

# 골다공증 여성에서 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도와 종골 음속 사이의 상관관계

## Correlations of Lumbar and Femoral Bone Mineral Densities with Calcaneal Speed of Sound in Osteoporotic Women

이 강 일\*, 최 민 주\*\*  
(Kang Il Lee\*, Min Joo Choi\*\*)

\*강원대학교 물리학과, \*\*제주대학교 의학과  
(접수일자: 2009년 6월 22일; 채택일자: 2009년 8월 10일)

본 in vivo 연구에서는 36명의 골다공증 여성을 대상으로 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도와 종골 음속 사이의 상관관계를 조사하였다. 2-4번 요추골 및 우측 대퇴골 경부의 단위면적당 골밀도는 이중에너지 X-선 흡수측정법을 이용하여 측정되었다. 우측 종골의 음속은 초음파 골밀도 측정기를 이용하여 측정되었다. 각 측정값 사이의 상관관계를 분석하기 위하여 Pearson 상관계수 ( $r$ ) 및 유의수준 ( $p$ )이 이용되었다. 요추골 골밀도와 대퇴골 골밀도 사이에는 매우 높은 양의 상관관계가 나타났다 ( $r=0.81$ ). 요추골 및 대퇴골 골밀도는 연령과 음의 상관관계를 보였다 ( $r=-0.52$  및  $r=-0.55$ ). 종골 음속과 연령 사이에도 음의 상관관계가 나타나는 것을 알 수 있었다 ( $r=-0.45$ ). 종골 음속은 요추골 및 대퇴골 골밀도와 비교적 높은 양의 상관관계를 보였으며, 요추골 골밀도보다 대퇴골 골밀도와 더 높은 상관관계를 나타냈다 ( $r=0.54$  및  $r=0.62$ ). 그러나 이는 종골 음속이 종골 골밀도와 갖는 상관관계에 비하여 낮으므로 종골 음속은 골절률이 가장 높은 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도를 평가하기에 최적의 지표가 아님을 알 수 있었다. 그러므로 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도를 보다 정확히 평가하기 위하여 이 부위의 음향특성을 직접 측정할 수 있는 정량적 초음파 기술을 개발할 필요가 있다.

**핵심용어:** 골다공증, 골밀도, 요추골, 대퇴골, 종골, 정량적 초음파, 음속

**투고분야:** 생체 및 의학 음향 분야 (15.4)

In this in vivo study, correlations of lumbar and femoral bone mineral densities (BMDs) with calcaneal speed of sound (SOS) were investigated in 36 osteoporotic women. Areal BMDs of the L2-L4 lumbar spine and the right femoral neck were measured by using dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). SOS of the right calcaneus was measured by using ultrasound bone densitometry. Pearson's correlation coefficient ( $r$ ) and level of significance ( $p$ ) were used to evaluate the correlations between measurements. Lumbar BMD was highly correlated with femoral BMD ( $r=0.81$ ). Lumbar and femoral BMDs exhibited similar comparable negative correlations with age ( $r=-0.52$  and  $r=-0.55$ ). A moderate negative correlation was found between calcaneal SOS and age ( $r=-0.45$ ). Calcaneal SOS was significantly correlated with lumbar and femoral BMDs, with a higher correlation with femoral BMD rather than with lumbar BMD ( $r=0.54$  and  $r=0.62$ ). However, calcaneal SOS may not be an optimum index for the estimation of BMD of the most important fracture sites, such as the lumbar and the femur, because it showed lower correlations with lumbar and femoral BMDs compared to that with calcaneal BMD. Therefore, the development of a quantitative ultrasound technology for the direct measurement of acoustic properties at the lumbar and the femur is required to estimate BMD of these sites more accurately.

**Keywords:** Osteoporosis, Bone mineral density, Lumbar, Femur, Calcaneus, Quantitative ultrasound, Speed of sound

**ASK subject classification:** Biological and Medical Acoustics (15.4)

## I. 서론

의 파괴로 인하여 작은 충격에도 골절이 쉽게 발생하는 전신적 골질환"으로 정의된다 [1]. 오늘날 생활수준이 향상하고 의학 기술이 발전하여 평균 수명이 길어지면서 노인 인구가 증가함에 따라 골다공증의 발병률도 계속 증가하고 있으며, 연간 의료비도 점차 증가하고 있는 추세이다. 특히 미국의 경우 전체 인구의 10%가 골다공증으로 인한 할량의 감소를 보이고 있으며, 폐경 여성의 50%는 척추 골절을 경험하고 있다고 알려져 있다 [1]. 일반적으로 동양 여성의 경우 서양 여성에 비하여 육체적 활동이 적고, 칼슘 섭취가 낮은 것을 고려하면 국민 보건상 서양보다 더 중요한 문제로 대두될 것으로 예상할 수 있다.

