KJNMT. 2023 November, 27(2)99-109
https://doi.org/10.12972/kjnmt.20230016

pISSN 1229-9901
eISSN 2982-8406

Original article

L-spine Bone SPECT/CT에서 획득된 저선량 CT 영상을 이용한 용적 골밀도 결과의 유용성

고현수 · 박순기 · 김은혜 · 최종숙 · 정우영 · 이동윤
서울아산병원 핵의학과

Usefulness of volumetric BMD measurement by using low dose CT image acquired on L-spine Bone SPECT/CT

Hyunsoo Ko, Soonki Park, Eunhye Kim, Jongsook Choi, Wooyoung Jung and Dongyun Lee
Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, Seoul, Korea

*Corresponding Author : Hyunsoo Ko, Department of Nuclear Medicine, Asan medical Center, Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul, 05505, Republic of Korea, Tel :+82-2-3010-4601, E-mail : hyunsoo87@amc.seoul.kr

ABSTRACT

Purpose: CT scan makes up for the weak point of the nuclear medicine image having a low resolution and also were used for attenuation correction on image reconstruction. Recently, many studies try to make use of CT images additionally, one of them is to measure the bone mineral density(BMD) using Quantitative CT(QCT) software. BMD exams are performed to scan lumbar and femur with DXA(Dual-Energy X-Ray Absorptiometry) in order to diagnose bone disease such as osteopenia, osteoporosis. The purpose of this study is to identify the usefulness of QCT_BMD analyzed with low dose CT images on L-spine Bone SPECT/CT comparing with DXA_BMD. **Materials and Methods:** Fifty five women over 50 years old (mean 66.4 ± 9.1) who took the both examinations(L-spine Bone SPECT/CT with SIEMENS Intevo 16 and DXA scan with GE Lunar prodigy advance) within 90 days from April 2017 to July 2022, BMD, T-score and disease classification were analyzed. Three-dimensional BMD was analyzed with low dose CT images acquired on L-spine Bone SPECT/CT scan on Mindways QCT PRO™ software and two-dimensional BMD was analyzed on DXA scan. Basically, Lumbar 1-4 were analyzed and the patients who has lesion or spine implants on L-spine were excluded for this study. Pearson's correlation analysis was performed in BMD and T-score, chi-square test was performed in disease classification between QCT and DXA. **Results:** On 55 patients, the minimum of QCT_BMD was 18.10, maximum was 166.50, average was 82.71 ± 31.5 mg/cm^3. And the minimum of DXA-BMD was 0.540, maximum was 1.302, average was 0.902 ± 0.201 g/cm^2, respectively. The result shows a strong statistical correlation between QCT_BMD and DXA_BMD($p<0.001$, $r=0.76$). The minimum of QCT_T-score was -5.7, maximum was -0.1, average was -3.2 ± 1.3 and the minimum of DXA_T-score was -5.0, maximum was 1.7, average was -2.0 ± 1.3, respectively. The result shows a statistical correlation between QCT T-score and DXA T-score ($p<0.001$, $r=0.66$). On the disease classification, normal was 5, osteopenia was 25, osteoporosis was 25 in QCT and normal was 10, osteopenia was 25, osteoporosis was 20 in DXA. There was under-estimation of bone decrease relatively on DXA than QCT, but there was no significant differences statistically by chi-square test between QCT and DXA. **Conclusion:** Through this study, we could identify that the QCT measurement with low dose CT images QCT from L-Spine Bone SPECT/CT was reliable because of a strong statistical correlation between QCT_BMD and DXA_BMD. Bone SPECT/CT scan can provide three-dimensional information also BMD measurement with CT images. In the future, rather than various exams such as CT, BMD, Bone scan are performed, it will be possible to provide multipurpose information via only SPECT/CT scan. In addition, it will be very helpful clinically in the sense that we can provide a diagnosis of potential osteoporosis, especially in middle-aged patients.

Received August 01, 2023 **Revised** August 23, 2023 **Accepted** September 12, 2023

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons CC BY 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Key words: L-spine SPECT/CT, BMD, QCT, DXA

서론

핵의학 영상검사는 기존 감마카메라 단면(planar) 영상에서 3 차원 단층 영상인 단일 광자 방출 단층 촬영(Single Photon Emission Computed Tomography; SPECT), 양전자 방출 단층 촬영(Positron Emission Tomography; PET)으로 발전하였으며[1,2] CT와 함께 촬영할 수 있는 SPECT/CT, PET/CT 장비로 더욱 발전하였다[3,4]. SPECT/CT 장비의 도입으로 기존 감마카메라에서 얻어진 2 차원 단면 영상의 육안적인 평가(Qualitative analysis) 뿐만 아니라, 3 차원 영상에서의 정량적인 평가(Quantitative analysis)도 가능하게 되었다. 그 중에서도 L-Spine Bone SPECT/CT 검사는 퇴행성 요추 질병이나 요통을 호소하는 환자를 위해 시행되며 척추체, 디스크 공간 또는 척추궁을 비롯한 근골격계 병변의 정확한 국소화 진단을 가능하게 해주므로 퇴행성 요추 질병이나 요통을 주로 호소하는 중장년층 환자군에서 매우 유용하다[5]. SPECT/CT 검사에서 CT 영상은 비교적 낮은 해상도를 갖는 핵의학 영상의 단점을 보완하여 명확한 해부학적 정보를 제공하고[6], 영상의 재구성 시 감쇠보정(Attenuation Correction; AC) 정보로써 이용되기도 한다[7]. 이러한 장점 외에도 CT를 부가적으로 더 이용하려는 관심이 늘어나고 있고, 그 중 하나가 골밀도 분석 프로그램인 QCT(Quantitative CT)를 적용하여 부가적으로 골밀도를 정량적으로 분석하는 것이다[8,9]. 본원 영상의학과에서도 QCT 프로그램을 이용하여 골밀도 검사를 위한 CT 촬영을 하고 있기는 하나, 표준검사로 사용되는 이중 에너지 엑스레이 흡수장비(Dual-Energy X-Ray Absorptiometry; DXA)의 범용성과 원내 의료진의 상대적인 미친숙도 및 높은 환자 피폭 등의[10] 이유로 한달에 약 2~3 정도로 거의 시행되고 있지 않다. 이에 골밀도 검사는 DXA 장비로 요추(L-spine) 및 대퇴골(femur) 부위의 골밀도를 측정하여 골감소증, 골다공증 등의 질환을 감별하고 있으며[11,12] 본원에서는 핵의학과에서 DXA 장비를 이용하여 골밀도 검사를 시행하고 있다. 본 연구는 L-spine Bone SPECT/CT에서 저선량으로 획득한 CT 영상을 이용하여 QCT로 골밀도 수치를 평가하고, 이를 DXA로 측정한 골밀도 수치와 비교하여 그 유용성을 평가해 보고자 한다.

