

생체 외에서 시행한 정량적 자기공명영상, 단일 에너지 정량적 전산화단층촬영술, 그리고 이중엑스선 골밀도측정기 사이의 연관성

고지호, 허진도, 정규식, 오경승, 이승룡, 조영덕

고신대학교 의과대학 복음병원 진단방사선과

In Vitro Correlation With Quantitative MR, Single Energy Quantitative CT, and Dual X-ray Absorptiometry

Ji Ho Ko, M.D., Jin Do Huh, M.D., Gyoo Sik Jung, M.D., Kyeng Seung Oh, M.D.,
Seung Ryong Lee, M.D., Young Duk Cho, M.D.

Department of Diagnostic Radiology, Kosin University College of Medicine, Busan, Korea

Abstract

This study was performed to examine the correlation among quantitative magnetic resonance (QMR), single energy quantitative computed tomography (SE-QCT), and dual energy X-ray absorptiometry (DXA), and to examine the relation with bone mineral density (BMD) through in vitro experiment with pig lumbar vertebrae. The correlation among $1/T2^*$ of QMR, SE-QCT, and DXA was investigated by measuring the pig lumbar vertebrae BMD five times each method. It was examined whether there is a significant difference in the values of $1/T2^*$, SE-QCT, and DXA measured by changing the height (11cm, 20cm, 29cm) of water in water bath in order to make the soft tissues different in quantity. The lumbar vertebrae were placed in 0.1N sodium hydroxide (NaOH) solution for 24 hours to remove the residual soft tissue. Each values of SE-QCT before and after removal of the soft tissue were compared. Real BMD, measured after burning only the body of lumbar vertebrae for 3 hours at 1200°C , was compared to BMD with three methods. Based on the correlation analysis of $1/T2^*$ and SE-QCT (correlation coefficient, $r = -0.729$ to 0.737), $1/T2^*$ and DXA ($r = -0.709$ to 0.929), and SE-QCT and DXA ($r = -0.878$ to 0.862) after measuring BMD within the water bath, no significant correlation was observed among three methods. Also, there was no correlation between $1/T2^*$ and SE-QCT ($r = -0.587$ to 0.447) measured in the outside of water bath. SE-QCT ($P = 0.094$) and $1/T2^*$ ($P = 0.012$ to 0.094) measured in the inside and the outside, respectively, of the water bath were significantly different. When the height of water in the water bath was different, the change value of the BMD showed a significant difference in $1/T2^*$ ($P = 0.012$ to 0.403) and SE-QCT ($P = 0.012$ to 0.527), but not in DXA ($P = 0.012$). The values of SE-QCT measured before and after placing lumbar vertebrae in 0.1N NaOH for 24 hours were not significantly different ($P = 0.3177$). The BMD and $1/T2^*$ measured after burning showed the similar changing aspect ($P = 0.028$ to 0.106), however SE-QCT and DXA showed the different changing aspect ($P < 0.05$). There was no correlation among QMR, SE-QCT, and DXA, however the significant relation was observed between the BMD and QMR. The value of the BMD was measured differently depending on the height of water in the water bath. Therefore, although QMR is influenced by the height of the water bath in some degree, it reflects the BMD very well.

Key words : Quantitative Magnetic Resonance, Quantitative Computed Tomography, Dual X-ray Absorptiometry, Bone Mineral Density

서론

골다공증은 골격에서 발병되는 가장 일반적인 병이다.
이 병은 골 질량(bone mass)의 감소와 골 구조(bone

structure)를 변화시키고 이러한 이유로 골 강도(bone strength)가 감소되어 골절 발생의 위험을 증가시키는 결과를 초래한다.^{1,2)} 무기질 밀도(Bone mineral density, 이하 BMD)는 골 연약성(bone fragility)과 골 강도에 가장 중요한 판단요소로 널리 사용되고 있으며 골 구조는 골 강도와 골절에 중요한 역할을 한다.³⁻⁷⁾ 해면골(trabecular bone)을 근본으로 하는 골격은 골의 평가에 있어 중요한 의미가 있다. 왜냐하면 해면골이 치밀골(cortical bone)보다 높은 교체율(turn-over rate)을 가지고 있어서 대사자극에 예민하게 반응함으로서 골의 평가를 가장 잘 반영할 수 있기 때문이다. 그래서 해면골을 많이 함유하는 부위(척추몸체, 근위대퇴골, 그리고 원위요골)가 치밀골을 많이 함유하는 부위보다 골절이 되기 쉽다.⁸⁻⁹⁾

BMD는 이중엑스선 골밀도 측정기(Dual energy X-ray absorptiometry, 이하 DXA), 정량적 전산화단층촬영술(Quantitative computed tomography, 이하 QCT), 정량적 초음파 측정법(Quantitative ultrasound, 이하 QUS), 그리고 정량적 자기공명영상(Quantitative magnetic resonance, 이하 QMR) 등의 다양한 방법으로 측정이 가능하다.^{2,9)} DXA는 특히 임상적으로 가장 널리 골밀도의 평가방법으로 이용되고 있으며 QCT는 골밀도의 가장 정확한 정량적인 측정방법으로 이용되고 있다.^{6,10-15)} 그리고 최근에는 QMR이 골무기질 뿐만 아니라 골 강도에 대한 정보를 제공하고 해면골에 민감한 차이를 나타내는 비균질성(in homogeneity)을 측정하여 무기질화된 골의 성분을 평가하는데 이용되고 있다.¹⁶⁻²¹⁾ 그렇지만 이러한 다양한 방법으로 측정한 BMD의 값들이 골무기질 실제함량을 얼마나 정확히 반영하는지 알 수 없다. 그래서 정확한 골무기질 실제함량의 측정이 필요하다. 그러나 골무기질 실제함량의 생체 내(in vivo)에 의한 연구는 실험적으로 어려움이 많아 생체 외(in vitro)에 의한 연구가 활발히 이루어지고 있다.²²⁻²⁴⁾

