 대상 환자 수가 적어 결과의 일반화에는 신중한 접근이 필요하다. 둘째, 검사 시간의 오차 및 개인별 생리학적 차이는 방사성의약품의 대사와 배설 속도에 영향을 줄 수 있으며, 이는 결과의 일관성을 저해할 수 있다. 셋째, 검사 시점의 차이로 인해 환자 상태 변화나 환경 요인이 결과에 영향을 미쳤을 가능성이 있으며, 관심 영역(ROI)의 정확한 일치여부 어려워 대퇴골이나 병변 부위의 정확한 분석에 한계가 있을 수 있다. 넷째, 방사성의약품의 용량 및 투여 방식의 차이, 검사 환경, 기술자 간의 숙련도 차이도 결과에 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 이러한 변수들을 최소화하기 위해 검사 간격을 1년 이내로 제한하고, 시간 오차를 20분 이내로 설정하였으며, 판독 결과가 유사한 환자만을 포함하였다.

결론적으로, 본 연구는 다양한 대기 시간에 따른 섭취 비율 차이와 그 임상적 의미를 정량적·정성적으로 분석함으로써, 3.5시간 대기 시간이 영상의 질을 향상시킬 수 있음을 보여주었다. 그러나 2.5시간 대기 시간도 진단적 신뢰성을 유지하면서 검사 효율성과 환자 편의성을 고려할 수 있는 대안이 될 수 있다. 향후에는 더 많은 환자군과 다양한 임상 상황을 포함한 연구를 통해 EOD, BSI 등 정량 지표의 활용을 확대하고, 객관적 영상 비교와 최적의 검사 프로토콜 수립을 위한 근거를 확보해야 할 것이다.

REFERENCES

1. Sopov V, Fuchs D, Bar-Meir E, Gorenberg M, Groshar D. Clinical spectrum of asymptomatic femoral neck abnormal uptake on bone scintigraphy. *J Nucl Med*. 2002;43(4):484-6.
2. Van den Wyngaert T, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, van der Bruggen W, Mohan HK, et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2016;43(9):1723-38.
3. Horger M, Bares R, Johnson RP, Kajan ZD, Motevasseli S, Nasab NK, et al. SNMMI practice guideline for bone scintigraphy 4.0. *Soc Nucl Med Mol Imaging*. 2018;7-14.
4. Kaboteh R, Minarik D, Reza M, Sadik M, Trägårdh E. Evaluation of changes in Bone Scan Index at different acquisition time-points in bone scintigraphy. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2018;38(6):1015-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/cpf.12494>
5. Furuya S, Shimomura S, Hirata K, Nambu T. Influence of the scan time point on qualitative and semi-quantitative assessment of whole-body bone scintigraphy using ^{99m}Tc -HMDP: comparison between 2 h vs. 3 h. *J Nucl Med*. 2021;62(1):1560.
6. Yoshida A, Higashiyama S, Kawabe J. Assessment of a software for semi-automatically calculating the bone scan index on bone scintigraphy scans. *Clin Imaging*. 2021;78:14-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2021.03.012>
7. Ogawa R, Ogura I. A computer program to assess the bone scan index for Tc-^{99m} hydroxymethylene diphosphonate: evaluation of jaw pathologies of patients with bone metastases using SPECT/CT. *Diagn Interv Radiol*. 2023;29(1):190-4. DOI: <https://doi.org/10.5152/dir.2022.211013>
8. Pauwels EK, Blom J, Aarts JC. A comparison between whole body scans made at two hours and three hours after intravenous injection of $\text{Tc-}^{99m}\text{HDP}$ as to image quality and lesion detectability. *Clin Nucl Med*. 1984;9(2):75-8.