실험 대상 및 방법

1. 연구 대상

2017 년 4 월부터 2202 년 7 월까지 L-spine Bone SPECT/CT와 DXA 두 가지 검사를 90 일 이내에 시행한 만 50 세 이상의 폐경기 여성 55 명(평균 연령 66.4 ± 9.1 세)을 연구대상으로 하였고, 요추 부위의 DXA 결과를 기준으로 하여 골밀도 수치, T-score, 질환 등급 등을 비교 분석하였다. 요추 1번에서 4번까지를 기본적으로 분석하였고, L-spine에 병변이 있거나 압박 골절, 수술 등으로 분석이 어려운 환자는 연구 대상에서 제외하였다(Fig. 1). 또한 요추 1~4번 중 분석이 불가능한 범위는 QCT와 DXA 두 장비에서 모두 동일하게 제외하였으며(Fig. 2), 세계 임상 골밀도 학회(International Society for Clinical Densitometry, ISCD)에서 권고하는 최소 2개 이상의 분석 가능한 요추가 있는 환자만을 선정하였다.

2. 사용장비 및 분석방법

2.1 SPECT/CT 장비 및 QCT 분석 방법

Symbia Intevo 16(Siemens Healthineers, Erlangen, Germany) 장비로 L-spine Bone SPECT/CT 검사를 시행한 환자의 저선량 CT 영상(110 kVp, 50 mAs, care dose 4D)을 QCT PRO™(Mindways Software Inc., Austin, TX, USA) 소프트웨어를 이용하여 3차원 골밀도를 아래 그림과 같이 분석하였다(Fig. 3).

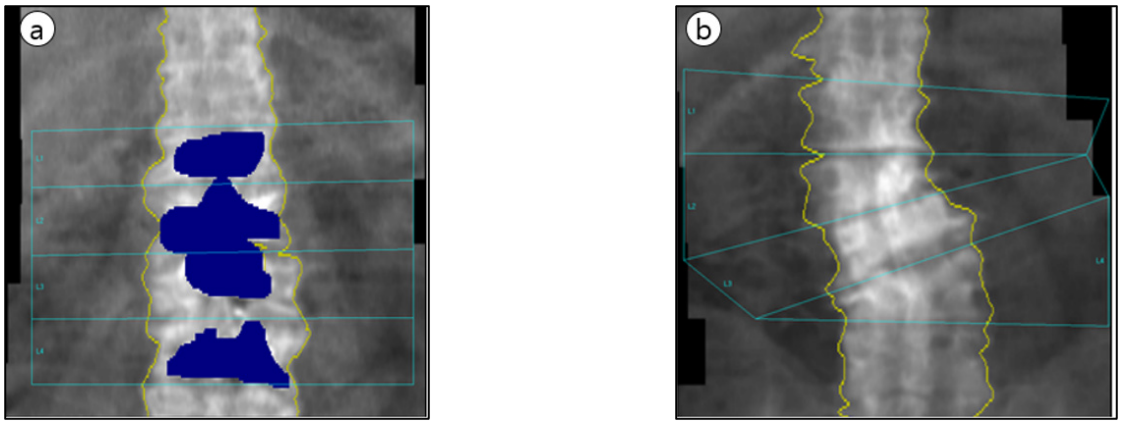

Fig. 1. The patients who took a spinal implant surgery(a) or had compression fracture(b) were excluded from this study.

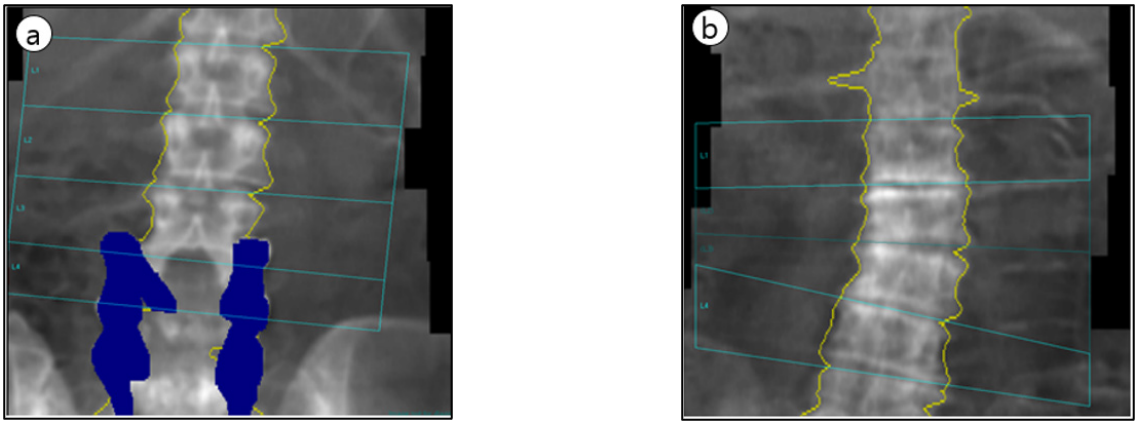

Fig. 2. The same levels of a Lumbar were excluded on both exams(QCT, DXA); (a) L3,L4 were excluded due to spinal implant, (b) L2,L3 were excluded due to compression fracture.