이 연구는 QMR, 단일 에너지 정량적 전산화단층촬영술(Single energy quantitative computed tomography, 이하 SE-QCT), 그리고 DXA를 이용하여 골무기질 밀도의 정량적 분석과 골격 주변의 연부조직(soft tissue)이 BMD에 미치는 영향을 알아보고 QMR, SE-QCT, 그리고 DXA 서로간의 상관관계를 알아보았다. 그리고 QMR, SE-QCT, 그리고 DXA 중 골무기질 실제 함량을 잘 반영하는

기기가 무엇인지 알아보았다.

연구대상과 방법

골격 기형(bony deformity)이 없는 12개월 된 돼지의 요추(lumbar vertebrae : L1-L5)를 주변의 연부조직을 대부분 제거한 상태로 실험에 이용하였다. 그리고 이러한 제거된 연부조직을 대체하기 위하여 몸통모양의 수조(두께 0.5cm, 지름 30cm, 투명한 아크릴 제질의 원통)에 물을 넣어 그 역할을 대신하였으며 저체중, 정상, 그리고 비만의 변화를 주기 위하여 수조의 물높이를 11cm, 20cm, 그리고 29cm로 다르게 하였다. 실험 중에 요추의 부패를 최소한으로 줄이기 위하여 냉장 보관하였다.

사용한 기기들로는 DXA를 이용한 골밀도 측정기(DP X-a; Lunar Corp., Madison, WI, USA), SE-QCT를 이용한 골밀도 측정기(SCT 3000TX; Shimadzu, Kyoto, Japan), 그리고 1.0 Tesla의 QMR(Schimadzu; Kyoto, Japan)을 이용하였다.

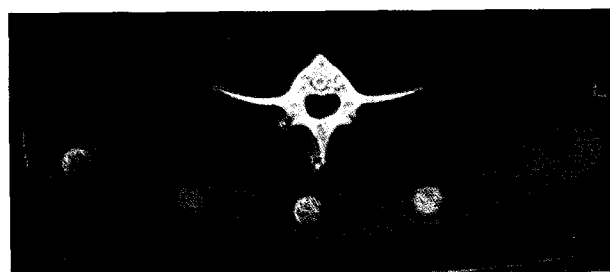


Fig 1. Axial SE-QCT image of L1 vertebral body and the round ROI within the trabecular bone for analysis. Crescent shaped phantom underneath water tank is used for calibration purposes in all studies.

첫 번째 방법으로 SE-QCT와 QMR을 이용하여 연부조직이 제거된 돼지 요추를 양와위 자세(supine position)로 고정시킨후 BMD를 각 5회씩 측정하였다. SE-QCT는 골과 등가물질인 인산화칼륨(K_2HPO_4)을 서로 다른 다섯 개의 농도(35, 70, 109, 141, 175 mg/cm^3)로 설정된 보정 모형(calibration phantom)을 요추 아래에 놓아둔 후 절편 두께 10 mm, 촬영조건 120 KVp, 250 mA로 주사시간 3.0초의 동적 측면 스캔(dynamic axial scan)를 실시하였으며 지름 1cm의 원형 관심영역(Region-of-Interest, 이하 R

생체 외에서 시행한 정량적 자기공명영상, 단일 에너지 정량적 전산화단층촬영술, 그리고 이중엑스선 골밀도측정기 사이의 연관성

OI)은 요추 몸체의 전방 골추체의 해면골 만을 지정하였다(Fig. 1). QMR은 T2*영상(TE/TR/TE=256/250/16, FLP=10, NEX=7)을 이용하여 정중앙의 시상면 스캔(midsagittal scan)를 실시하였으며 SE-QCT와 마찬가지로 지름 2cm의 원형 ROI를 요추 몸체의 전방 골추체의 해면골 만을 지정하였다(Fig. 2). 그리고 QMR과 SE-QCT로 5회 측정된 BMD 값의 상관관계를 알아보았다.

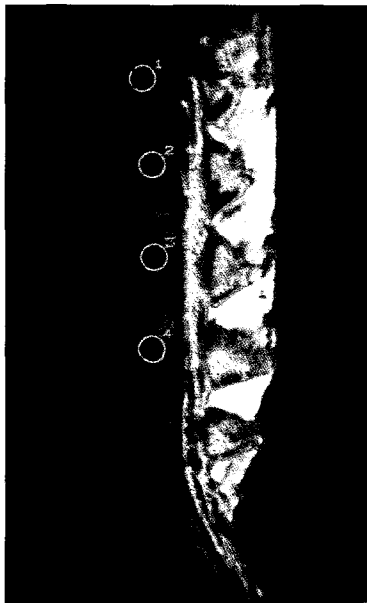


Fig 2. Mid-sagittal gradient-echo images of the lumbar spine obtained under identical conditions (repetition time (TR)=250msec, echo time (TE)=16msec). Round ROI is used to determine mean $1/T_2^*$ of vertebral cancellous bone.