골다공증은 원발성 및 속발성으로 구분되며, 원발성 골다공증은 폐경 후 골다공증 (제1형 골다공증) 및 노인성 골다공증 (제2형 골다공증)으로 다시 구분된다. 폐경 후 골다공증은 폐경 후 여성에서 에스트로겐의 분비 감소로 인한 골흡수 및 골소실의 증가에 의하여 발생되며, 노인성 골다공증은 노화와 관련된 변화로서 남성 및 여성 모두에서 발생된다. 속발성 골다공증은 류마티스 관절염, 신부전, 및 내분비 질환 등의 질환이 있거나, 스테로이드, 제산제, 및 감삼신 치료제 등을 장기간 복용한 경우에 이차적으로 발생된다. 골다공증은 작은 충격에도 척추골, 대퇴골, 및 요골에서 골절이 쉽게 발생할 수 있으며, 남성보다 여성에게 4배 정도로 호발된다. 주로 폐경 후 여성에서는 척추의 압박 골절이 호발되며, 노인층에서는 대퇴골 근위부 골절 및 요골 원위부 골절 등이 연령에 따라 증가하게 된다.

골다공증 진단을 위한 여러 방법 중에서 단순 X-선 촬영법은 골절이 동반되거나 30% 이상의 골소실이 발생한 후에야 소견이 나타나므로 조기 진단이 어려우며, 약물 치료의 효과를 관찰하는 것도 불가능하다. 현재 이중에너지 X-선 흡수계측법 (dual energy X-ray absorptiometry; DEXA)을 이용한 골밀도 (bone mineral density; BMD) 측정이 가장 정확한 골다공증 진단방법으로 알려져 있다 [2]. 골밀도를 측정하는 이유는 골밀도가 골강도의 60%~80%를 대변할 뿐만 아니라 골생김 없이 비침습적으로 측정할 수 있는 지표이기 때문이다. 인체의 뼈는 다공을 30% 이상의 해면질골 및 30% 이하의 피질골로 구분되며, 골다공증으로 인한 골소실은 주로 해면질골에서 발생된다. 그러므로 골밀도 측정도 주로 해면질골로 이루어진 1번부터 4번까지의 요추골 및 대퇴골 경부를 대상으로 하며, 골밀도가 젊은 정상 성인보다 -2.5 표준편차 이하인 경우에 골다공증으로 분류된다.

골다공증 진단을 위한 정량적 초음파 (quantitative

ultrasound; QUS) 기술은 1984년 영국의 Langton 등에 의하여 최초로 제안된 이후에 그 동안 많은 발전을 거듭하였다 [3]. 현재 임상에서 이용되고 있는 초음파 골다공증 진단기기는 주로 해면질골로 이루어지고, 초음파가 투과하기에 용이한 해부학적 구조를 갖는 종골 (발뒤꿈치뼈)에서 투과법을 이용하여 음속 (speed of sound; SOS) 및 감쇠계수 (broadband ultrasound attenuation; BUA)와 같은 음향특성을 측정한다 [4]. 이와 같이 종골에서 측정된 음속 및 감쇠계수는 각각 종골의 골밀도와 매우 높은 선형적인 상관관계를 가지므로 전신적 골질환인 골다공증의 진단 지표로 이용될 수 있다. 비록 QUS 기술은 DEXA에 비하여 골밀도 측정의 정확성이 떨어지지만, 골밀도 뿐만 아니라 골미세구조 및 탄성률과 같은 골강도와 관련된 부가적인 정보를 감지할 수 있는 장점을 가지므로 최근까지도 의학적 유용성이 꾸준히 제기되고 있다 [5]. 또한 방사선 노출의 위험성이 없고, 진단기기의 휴대가 용이하며, 진단기기의 가격 및 검진 비용이 저렴한 장점을 가지므로 골다공증 선별 검사에 널리 이용되고 있다.