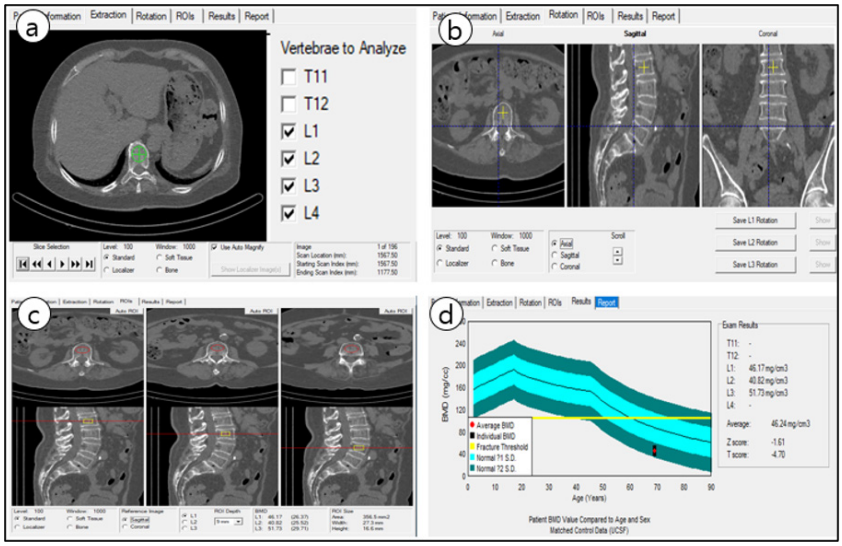

Fig. 3. The procedure of BMD analysis with QCT PRO™ software is as follows;
(a) The first step is to select lumbar vertebrae to be analyzed
(b) The second step is to set up the level and axis for each lumbar vertebrae
(c) The third step is to draw the VOI(Volume Of Interest) on each lumbar vertebrae
(d) The final step is to obtain the results as shown

2.2 DXA 장비 및 골밀도 분석 방법

Lunar Prodigy Advance(GE, Madison, WI, USA) 장비와 Software Encore Version 16을 이용하여 L-spine 부위위 2 차원 골밀도를 분석하였다(Fig. 4).

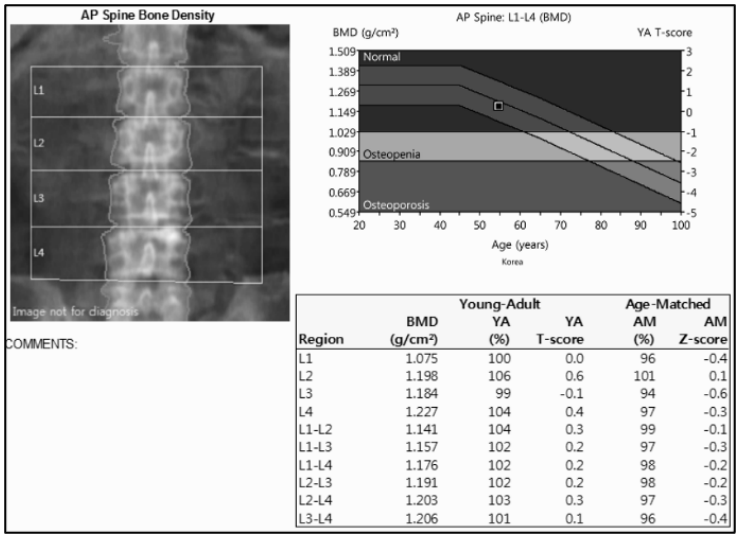

Fig. 4. This image is the example of the result by analyzing 2D BMD from DXA with software encore version 16.

2.3 DXA 와 QCT 에서의 질병 분류 기준

국제보건기구(World Health Organization; WHO) 기준에 따라 DXA 장비에서는 T-score를 바탕으로 정상, 골감소증, 골다공증을 분류하였고[13] QCT 골밀도는 DXA 보다 낮은 수치를 보이는 이유로 인해 T-score에 따른 분류 대신, 측정된 골밀도 수치를 바탕으로 질환 등급을 분류하였다(Table 1)[14].

Table 1. The classification criteria for DXA T-score and QCT BMD.

	DXA T-score	QCT BMD
Normal	-1.0 < T-score	120 mg/cm^3 < BMD
Osteopenia	-2.5 < T-score ≤ -1.0	80 mg/cm^3 < BMD ≤ 120 mg/cm^3
Osteoporosis	T-score ≤ -2.5	BMD ≤ 80 mg/cm^3

2.4 통계분석

통계분석은 SPSS ver. 21(IBM company, USA)을 이용하여 QCT 프로그램과 DXA 장비에서 분석한 골밀도 수치 및 T-score는 피어슨 상관분석을 시행하였으며, 두 장비간 질병분류는 카이제곱 검정을 시행하였다.

결 과

1. QCT와 DXA 검사에서의 골밀도 수치 비교 및 상관분석

55 명의 환자를 대상으로 QCT와 DXA를 이용하여 골밀도 수치를 분석한 결과, QCT 골밀도는 최소 18.10 mg/cm^{3}에서 최대 166.57 mg/cm^{3}의 범위로 평균 82.71 ± 31.52 mg/cm^{3}의 수치를, DXA 골밀도는 최소 0.540 g/cm^{2}에서 최대 1.302 g/cm^{2}의 범위로 평균 0.902

± 0.201 g/cm²의 수치로 각각 측정 되었다(Table 2). 두 장비를 이용한 골밀도 수치의 상관분석 결과, 강한 양의 상관관계(p<0.001, r=0.76)가 있었다(Fig. 5).