두 번째 방법으로 DXA, SE-QCT, 그리고 QMR을 이용하여 연부조직이 제거된 돼지 요추를 앙와위 자세로 몸통 모양의 수조에 넣은 후 물의 높이를 11cm, 20cm, 그리고 29cm로 각각 다르게 하여 BMD를 각 5회씩 측정하였다. DXA는 76KVp X-ray source와 soft ware version 1.6x를 이용하였으며 ROI의 지정을 해면골과 치밀골을 포함한 요추 몸체, 극돌기(spinous process), 횡돌기(transverse process), 그리고 pedicle 등을 지정하였다(Fig. 3). 그리고 SE-QCT와 QMR은 첫 번째의 방법과 동일하게 시행하였다. ROI를 지정한 후 DXA로 측정된 BMD는 단위 면적당 질량(g/cm^2), SE-QCT는 단위 부피당 질량(mg/cm^3), 그리고 QMR은 $1/T_2^*(1/msec)$ 로 결과를 얻었다. 위의 방법들로 수조의 물높이를 11cm, 20cm, 그리고 29c

m으로 다르게 하여 5회 측정된 DXA, QCT, 그리고 QMR 각각의 결과들을 Wilcoxon 2-Sample Test의 통계방법을 이용하여 수조의 물높이에 따른 변화를 알아보았다. 또한 동일한 수조의 물높이에서 위의 세 가지 기기들로 측정된 결과들을 상관분석(Correlation analysis)의 통계 방법으로 각각 사용 기기들 간의 상관관계를 알아보았다.

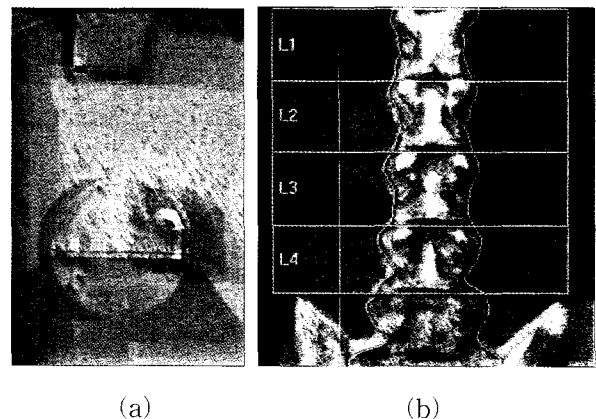


Fig 3. (a) Photograph of the vertebral body in water bath (depth 20cm) using DXA. (b) Posteroanterior DXA lumbar spine image with intervertebral markers (L1-L4).

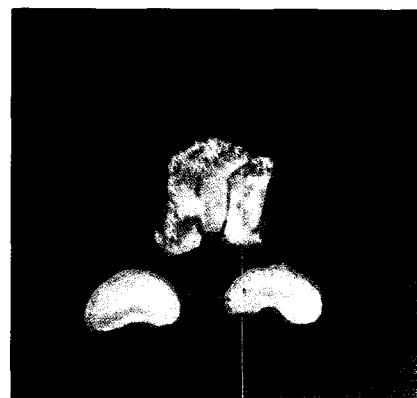


Fig 4. Photograph of the burnt vertebral body for 3 hours in electronic furnace. Pure bone mineral content is obtained from lumbar spine.

세 번째 방법으로 연부조직을 제거하기 위하여 요추를 0.1 N 농도의 수산화나트륨(NaOH)용액에 24시간동안 넣어둔 후 SE-QCT의 값을 5회 측정하였으며, 제거 전·후의 측정치를 Paired T test방법으로 비교하였다.

마지막으로 디지털 방식으로 제작하여 3시간동안 1200도의 온도를 유지할 수 있는 세라믹 제질의 고온 전기연소기(electronic furnace)를 이용하여 요추의 종판(endplate)을 제외한 몸체만을 선별하여 각각 요추 다섯 개의 골무기질 실제 함량(mg/cm^3)을 측정하였다(Fig. 4). 또한, 골무기질 실제 함량을 DXA, QCT, 그리고 QMR로 측정한 BMD의 결과들과 변량분석(ANOVA)의 통계방법으로 비교하였다.