한편 골다공증으로 인한 골절률이 가장 높은 요추골 및 대퇴골은 종골에 비하여 초음파가 투과하기에 해부학적 구조가 복잡하므로 이 부위의 음향특성을 직접 측정할 수 있는 QUS 기술은 아직 개발되지 못하고 있는 실정이다 [6]. 본 in vivo 연구에서는 종골 음속이 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도를 평가하기 위한 지표로서 적합한지의 여부를 알아보기 위하여 36명의 골다공증 여성을 대상으로 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도와 종골 음속 사이의 상관관계를 조사하였다.

## II. 대상 및 방법

본 연구의 피실험자는 골다공증 치료를 위하여 제주시에 위치한 D 내과병원에 내원한 36명의 여성 환자들 대상으로 하였다. 피실험자의 평균 연령은 59.4세였으며, 폐경 기간 및 약물 치료 여부에 대한 정보는 수집되지 않았다. 그림 1에 나타난 2~4번 요추골 및 우측 대퇴골 경부의 단위면적당 골밀도 ( $g/cm^3$ )는 DEXA (XR-25, Norland, USA)를 이용하여 측정되었다. 요추골의 골밀도는 전-후 투영을 이용하여 2번부터 4번까지의 요추골에서 각각 측정된 후에 그들의 평균값이 이용되었다. 그림 2와 같이 우측 종골의 음속 (m/s)은 초음파 골밀도 측정기 (Mark-6000, Medison, Republic of Korea)를 이용하여 측정되었다. 각 측정값 사이의 상관관계를 분석

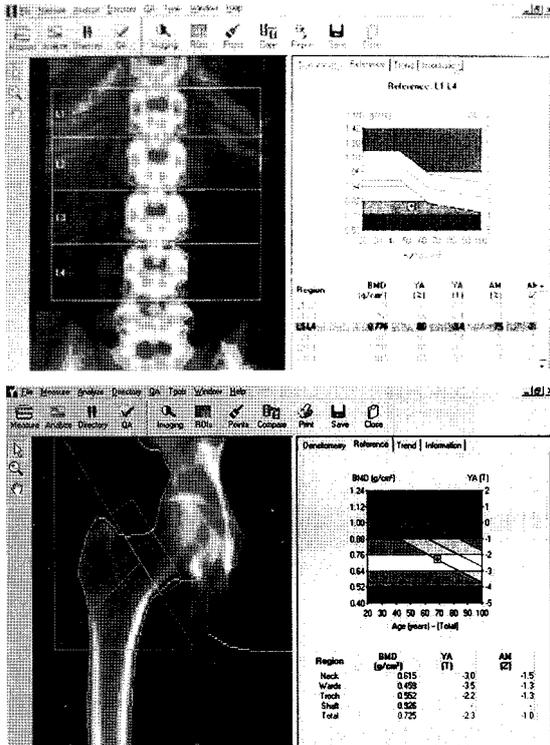


그림 1. DEXA를 이용한 (상) 2-4번 요추골 및 (하) 우측 대퇴골 경부의 단위면적당 골밀도 측정  
 Fig. 1. Measurement of areal BMDs of (top) the L2-L4 lumbar spine and (bottom) the right femoral neck by using DEXA.

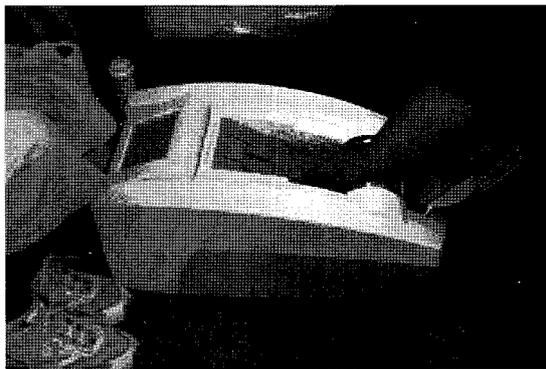


그림 2. 초음파 골밀도 측정기를 이용한 우측 종골의 음속 측정  
 Fig. 2. Measurement of SOS of the right calcaneus by using ultrasound bone densitometry.

하기 위하여 Pearson 상관계수 (r) 및 유의수준 (p)이 이용되었다.