Table 2. The results of BMD from QCT and DXA (n=55)

	Min.	Max.	Ave.	
QCT BMD (mg/cm³)	18.10	166.57	82.71 ± 31.52	r=0.76***
DXA BMD (g/cm²)	0.540	1.302	0.902 ± 0.201	

***p<0.001

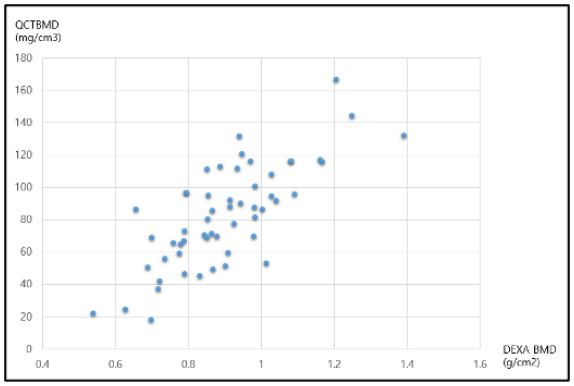

Fig. 5. The graph shows a strong statistical correlation between QCT BMD and DXA BMD (p<0.001, r=0.76).

2. QCT와 DXA 검사에서의 T-score 비교 및 상관분석

각 두 장비에서 측정된 골밀도 수치를 바탕으로 산출된 T-score를 분석한 결과, QCT T-score는 최소 -5.76에서 최대 -0.07의 범위로 평균 -3.18 ± 1.32로 측정되었고, DXA T-score는 최소 -5.02에서 최대 1.73의 범위로 평균 -2.00 ± 1.34로 각각 측정 되었다(Table 3). 평균적으로 QCT T-score가 DXA의 T-score보다 37 % 낮았다. 두 장비를 이용한 T-score의 상관분석 결과, 양의 상관관계(p<0.001, r=0.66)가 있었다(Fig. 6).

Table 3. The results of T-score from QCT and DXA (n=55)

	Min.	Max.	Ave.	
QCT T-score	-5.76	-0.07	-3.18 ± 1.32	r=0.66***
DXA T-score	-5.02	1.73	-2.00 ± 1.34	

***p<0.001

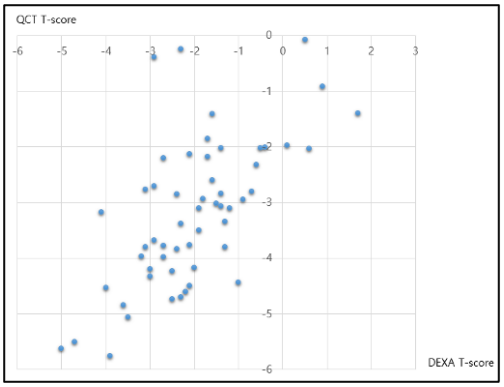

Fig. 6. The graph shows a statistical correlation between QCT T-score and DXA T-score (p<0.001, r=0.66).

3. QCT와 DXA 각 검사에서의 질병 분류 비교 및 카이제곱 검정

QCT 장비에서 골밀도 수치에 따라 질병 별로 분류 하였을 때 정상군 5 명, 골감소증 25 명, 골다공증 25 명이었고, DXA 장비에서 T-score 기준에 따라 분류 하였을 때 정상군 10 명, 골감소증 25 명, 골다공증 20 명이었다(Table 4). 55 명 중 QCT와 DXA에서 질병 분류 차이가 없는 환자는 31 명이었고, QCT 결과를 DXA와 비교하였을 때 정상군에서 골감소증 또는 골감소증에서 골다공증으로 질병 분류가 한 단계씩 하향된 환자는 17 명, 반대로 골감소증에서 정상군 또는 골다공증에서 골감소증으로 한 단계씩 상향된 환자는 7 명이었다. DXA에 비해 QCT에서 두 단계씩 하향되거나 상향된 환자는 없었다.

Table 4. The number of the patients according to classification of diseases (n=55)

	QCT	DXA
Normal	5	10
Osteopenia	25	25
Osteoporosis	25	20

두 장비에서 질병 분류를 비교 하였을 때 DXA에서 골 감소정도가 상대적으로 과소평가되는 경향이 있었으나, 카이제곱 검정에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었다($X^2(2)=2.222$, $p > 0.05$).

고찰

최근 감마카메라를 이용한 검사는 기존의 단면(planar) 영상 이외에 3 차원 단층 영상인 SPECT 검사로도 많이 시행되고 있다. SPECT 영상은 단면 영상보다 높은 해상도와 해부학적 구조 확인의 장점이 있기 때문에 진단적 가치가 향상되어 검사 요구도가 높아지고 있다[15-17]. 척추 영상은 단면 영상보다 SPECT/CT에서 병변을 암시하는 척추 변화를 더 잘 반영 할 수 있어 요추의 질병 진단에 매우 유용하다[18]. 또한 SPECT/CT 검사는 수술 후 척추를 평가하는데 매우 중요하며, 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; MRI)에서 종종 놓칠 수 있는 미묘한 관절간 결손이나 골절을 식별하는 데 도움이 될 수 있다[19].

이 연구에서 저자들은 L-spine Bone SPECT/CT를 시행하여 얻어진 저선량 요추 CT 영상을 이용하여 QCT 프로그램으로 골밀도를 분석하고, DXA 장비를 이용하여 측정한 표준의 골밀도 데이터와 비교 분석하였다. Mindways 사에서 제공하는 QCT 프로그램은 별도의 추가 장비 필요 없이, QCT PRO™ 소프트웨어에 CT DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine) 영상을 적용시키

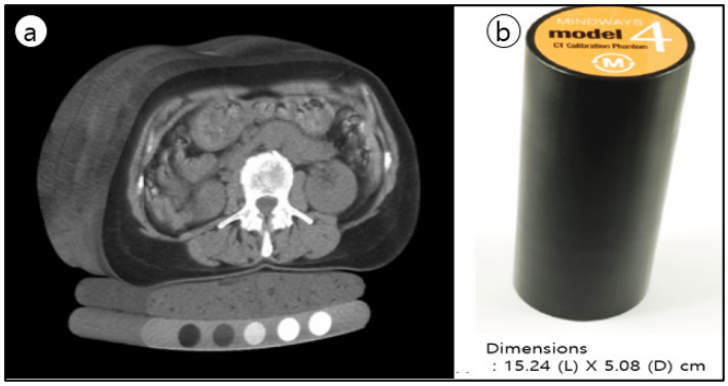

Fig. 7. (a) In the past, solid phantoms placed in a pad under the patient during CT image acquisition are used for calibration. These phantoms contain materials that represent a number of different equivalent bone mineral densities. Usually potassium phosphate (K_2HPO_4) is used as the reference standard. (b) The new phantom is a single-component cylindrical phantom. The high-symmetry and known composition provide a structure suitable for the analytic description of the x-ray attenuation properties including the effects of beam hardening.