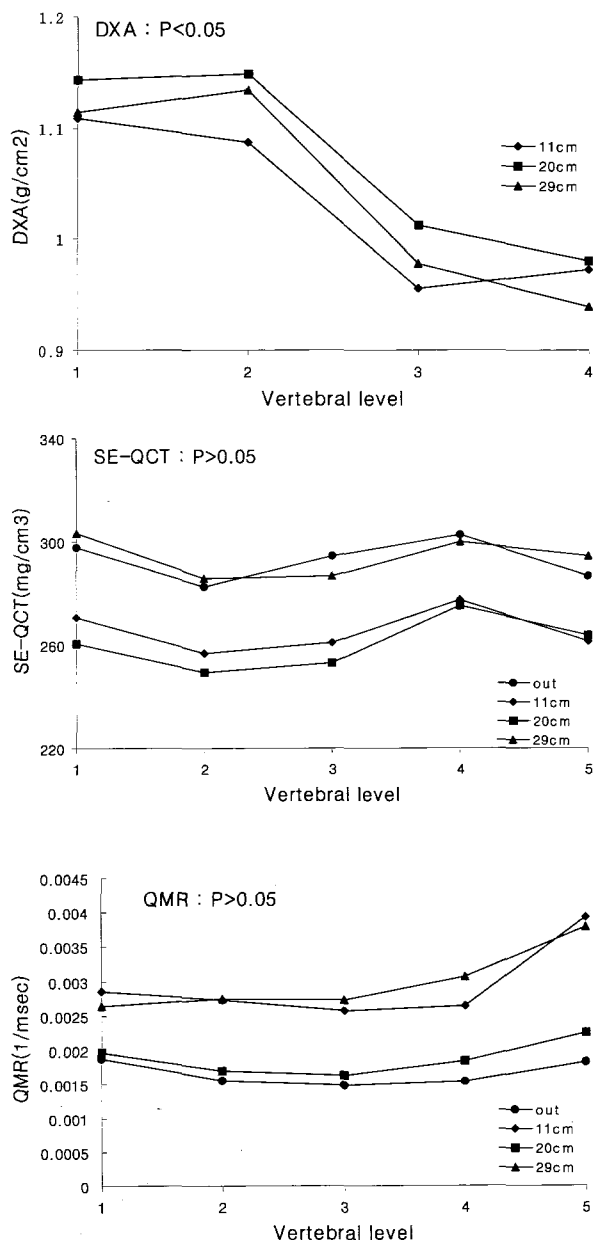


Fig 5. Mean bone mineral density plotted against vertebral levels

in water bath. From top to below, DXA, SE-QCT, $1/T2^*$ of QMR.

결 과

연부 조직이 제거된 상태의 돼지 요추를 수조의 밖에서 측정한 SE-QCT와 QMR 간의 상관관계는 r 은 -0.58674에서 0.37322($P=0.9722$ to 0.2984)로 서로간의 상관관계는 없었다 (Table 1).

Table 1. Correlation of BMD between $1/T2^*$ and SE-QCT Measured in a Pig Lumbar Vertebrae

Vertebral Level	$1/T2^*$ (1/msec)	SE-QCT (mg/cm ²)	r Value	P Value
L1	0.00188	297.6	-0.58674	0.2984
L2	0.00155	282.4	-0.44697	0.4505
L3	0.00149	294.6	0.37322	0.5361
L4	0.00154	302.8	0.14822	0.8122
L5	0.00183	286.6	-0.02181	0.9722

SE-QCT = single energy quantitative CT
r = correlation coefficient

수조의 안에서 물의 높이를 다르게 하여 측정한 DXA, SE-QCT, 그리고 QMR 사이의 상관관계는 DXA와 SE-QCT의 r 은 -0.87767에서 0.86161($P=0.9396$ to 0.0504)(Table 2), DXA와 QMR의 r 은 -0.70949에서 0.92952($P=0.9947$ to 0.0222)(Table 2), 그리고 SE-QCT와 QMR의 r 은 -0.72877에서 0.73767($P=0.9856$ to 0.1548)(Table 4)로 전반적으로 유의한 상관관계가 없었다.

Table 2. Correlation of BMD between DXA and SE-QCT according to the Different Height of the Water

Vertebral Level	11cm	20cm	29cm
	r Value P value	r Value P value	r Value P value
L1	0.61503 0.2696	0.46429 0.4308	-0.87767 0.0504
L2	0.04742 0.9396	0.50755 0.3827	0.63344 0.2512
L3	-0.58153 0.3037	0.86161 0.0605	-0.87000 0.0552
L4	0.78698 0.1142	0.80519 0.1001	0.36938 0.5406

DXA = dual energy X-ray absorptiometry

SE-QCT = single energy quantitative CT

r = correlation coefficient

생체 외에서 시행한 정량적 자기공명영상, 단일 에너지 정량적 전산화단층촬영술, 그리고 이중엑스선 골밀도측정기 사이의 연관성

Table 3. Correlation of BMD between DXA and QMR according to the Different Height of the Water

Vertebral Level	11cm		20cm		29cm	
	r Value	P value	r Value	P value	r Value	P value
L1	-0.70949	0.1796	0.19509	0.7532	-0.17919	0.7731
L2	0.50954	0.3805	0.54789	0.3391	-0.00419	0.9947
L3	0.72846	0.1628	0.89723	0.0389	0.92952	0.0222
L4	0.31068	0.6109	0.22462	0.7164	0.37026	0.5396

DXA = Dual energy X-ray absorptiometry

QMR = Quantitative MR.

r = correlation coefficient

Table 4. Correlation of BMD between DXA and QMR according to the Different Height of the Water

Vertebral Level	11cm		20cm		29cm	
	r Value	P value	r Value	P value	r Value	P value
L1	0.03899	0.9504	0.32749	0.5906	0.20857	0.7764
L2	-0.01131	0.9856	0.73767	0.1548	0.33625	0.5801
L3	-0.72877	0.1625	0.65570	0.2296	-0.70204	0.1863
L4	0.14812	0.8121	0.50532	0.3851	-0.42122	0.4800