### III. 결과 및 고찰

표 1은 본 연구의 피실험자로 모집된 36명의 골다공증 여성에서 측정된 연령, 요추골 골밀도, 대퇴골 골밀도, 및 종골 음속의 평균값, 표준편차, 최소값, 및 최대값을 나

표 1. 36명의 골다공증 여성에서 측정된 연령, 요추골 골밀도, 대퇴골 골밀도, 및 종골 음속의 평균값, 표준편차, 최소값, 및 최대값

Table 1. Mean value, standard deviation, minimum value, and maximum value of age, lumbar BMD, femoral BMD, and calcaneal SOS measured in 36 osteoporotic women.

변수	평균값	표준편차	최소값	최대값
나이 (세)	59.4	11.2	41.0	86.0
요추골 골밀도 [g/cm <sup>2</sup> ]	0.873	0.168	0.561	1.210
대퇴골 골밀도 [g/cm <sup>2</sup> ]	0.735	0.139	0.489	1.020
종골 음속 [m/s]	1842	104	1616	2137

표 2. 36명의 골다공증 여성에서 측정된 연령, 요추골 골밀도, 대퇴골 골밀도, 및 종골 음속 사이의 상관계수 (r) (모든 r에 대하여 p<0.001)

Table 2. Correlation coefficient (r) among age, lumbar BMD, femoral BMD, and calcaneal SOS measured in 36 osteoporotic women (p<0.001 for all r).

변수	나이	요추골 골밀도	대퇴골 골밀도	종골 음속
나이	1	-0.52	-0.55	-0.45
요추골 골밀도	-0.52	1	0.81	0.54
대퇴골 골밀도	-0.55	0.81	1	0.62
종골 음속	-0.45	0.54	0.62	1

타낸다. 피실험자의 평균 연령은 (평균값±표준편차) 59.4 ±11.2세였으며, 폐경 전 및 폐경 후 여성 모두 포함하여 41세부터 86세까지 분포하였다. DEXA를 이용하여 측정된 2-4번 요추골의 평균 골밀도는 0.873±0.168 g/cm<sup>2</sup>였으며, 0.561 g/cm<sup>2</sup>부터 1.210 g/cm<sup>2</sup>까지 분포하였다. 대퇴골 경부의 평균 골밀도는 0.742±0.154 g/cm<sup>2</sup>였으며, 0.389 g/cm<sup>2</sup>부터 1.020 g/cm<sup>2</sup>까지 분포하였다. 즉 2-4번 요추골의 평균 골밀도는 대퇴골 경부의 평균 골밀도보다 더 크다는 것을 알 수 있었다. 초음파 골밀도 측정기를 이용하여 측정된 종골의 평균 음속은 1842±104 m/s였으며, 1616 m/s부터 2137 m/s까지 분포하였다.

표 2는 36명의 골다공증 여성에서 측정된 연령, 요추골 골밀도, 대퇴골 골밀도, 및 종골 음속 사이의 상관계수 (r)를 나타낸다 (모든 r에 대하여 p<0.001). 그림 3-6은 각각 요추골 및 대퇴골 골밀도와 연령 및 종골 음속 사이의 상관관계를 나타낸다. 표 2에서 볼 수 있듯이 요추골 골밀도와 대퇴골 골밀도 사이에는 매우 높은 양의 상관관계가 나타났다 (r=0.81). 요추골 및 대퇴골 골밀도는 연령

과 음의 상관관계를 보였다 ( $r=-0.52$  및  $r=-0.55$ ). 종골 음속과 연령 사이에도 음의 상관관계가 나타나는 것을 알 수 있었다 ( $r=-0.45$ ). 즉 연령이 증가함에 따라 요추골 및 대퇴골 골밀도뿐만 아니라 종골 음속 모두 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 종골 음속과 연령 사이의 상관관계는 비교적 높지 않은 것으로 나타났으며, 이는 다른 연구자들에 의하여 보고된 결과와 잘 일치한다 [7]. 초음파 골밀도 측정기를 이용하여 종골에서 측정된 음속은 DEXA를 이용하여 요추골 및 대퇴골에서 측정된 골밀도와 비교적 높은 양의 상관관계를 보였으며, 요추골 골밀도보다 대퇴골 골밀도와 더 높은 상관관계를 나타냈다 ( $r=0.54$  및  $r=0.62$ ).