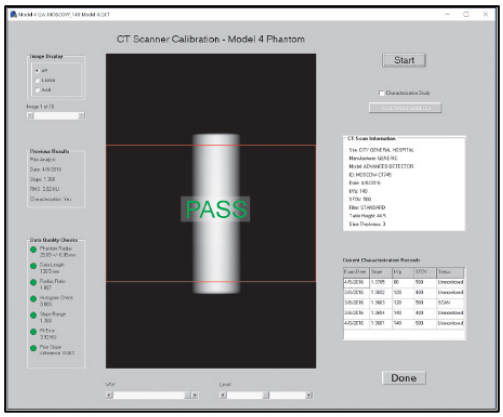

Fig. 8. The phantom image acquired with same protocol for a patient examination was applied to QC program every 3 months.

면 손쉽게 QCT 골밀도 분석이 가능하다. 예전에는 CT를 이용하여 골밀도를 측정할 때 장비 테이블에 다양한 농도의 수산화인회석(K_2HPO_4)으로 구성된 QCT 촬영용 팬텀을 환자와 함께 촬영해야 하는 번거로움이 있었지만[20], 최근에는 함께 촬영할 필요 없이 3개월에 한번씩 환자 촬영 조건과 동일한 CT 조건으로 팬텀 영상을 획득하고 프로그램에 인식해주면 되기 때문에 영상 획득 및 정도관리(Quality Control; QC) 차원에서도 많이 간편해졌다(Fig. 7, 8).

DXA에서는 PA(Posterior-Anterior)영상을 획득하여 2 차원 단면 영역에서 골밀도를 분석하기 때문에 단위 면적당 질량(g/cm^2)으로 측정되고, QCT에서는 3 차원 입체 영역에서 분석하기 때문에 단위 부피당 질량(mg/cm^3)으로 측정된다. 각 두 장비에서 시행한 DXA 골밀도 수치와 QCT 골밀도 수치를 이용하여 상관분석을 시행한 결과, 상관계수 0.76으로 강한 양의 상관관계를 보여 현재 골밀도 표준인 DXA 장비와 비교하였을 때 QCT를 이용한 골밀도 수치도 신뢰도가 있는 것으로 판단 할 수 있다. 또한 두 장비에서의 T-score를 이용하여 상관분석을 시행한 결과, 상관계수가 0.66으로 양의 상관관계가 있었으나, 골밀도 수치의 상관계수보다 다소 감소하였다. 이는 DXA 장비에서의 T-score보다 QCT에서의 T-score가 평균적으로 37 % 감소하여 두 집단간 T-score 차이가 더 많이 발생한 원인으로 판단된다. DXA 장비보다 QCT 장비에서 분석한 골밀도 수치 및 T-score 가 더 낮게 측정되는 원인에 대해서는 이미 많은 선행 연구에서 설명되었다. 그 이유로는 첫번째, 폐경기 여성의 생리학적인 변화에 따른 원인이다[21]. 척추에서의 해면골(Trabecular bone)은 다른 전반적인 뼈에 비해 폐경기 이후에 더욱 빠르게 변화한다. QCT는 척추 전체 면에서 해면골만 분리하여 측정 할 수 있는데 이는 폐경기 이후 더 높은 골감소 비율을 반영한다고 볼 수 있다. 두번째, 퇴행성 골극(Degenerative osteophytes) 또는 대동맥의 석회화(Aortic calcification) 등의 원인이다(Fig. 9)[22,23].

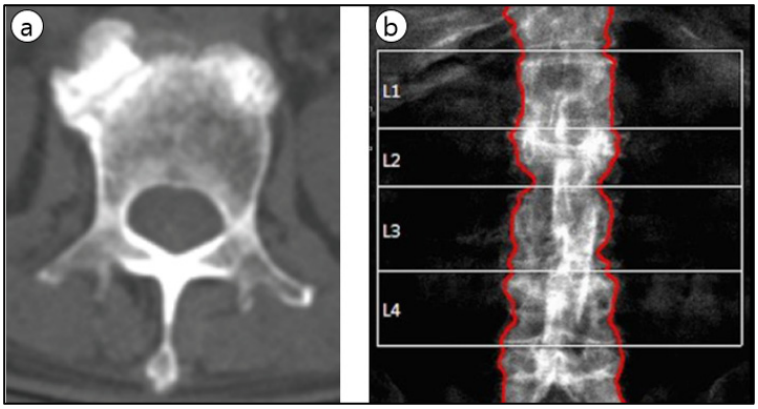

Fig. 9. PA-DXA of the spine estimates the amount of all minerals in the path of the x-ray beam, while QCT estimates only the trabecular bone density within the vertebral body. Osteophytes(a) and aortic calcification(b) can add a considerable amount of mineral to the DXA signal.

2 차원 단면을 이용해 뼈의 영역을 설정하는 DXA 장비에서는 골극이나 대동맥의 석회화가 생겼을 때 구조적으로 이를 따로 분리할 수 없어 분석 범위를 모두 포함하게 되지만, QCT는 3 차원 분석을 통해 골밀도를 과대평가하게 만드는 골극 또는 대동맥 석회화 등의 영역을 해면골과 분리하여 분석 할 수 있다. 세번째, DXA 장비에서는 뼈의 크기가 골밀도 수치에 영향을 줄 수 있다. DXA 장비는 투사(projection) 된 영역에서의 골밀도를 측정하기 때문에 뼈의 크기가 커질수록 작은 뼈보다 단위 면적당 골밀도가 높게 측정되는 오류를 범할 수 있다(Fig. 10). 아래의 그림으로 예를 들면, 한 박스당 골의 무게를 2 g으로 가정하였을 때, 2x2x2 cm 일 때와 3x3x3 cm 일 때의 단위부피당 질량은 2 g/cm^{3}으로 동일하나, DXA 장비에서 측정되는 단위면적당 질량은 3x3x3 cm 일 때는 6 g/cm^{2}으로, 2x2x2 cm 일 때는 4 g/cm^{2}으로 차이가 발생하게 된다[24].