SE-QCT = single energy quantitative CT

QMR = Quantitative MR.

r = correlation coefficient

Wilcoxon 2-Sample Test의 분석방법으로 수조의 밖과 수조의 물높이가 20cm일 때 측정된 SE-QCT($P=0.094$)와 QMR($P=0.012$ to 0.094)의 값은 전반적으로 유의한 차이를 보였고 수조의 물높이를 11cm, 20cm, 그리고 29cm으로 다르게 하였을 때도 SE-QCT의 P값은 0.5271에서 0.0117, QMR의 P값은 0.4034에서 0.0112로 수조의 물높이에 따른 유의성은 없었다. 그러나 DXA는 수조의 물높이가 11cm과 20cm일 때 비교에서는 서로 다른 차이를 보였으나($P=0.4633$ to 0.0119) 전반적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($P=0.012$)(Fig. 5).

Table 5. Correlation of BMD Measured with DXA, SE-QCT, and QMR after Burning Body of Pig Vertebra

Water Tank	DXA	SE-QCT	1/T2*
outside	-	0.0001	0.0816
11cm	0.0077	0.0001	0.1056
20cm	0.0001	0.0001	0.0836
29cm	0.0001	0.0001	0.0276

Parentheses are P Values.

DXA = dual energy X-ray absorptiometry,

SE-QCT = single energy quantitative CT.

Paired T test의 분석방법으로 요추를 0.1 N 농도의 NaOH용액에 24시간동안 넣어둔 후 측정된 SE-QCT의 측정치를 연부조직 제거 전의 측정치와 서로 비교하였을 때 유의성은 없었다($P=0.3171$)(Fig. 6).

고온의 연소기를 이용하여 측정된 골무기질의 실제함량과 DXA, SE-QCT, 그리고 QMR 각각의 사용기기들로 측정된 BMD값들을 변량분석의 통계방법으로 서로 비교한 결과, QMR은 골무기질 실제함량과 유사한 변화양상($P=0.0276$ to 0.1056)을 보였으나 SE-QCT와 DXA는 다른 양상($P<0.05$)을 보였다(Table 5).

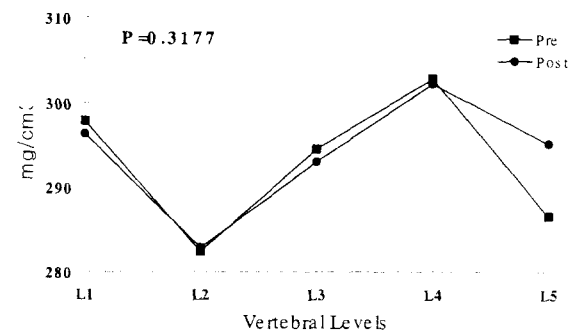


Fig 6. Comparison of pig's lumbar vertebrae BMD values obtained with the SE-QCT before and after removed of soft tissue(Pre=pre-removed soft tissue, post=post-removed soft tissue)

고찰

자기공명영상(MR)은 골격의 구조와 골무기질 밀도와 연관된 정보를 얻을 수 있기 때문에 최근의 연구들을 보면 무기질화된 골의 비균질성을 평가하는데 유용하게 사용되고 있다.¹⁶⁻²¹⁾ 현재, 임상에서 사용하고있는 MR으로는 고체상태에서 양자(protons)의 T2는 짧아지기 때문에 골조직(bone tissue)의 측정이 불가능하다. 그러나 해면골은 주위의 골수(bone marrow)를 측정함으로써 간접적으로 평가할 수 있다. 이 방법은 해면골과 골수는 서로 다른 각각의 자화율(magnetic susceptibility)을 가지고 있어 물리적 위상(physical phases)이 변화하면 MR의 공전 자장(static magnetic field)안에서 공간적 비균질성(spatial inhomogenities)으로 표현된다는 사실을 이용한 것

이다. 이런 비균질성들은 gradient-echo image에서 신호 강도(signal intensity)와 T2*값의 감소를 유발시킬 수 있는 횡축 자기화(transverse magnetization)의 위상 이탈(de phasing)을 초래한다.

BMD와 MR의 T2* 이완시간(relaxation times)사이의 관계는 생체 내와 생체 외에서 많은 연구가 이루어지고 있다. Davis 등¹⁶⁾에 의하면 bone powder (ground trabecular bone)를 이용한 생체 외 연구에서 골밀도와 같은 기름 용액(oil solution)과 물이 혼합되었을 때 T2*의 값이 감소하였으나 기름 용액을 첨가할수록 전체 부피에 대한 표면의 비율(surface to volume ratio)이 증가하여 T2* 값은 증가한다고 하였다. Rosenthal 등²⁵⁾에 의하면 척추의 해면골 안에 존재하는 물(intratrabeular water)의 T2*값이 해면골 밖에 존재하는 물(extratrabeular water)의 T2*값 보다 더욱 낮게 측정되고 Wehrli 등²⁶⁾에 의하면 척추의 골수를 제거한 후 물을 채워놓고 측정한 T2*값이 순수한 물의 T2*값보다 낮게 측정된다고 하였다. 이러한 생체 외 연구에서 골수 내에 존재하는 해면골의 비균질성의 구조 때문에 T2*가 짧아지고 MR 영상에서 신호강도가 소실된다는 것을 알 수 있다.