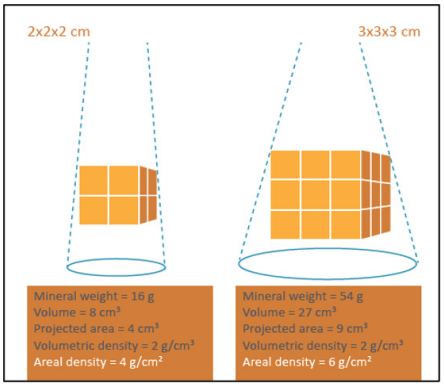

Fig. 10. Because the bones in the spine generally scale in 3 dimensions, the 'thickness' of large bones along the projected measurement is greater than for smaller bones, so the total bone mineral content increases faster than the projected area. This causes PA-DXA BMD estimates to be higher for large-stature patients than for smaller individuals, even if the volumetric BMD is the same.

위에서 설명된 여러 원인으로 QCT 골밀도가 DXA보다 더 낮게 측정되는 양상에 따라, 이번 연구도 비슷한 결과로 수치가 측정되었다. 각 장비별 질환 분류에서 카이제곱 검정을 시행한 결과, 두 장비간에 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 DXA에서는 정상군 10 명, 골감소증 25 명, 골다공증 20 명이었고 QCT에서는 정상 5 명, 골감소증 25 명, 골다공증 25 명으로 QCT에서 정상군은 감소하면서 골다공증 환자가 더 많게 분류 되었다. DXA 장비 기준으로 하였을 때는 55 명 중 20 명만 골다공증 진단을 받는 반면, QCT 장비에서는 55 명중 5 명이 더 추가된 25 명이 골다공증으로 진단을 받게 되는 것이다. 이는 단순 숫자의 증가만을 의미하는 것이 아니라, 골다공증으로 분류되어 요양급여 대상과 비대상을 구분하는 중요한 의미를 갖는다. DXA 장비를 골밀도 검사에서 표준 장비로 사용 할 때는 QCT에서 골다공증 환자가 더 증가한 것으로 보일 수 있겠지만, 오히려 골밀도 수치나 T-score가 실제보다 더 높게 측정되는 DXA에 비해 QCT가 더 정확한 결과로 보여지는 것이라고 역으로 생각 해 볼 수도 있다. 이러한 이유 때문에 DXA 장비에서 PA 촬영 대신 요추의 측면(Lateral)을 촬영하여 분석하는 방법이 권고되기도 한다[25]. 골극 및 대동맥 석회화 등의 영향을 덜 받을 수 있기 때문이다(Fig. 11).

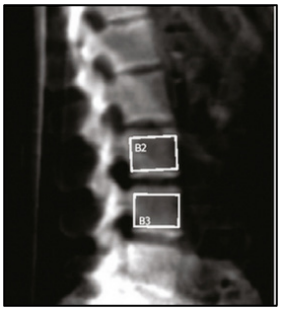

Fig. 11. Lateral DXA method is recommended to avoid over-estimation of PA-DXA BMD from pitfalls such as osteophytes or aortic calcification.

QCT에서는 부피에서의 골밀도를 측정하고 DXA에서는 면적에서의 골밀도를 측정하여 두 장비에서 사용하는 단위가 다르고, T-score 또한 차이가 있었기 때문에 서로 직접적으로 비교할 수 없는 어려움이 있다. 이에 본원에서 QCT와 DXA로 측정한 골밀도 수치와 T-score를 토대로 선형회귀분석을 시행하였다(Eq. 1, 2). DXA를 시행한 적이 없는 환자에서 QCT를 이용하여 DXA의 골밀도 수치 또는 T-score를 1차로 간접적으로 예측하고, 그 결과가 골다공증으로 의심될 경우 DXA를 시행하여 골밀도를 진단하고 질병을 조기에 예방 또는 치료에 도움을 줄 수 있을 것이다.

또한 이번 연구는 요추에서만 QCT와 DXA를 비교하였는데, 골밀도 분석 부위로 요추 외에 대퇴골 영역도 촬영하기 때문에 QCT 장비에서 대퇴골 범위에 대한 추가 비교 연구도 더 필요할 것으로 보인다. 이는 고관절(Hip Joint) 범위로만 SPECT/CT를 촬영 하였을 때 요추 전체가 포함되지 않아도 대퇴골의 골밀도를 부가적으로 분석 할 수 있기 때문이다. 대퇴골에서는 요추 분석 시 골밀도 수치가 DXA에서 높게 나오는 경향을 줄일 수 있고, 단위 부피당 질량(mg/cm^3)으로 측정되는 3 차원 요추의 QCT 골밀도와는 다르게 대퇴골의 QCT 골밀도는 DXA와 동일한 단위 면적당 질량(g/cm^2)으로 측정 되어 같은 단위로도 비교가 가능한 장점이 있다[26]. 또한 골절 위험도를 평가하는 모델(Fracture Risk Assessment Tool; FRAX)도 함께 평가할 수 있다[27]. FRAX는 타당성이 충분히 입증된 골절의 주요 위험인자를 사용하여 10 년 내 골절 위험도를 평가하는 방법이다. T-score만으로 골다공증을 진단하는 WHO 진단기준의 문제점을 개선하기 위하여 골다공증 골절 위험인자의 상호작용을 분석해 10 년 골절 위험도를 계산하는 것으로 연령, 성별, 체중, 신장, 골절 병력, 부모 대퇴골절 병력, 흡연, 스테로이드제 사용 병력, 류마티스관절염, 2차 골다공증, 1일 3단위 이상 음주 등을 이용하여 예측할 수 있다(Fig. 12). 이처럼 대퇴골 분석 시 FRAX도 함께 평가 할 수 있어 더 흥미 있는 결과를 도출 할 수 있을 것으로 기대된다.

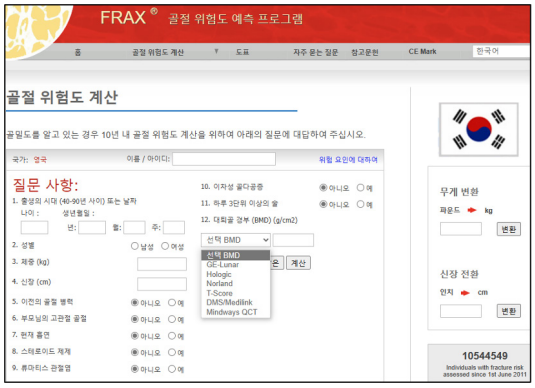

Fig. 12. We can calculate the fracture risk by inputting some information of a patient in the FRAX tool.

L-spine Bone SPECT/CT 검사에서 촬영하는 CT는 본원 영상의학과에서 QCT 목적 혹은 요추 병변 평가를 위해 촬영하는 CT에 비해 더 낮은 선량으로 촬영되고 있고, 아래의 표에 각 CT 검사에서의 조건들을 비교하였다(Table 5).

저선량 조건인 핵의학과 SPECT/CT에서의 CT 검사도 QCT 분석을 위해 권고되는 범위인 80-120 kVp, 50-200 mAs 내에서 시행되고 있다[28]. 핵의학과 CT와 영상의학과 L-spine CT에서는 자동노출제어장치(Automatic Exposure Control; AEC) 기법[29] 인 care dose 4D를 이용하는 반면, 영상의학과 QCT는 AEC를 사용하지 않고 고정 100 mAs를 사용하고 있다. 각 조건에 따라 QCT 골밀도 분석 수치에 차이가 있는지 장비끼리 비교하려 하였으나, QCT PRO™ 소프트웨어는 분석 장비의 라이렌스를 등록한 장비에서만 골밀도 분석이 가능하여 서로 비교할 수 없는 한계점이 있었다. CT impact scan 프로그램을 이용하여 각 조건으로 동일한 범위를 촬영 하였을 때 받는 유효선량을 산출하였다(Table 5). 요추 골밀도 검사 시 DXA에 의해 받는 유효선량인 0.001 mSv와[30] 비교하였을 때 SPECT/CT의 CT 유효선량이 비교적 높은 피폭으로 볼 수 있으나 SPECT/CT 검사에서 부가적으로 분석되는 것이기 때문에 많은 피폭을 받는 것이라고 간주하기는 어렵다. 또한 영상의학과에서 시행하는 QCT 검사조건과 비교 하였을 때는 52 %나 낮은 피폭선량을 받는다고 볼 수 있다.

골밀도 분석 표준 장비로 사용되고 있는 DXA 장비는 검사의 재현성을 유지하기 위해 ISCD 권고에 따라 30 명의 환자를 대상으로 각 두 번씩 촬영한 결과를 비교하는 검사자의 정밀도 검증(precision test)를 시행하고 있으며[13], 본원에서는 재진 검사(follow-up) 시 이전 검사에서 분석한 면적과 동일하게 수작업으로 설정해주고 있어 분석시간이 10~15 분 정도로 매우 긴 시간과 노력이 필요한 반면, QCT를 이용한 L-spine 3 차원 골밀도 분석은 용적 관심 영역(Volume Of Interest; VOI)이 거의 자동으로 설정되고 필요시 조금만 수정하면 되기 때문에 초진은 물론, 재진 검사에서 분석 소요 시간 많이 감소되어 분석 과정이 매우 간소화 될 수 있다. QCT는 아직까지 DXA에서처럼 검사자 재현성(Precision test)에 대한 국제 기준이 마련되지 않은 상황이기는 하나, 분석과정이 비교적 수월할 것으로 예상 되어 이런 면에서도 QCT를 이용한 골밀도 분석의 유용성이 높을 수 있을 것으로 판단된다.

현재까지는 SPECT/CT에서 얻어진 CT의 QCT 골밀도 수치를 판독 결과에 제공하고 있지 않은 상황이나, 향후에는 L-Spine SPECT에서 얻어지는 육안적/정성적 평가(Qualitative analysis) 뿐만 아니라 QCT로 분석한 골밀도 정보 및 SPECT에서 정량적인 분석 정보(Quantitative analysis)인 섭취 강도를 평가하는 SUV(Standardized Uptake Value)도 함께 제공한다면 SPECT/CT 기반의 핵의학 융합영상이 근골격계 환자 진료에 더 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