Sebag과 Moore 등²⁷⁾은 생체 내에서 gradient-echo images로 시행한 고관절의 해면골 밀도가 어떠한 영향을 미치는지 연구하였다. 골간(diaphysis)과 골간단(metaphysis)의 부위가 골단(epiphysis)보다 더욱 많은 지방골수(fat marrow)로 인해 높은 신호강도를 보였으며 해면화 구조도 풍부하였다. 결국 T2*는 골간과 골간단보다 골단에서 증가하였다. 우리의 연구결과를 보면 요추를 연소시킨 후 측정한 골무기질 실제함량과 QMR로 측정한 1/T2*의 값은 서로 의미있는 연관성을 보여 이전의 연구들에서와 마찬가지로 QMR이 해면골의 비균질성을 평가할 수 있어 BMD를 잘 반영한다는 이론을 뒷받침하여 준다. 그리고 요추를 수조의 밖에서 측정한 1/T2*의 값이 수조의 안에서 측정한 1/T2*의 값보다 낮은 값을 나타내었는데 이것은 요추의 해면골 사이로 물이 채워짐으로 인하여 해면골이 더욱 비균질화 되기 때문일 것으로 추측된다. 그리고 수조안의 물높이를 다르게 하였을 때 서로 다른 값을 보인 것은 수조에 물이 채워짐으로 인하여 비균질화가 더욱 커지기 때문일 것으로 생각된다.

정량적 전산화 단층촬영술은 삼차원적으로 정확한 해부학적 위치를 알 수 있고 해면골과 치밀골을 분리하여 측정할 수 있으나 많은 방사선 피폭량, 해면골의 지방에 의한 오차, 고가의 비용, 낮은 재현율 등의 단점도 있다.^{1, 4, 15, 23, 28, 29)} 그리고 골무기질 실제함량을 정량적으로 측정하려는 노력은 Rutherford 등³⁰⁾이 EMI 두부 전산화단층촬영기를 이용하여 요골과 척골의 원위부 해면골에서 EMI 단위를 측정하여 해면골과 치밀골을 분리하여 측정할 수 있고 측정치가 비교적 높은 재현성을 나타낸다고 최초의 보고가 있는 후 계속적으로 연구되어지고 있다. 그러나 현재까지도 골무기질 실제함량의 정확한 측정값을 얻는데는 어려움이 많다.³¹⁾

정량적 전산화단층촬영술을 이용하여 골무기질 밀도의 정량적 측정시 골무기질 함량 측정치의 정확도와 정밀도가 중요하다. 특히, 정확도는 골격을 구성하는 지방함량에 대한 오차와 beam hardening effect 등의 인자에 영향을 받으며 정밀도는 전산화단층촬영시 정확한 촬영부위의 선정과 측정부위 선정의 재현성에 영향을 받는다.^{2, 3)} 서수지 등³²⁾에 의하면 alcohol 30% 용액에 인산화칼륨 100 mg/ml이 되도록 하여 스캔한 결과 지방함량에 의한 오차는 SE-QCT는 30-40%, 이중에너지 QCT (Double energy QCT, 이하 DE-QCT)는 2% 이내의 정확도를 나타내므로 DE-QCT를 이용함으로써 지방함량에 대한 오차를 줄여 골격의 무기질 함량을 더욱 정확히 측정할 수 있다고 하였다. 저자의 연구에서도 SE-QCT의 결과들은 정확도가 낮았다. 즉 요추를 연소 후 측정한 골무기질 실제함량과 SE-QCT로 측정된 BMD의 비교를 보면 10%-20%의 비교적 높은 오차를 보였다. 물론, SE-QCT에서는 ROI를 요추 몸체의 해면골만을 포함시켜 측정하였고 연소 후 측정한 골무기질 실제함량은 요추 몸체의 해면골만을 포함시키려고 하였지만 물리적으로 해면골과 치밀골을 분리하는데 어려움 때문에 치밀골이 포함되기 때문에 SE-QCT와 골무기질 실제 함량간의 차이는 있을 것으로 추측된다. 그러나 Gluer 등³³⁾에 의하면 SE-QCT를 이용하더라도 지방은 생물학적 변이가 크지 않아 고령에서 실제의 골무기질보다 15-20% 낮게 측정되지만 나이에 따른 지방의 증가에 대한 보정을 할 수 있고 DE-QCT 보다 2배 정도 적은 방사선 피폭량과 에너지 이용을 때문에 임상적으로 DE-QCT보다 더욱 추천되어야 한다

생체 외에서 시행한 정량적 자기공명영상, 단일 에너지 정량적 전산화단층촬영술, 그리고 이중엑스선 골밀도측정기 사이의 연관성

고 하였다. 다시말하면 골무기질 실제함량을 정확히 알려면 DE-QCT를 이용하여야 하지만 검사를 받을 환자의 입장에서는 SE-QCT를 이용하는 것이 바람직하다는 결론을 얻을 수 있다.