결론

DXA에서 측정한 골밀도 수치와 SPECT/CT의 저선량 CT 영상으로 측정한 QCT의 골밀도 수치가 서로 강한 상관관계가 있고, 질병 분류에서 두 장비간에 통계적으로 유의한 차이가 없으므로 L-Spine Bone SPECT/CT 검사에서 부가적으로 골밀도를 분석하는 것은 기존 골밀도 측정에 기준 장비로 사용되고 있는 DXA 장비와 비교하여도 높은 신뢰도를 갖는다고 판단 할 수 있다. Bone SPECT/CT 검사를 통해 3 차원의 해부학적/기능적 영상 정보를 제공하고, 추가로 요추 CT 영상을 통해 골밀도 정보도 함께 제공 가능하므로 요통을 호소하는 중장년층 환자군에서 골밀도 관련 더 많은 부가적 정보를 제공하여 잠재적인 골다공증 진단에 임상적으로도 큰 도움이 될 수 있을 것이다. 이를 통하여 CT, BMD, Bone scan 등 여러 종류의 검사를 다발적으로 시행하는 것이 아닌 SPECT/CT 단일 검사를 통해 한 번에 다양한 많은 정보를 제공 가능 할 수 있는 핵의학 융합영상만의 고유한 장점을 제시할 수 있는 기회가 될 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Jaszczak RJ. The early years of single photon emission computed tomography (SPECT): an anthology of selected reminiscences. Phys Med Biol. 2006;51:R99–115
2. Terry Jones. History and future technical innovation in positron emission tomography. J Med Imaging (Bellingham). 2017 Jan;4(1):011013
3. Brian F. Hutton. The origins of SPECT and SPECT/CT. Eur J Nucl Med Mol Imaging (2014) 41 (Suppl 1):S3–S16. DOI 10.1007/s00259-013-2606-5
4. T. Beyer et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology. J. Nucl. Med. 41(8), 1369–1379 (2000)
5. Khulood Al-Riyami. The role of bone SPECT/CT in patients with persistent or recurrent lumbar pain following lumbar spine stabilization surgery.Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2019 Apr;46(4):989-998. doi: 10.1007/s00259-018-4141-x. Epub 2018 Sep 6
6. Guezennec C, Keromnes N, Robin P, et al. Incremental diagnostic utility of systematic double-bed SPECT/CT for bone scintigraphy in initial staging of cancer patients. Cancer Imaging 2017; 17(1):16
7. Kazunari Ishii. Impact of CT attenuation correction by SPECT/CT in brain perfusion images. Annals of Nuclear Medicine volume 26, pages241–247 (2012)
8. Nikolas K. Knowles. Quantitative Computed Tomography (QCT) derived Bone Mineral Density (BMD) in finite element studies: a review of the literature. Journal of Experimental Orthopaedics volume 3, Article number: 36 (2016)
9. Engelke K et al. Advanced CT based in vivo methods for the assessment of bone density, structure, and strength. Curr Osteoporos Rep 11:246–255. doi:10.1007/s11914-013-0147-2 (2013)

10. O. Museyko. A low-radiation exposure protocol for 3D QCTof the spine. Osteoporos Int (2014) 25:983–992. DOI 10.1007/s00198-013-2544-x
11. Adams JE: Dual-energy x-ray absorptiometry, in Grampp S (ed): Radiology of Osteoporosis. Berlin, Springer Verlag, 2008, pp 105-12
12. Kwang J. Bone Densitometry. emin Nucl Med 41:220-228 (2011)
13. Clinical use of quantitative QCT of the hip in the management of osteoporosis in adults - the 2015 ISCD ocfficial position part1. https://iscd.org/learn/official-positions/adult-positions/
14. American College of Radiology. ACR Practice Guideline for the Performance of Quantitative Computed Tomography (QCT) Bone Densitometry. 2008
15. Lenka Vermeeren. Value of SPECT/CT for detection and anatomic localization of sentinel lymph nodes before laparoscopic sentinel node lymphadenectomy in prostate carcinoma. J Nucl Med. 2009 Jun;50(6):865-70. doi: 10.2967/jnumed.108.060673
16. Zeintl J, Vija AH, Yahil A et al .Quantitative accuracy of clinical Tc SPECT/CT using ordered-subset expectation maximization with 3-dimensional resolution recovery, attenuation, and scatter correction. J Nucl Med2010; 51: 921-8
17. Bailey DL, Willowson KP. An evidence-based review of quantitative SPECT imaging and potential clinical applications. J Nucl Med 2013; 54: 83-9.99m
18. Gary F. Gates. SPECT bone scanning of the spine. Seminars in Nuclear Medicine. Volume 28, Issue 1, January 1998, Pages 78-94
19. Arum Parthipun. Nuclear Medicine Blog. 2020. at https://www.nuclearmedicineblog.com/2020/11/15/spect-ct-of-the-spine/
20. S Zgliczyński. Measurement of bone mineral density (BMD) with quantitative computed tomography (QCT) in postmenopausal osteoporosis: effect of estrogen. Endokrynol Pol. 1992;43(3):350-7
21. G. Guglielmi et al. Osteoporosis: diagnosis with lateral and posteroanterior dual x-ray absorptiometry compared with quantitative CT. Radiology, vol. 192, no. 3, pp. 845-50, Sep. 1994
22. K. G. Faulkner et al. Effect of bone distribution on vertebral strength: assessment with patient-specific nonlinear finite element analysis. Radiology, vol. 179, no. 3, pp. 669-74, Jun. 1991
23. S. D. Rockoff, et al. The relative contribution of trabecular and cortical bone to the strength of human lumbar vertebrae. Calcified Tissue Research, vol. 3, no. 1, pp. 163-175, Dec. 1969
24. QCT vs. DXA: What's the Score? Mindways CT white paper. https://www.qct.com/Downloads/Whitepaper-20130402_online.pdf
25. G. M. Blake, et al. A longitudinal study of supine lateral DXA of the lumbar spine: a comparison with posteroanterior spine, hip and total-body DXA. Osteoporosis International, vol. 6, no. 6, pp. 462-70, Jan. 1996
26. B. C. C. Khoo. Differences in structural geometrical outcomes at the neck of the proximal femur using two-dimensional DXA-derived projection (APEX) and three-dimensional QCT-derived (BIT QCT) techniques. Osteoporos Int (2012) 23:1393–1398. DOI 10.1007/s00198-011-1727-6
27. Hans Lundin. Laser-Supported Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXL) Compared to Conventional Absorptiometry (DXA) and to FRAX as Tools for Fracture Risk Assessments. PLoS One. 2015 Sep 28;10(9):e0137535. doi: 10.1371/journal.pone.0137535. eCollection 2015
28. B C C Khoo. Differences in structural geometrical outcomes at the neck of the proximal femur using two-dimensional DXA-derived projection (APEX) and three-dimensional QCT-derived (BIT QCT) techniques. Osteoporos Int. 2012 Apr;23(4):1393-8. doi: 10.1007/s00198-011-1727-6. Epub 2011 Jul 23
29. Joël Greffier. CT dose reduction using Automatic Exposure Control and iterative reconstruction: A chest paediatric phantoms study. Physica Medica Volume 32, Issue 4, April 2016, Pages 582-589
30. John Damilakis. Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis. Eur Radiol. 2010; 20(11): 2707–2714. Published online 2010 Jun 18. doi: 10.1007/s00330-010-1845-0