DXA는 검사 시간의 단축, 낮은 방사선 피폭량, 그리고 해상력과 정확도의 향상으로 현재 임상에서 골다공증의 진단에 널리 이용되고 있다.^{22, 34-36)} Ho 등²²⁾은 생체 외에서 사체의 요추를 이용하여 실험한 연구에서 DRA (Dual-energy radiographic absorptiometry)로 측정된 골무기질 함량(Bone mineral content, BMC)과 요추의 연소량을 비교하였을 때 연관성이 있게 발표되었는데 저자의 연구에서는 DXA로 측정된 BMD와 요추를 연소시킨 후 측정된 골무기질 실제함량과는 연관성이 없게 나왔다. 이러한 결과는 Ho 등은 비교하고자하는 범위가 일치하는 요추 부위를 비교하였으며 서로 같은 단위인 그램(g)으로 측정하였지만 저자의 연구에서는 DXA의 ROI와 연소 후 측정된 요추는 비교하고자 하는 범위가 서로 다르기 때문에 연관성이 없게 나왔을 것으로 생각된다. 그리고 DXA에서는 단위 제곱(cm²)당 mg을 측정하기 때문에 부피의 의미를 갖는 골무기질 실제함량의 밀도(mg/cm³)와는 단위의 차이가 있고 비교하고자하는 범위를 실질적으로 똑같이 설정할 수 없기 때문에 DXA와 골무기질 실제함량과는 비교하는데는 어려움이 있다. 저자의 연구에 의하면 수조의 물높이에 따라 BMD의 값이 QMR과 SE-QCT보다는 DXA에서 높이에 따른 서로의 차이가 적게나왔다. 물론, DXA에서도 지방의 부피가 너무 많을 때에는 지방을 어느 정도 압박해줌으로서 그 차이를 줄일 수 있을 것이다.³⁷⁻³⁹⁾

결론

QMR, SE-QCT, 그리고 DXA를 이용한 골밀도 측정방법 사이의 상관관계는 없었으나 BMD와 QMR 사이에는 유의한 변화양상을 보였다. 그리고 골격 주변의 연조직 즉 수조 물높이의 변화에 따라 QMR, SE-QCT 그리고 DXA 모두가 높이에 따라 서로 다르게 측정되었지만 DXA에서는 그 변화가 적었다. 그러므로 골무기질 실제함량과 골무기질의 비균질성을 측정하려면 최근에 계속

연구되어지고 있는 QMR을 이용하는 것이 좋으며 QCT는 이중 에너지를 이용하고 DXA는 측정하고자 하는 범위를 해면골에 국한시키면 골무기질 실제함량과 오차를 줄일 수 있을 것이다. 그리고 DXA는 골격 주위의 연부 조직의 영향을 적게 받지만 지방함량을 어느 정도 인위적으로 보정을 한 후 측정하는 것이 유용할 것이다. QMR, SE-QCT, 그리고 DXA 서로간의 상관관계를 비교하기는 실질적으로 어려움이 있지만 측정하고자하는 BMD의 비교 범위를 동일하게 할 수만 있다면 이들의 연관성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Black D, Cummings SR, Melton LJ: Appendicular bone mineral and a woman's lifetime risk of hip fracture. *J Bone Miner Res* 7: 639-646, 1992
2. Grampp S, Jergas M, Cluer CC, Lang P, Brastow P, Genant HK: Radiologic diagnosis of osteoporosis: current methods and perspectives. *RCNA* 31: 1133-1145, 1993
3. Cummings SR, Black D, Nevitt M, Browner W, Cayley J, Ensrud K, Genant HK, Palermo L, Scott J, Vogt TM: Bone density at various sites for prediction of hip fractures: the study of osteoporotic fracture. *Lancet* 341: 72-75, 1993
4. Beck TJ, Christopher BR, Warden KE, Scott WW, Rao GU: Predicting femoral neck strength from bone mineral data: a structural approach. *Invest Radiol* 25: 6-18, 1990
5. Mosekilde L: Sex differences in age-related loss of vertebral trabecular bone mass and structure: biomechanical consequences. *Bone* 10: 425-432, 1989
6. Parfitt AM: Trabecular bone architecture in the pathogenesis and prevention of fracture. *Am J Med* 82(suppl 1B): 68-72, 1987
7. Hansson T, Roos B: The relation between bone mineral content, experimental compression fractures, and disc degeneration in lumbar vertebrae. *Spine* 6: 147-53, 1981
8. Jones CD, Laval-Jeantet AM, Laval-Jeantet MH, Genant HK: Importance of measurement of spongy vertebral bone mineral density in the assessment of osteoporosis. *Bone* 8: 201-206, 1987
9. Lang P, Steiger P, Faulkner K, Gluer C, Genant HK: Osteoporosis: current techniques and recent developments in quantitative bone densitometry. *Radiol Clin North Am* 29: 49-76, 1991
10. Hnasen MA, Hassager C, Overgaard K, Marslew U, Riis BJ, Christiansen C: Dual energy x-ray absorptiometry: a precise method of measuring bone mineral density in the lumbar

- spine. *J Nucl Med* 31: 1156-1162, 1990
11. Cluer CC, Steiger P, Selvidge R, Ellisen-Klieforth K, Hayashi C, Genant HK: Comparative assessment of dual-photon absorptiometry and dual energy radiography. *Radiology* 174: 223-228, 1990
12. Ostlere SJ, Gold RH: Osteoporosis and bone density measurements methods. *Clin Orthop* 271: 149-163, 1991
13. Cann CE, Genant HK: Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 4: 493-500, 1980
14. Genant HK, Steiger P, Block JE, Glueer CC, Smith R: Quantitative computed tomography; update 1987. *Calcif Tissue Int* 41: 179-186, 1987
15. Steiger P, Block JE, Steiger S, Heuck AF, Friedland A, Ettinger B, Harris ST, Glueer CC, Genant HK: Spinal bone mineral density measured with quantitative CT: effect of region of interest, vertebral level, and technique. *Radiology* 175: 537-543, 1990
16. Davis CA, Genant HK, Dunham JS: The effects of bone on proton NMR relaxation times of surrounding liquids. *Invest Radiol* 21: 472-477, 1986
17. Majumdar S, Thomasson D, Shimakawa A, Genant HK: Appearance of bone marrow in the presence of trabecular bone: quantitation of the susceptibility effects and correlation with bone density(abstr). *Radiology* 177: 128-129, 1990
18. Majumdar S, Thomasson D, Shimakawa A, Genant HK: Quantitation of the susceptibility difference between trabecular bone and bone marrow: experimental studies. *Magn Reson Med* 22: 111-127, 1991
19. Majumdar S: Quantitation of the susceptibility difference between trabecular bone and bone marrow: computer simulations. *Magn Reson Med* 22: 101-110, 1991
20. Grampp S, Majumdar S, Jergas M, Newitt D, Lang P, Genant HK: Distal radius: in vivo assessment MR imaging, peripheral quantitative CT, and dual x-ray absorptiometry. *Radiology* 198: 213-218, 1996
21. Wehrli FW, Ford JC, Kaut-Watson C: Quantitative MR: a new method for in vivo characterization of trabecular bone structure(abstr). *Radiology* 177: 245, 1990
22. Ho CP, Kim RW, Schaffler MB, Sartoris DJ: Accuracy of dual-energy radiographic absorptiometry of the lumbar spine: cadaver study. *Radiology* 176: 171-173, 1990
23. Cann CE, Genant HK: Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 4: 493-500, 1980
24. Borders J, Kerr E, Sartoris DJ, Stein JA, Ramos E, Moscona AA, Resnick D: Quantitative dual-energy radiographic absorptiometry of the lumbar spine: in vivo comparison with dual-photon absorptiometry. *Radiology* 170: 129-131, 1989
25. Rosenthal H, Thulborn KR, Rosenthal DI, Rosen BR: Magnetic susceptibility effects of trabecular bone on magnetic resonance bone marrow imaging. *Invest Radiol* 25: 173-178, 1990
26. Wehrli FW, Ford JC, Haddad JG: Osteoporosis: clinical assessment with quantitative MR imaging in diagnosis. *Radiology* 196: 631-641, 1995
27. Sebag GH, Moore SG: Effect of trabecular bone on the appearance of marrow in gradient-echo imaging of the appendicular skeleton. *Radiology* 174: 855-859, 1990
28. Lenchik L, Sartoris DJ: Current concepts in osteoporosis. *AJR* 168: 905-911, 1997
29. Guglielmi G, Grimston SK, Fischer KC, Pacifici R: Osteoporosis: diagnosis with lateral and posteroanterior dual x-ray absorptiometry compared with quantitative CT. *Radiology* 192: 845-850, 1994
30. Rutherford RA, Pullan BR, Isherwood I: measurement of effective atomic number and electron density using an EMI scanner. *Neuroradiology* 11: 15, 1976
31. Weissberger MA, Zamenhof RG, Aronow S et al: Computed tomography for the measurement of bone mineral in human spine. *J Comput Assist Tomogr* 2: 253-262, 1978
32. 서수지, 최태진, 주양구, 김 홍: 이중에너지 전산화단층촬영술을 이용한 골무기질 함량의 정량적 분석. *대한방사선 의학회지* 25: 586-592, 1989
33. Cluer CC, Reiser UJ, Davis CA, Rutt BK, Genant HK: Vertebral mineral determination by quantitative computed tomography: accuracy of single and dual energy measurement. *J Comput Assist Tomogr* 12: 242-258, 1988
34. Sartoris DJ: Clinical value of bone densitometry. *AJR* 163: 133-135, 1994
35. Rizzoli R, Slosman D, Bonjour J-P: The role of dual x-ray absorptiometry of lumbar spine and proximal femur in the diagnosis and follow-up of osteoporosis. *Am J Med* 98: 33-36, 1995
36. Sartoris DJ, Resnick D: Dual-energy radiographic absorptiometry for bone densitometry: current status and perspective. *AJR* 152: 241-246, 1989
37. 오종영, 양승오, 이정미, 최종철, 이영일, 정덕환: 이중 방사선 흡수법을 이용한 부위별 골밀도 측정의 필요성. *대한방사선 의학회지* 32: 971-974, 1995
38. Tothill P, Avenell A: Errors in dual-energy X-ray absorptiometry of the lumbar spine owing to fat distribution and soft tissue thickness during weight change. *Br J Radiol* 67: 71-75, 1994
39. Tothill P, Avenell A: Anomalies in the measurement of changes in bone mineral density of the spine by dual-energy X-ray absorptiometry. *Calcif Tissue Int* 63: 126-133, 1998