본 in vivo 연구에서는 종골 음속이 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도를 평가하기 위한 지표로서 적합한지의 여부를 알아보려 하였다. 초음파 골밀도 측정기를 이용하여 종골에서 측정된 음속은 DEXA를 이용하여 요추골 및 대퇴골에서 측정된 골밀도와 비교적 높은 양의 상관관계를 보였다 ( $r=0.54$  및  $r=0.62$ ). 그러나 이는 종골 음속이 종골 골밀도와 갖는 상관관계 ( $r>0.8$ )에 비하여 낮은

것으로 밝혀졌다 [2]. 그러므로 종골 음속은 골절률이 가장 높은 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도를 평가하기에 최적의 지표가 아님을 알 수 있었다. 이와 같은 이유 때문에 수년 전부터 주로 서유럽의 연구자들에 의하여 in vitro 또는 in vivo 조건에서 대퇴골 근위부의 음속을 직접 측정할 수 있는 QUS 기술을 개발하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다 [8-10]. Haiat 등은 in vitro 조건에서 33개의 사람 대퇴골 샘플을 이용하여 대퇴골의 골밀도와 음속 사이에  $r=0.88$ 의 매우 높은 양의 상관관계가 존재하는 것을 발견하였다 [8]. 또한 최근에 Barkmann 등은 in vivo 조건에서 투과법을 이용하여 사람 대퇴골 근위부의 음속 및 감쇠계수를 측정할 수 있는 초음파 측정장치를 개발하였다 [10]. 그러나 아직 이 초음파 측정장치를 임상에 적용하기 위해서는 스캐닝 및 자료처리 방법 등의 보완해야 할 많은 문제점을 갖고 있다.

에스트로젠과 같은 여성호르몬의 결핍이 폐경기 여성의 골다공증에서 가장 중요한 병인으로 알려져 있다. 폐경 후 초기에는 골량이 연간 3%~5% 정도로 급격하게 감소하며, 폐경 후 5-10년 후에는 골량의 감소가 둔화되어

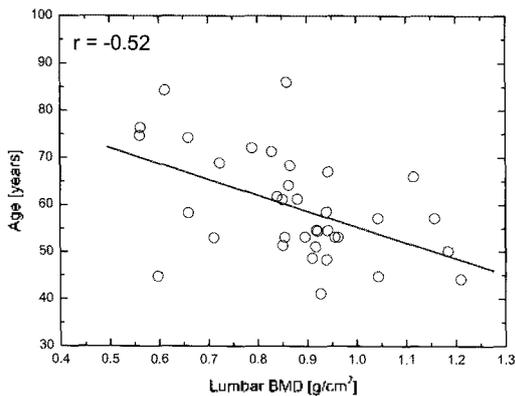


그림 3. 요추골 골밀도와 연령 사이의 상관관계  
Fig. 3. Correlation between lumbar BMD and age.

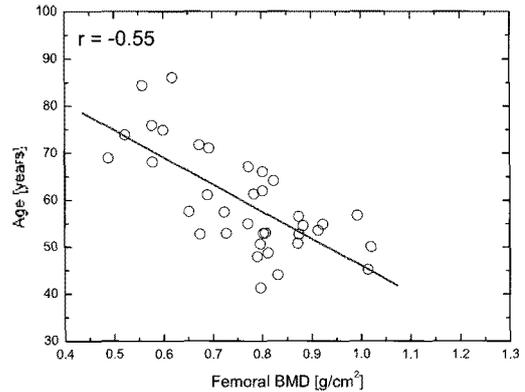


그림 5. 대퇴골 골밀도와 연령 사이의 상관관계  
Fig. 5. Correlation between femoral BMD and age.

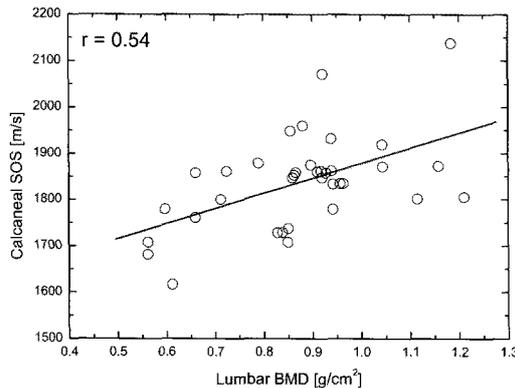


그림 4. 요추골 골밀도와 종골 음속 사이의 상관관계  
Fig. 4. Correlation between lumbar BMD and calcaneal SOS.

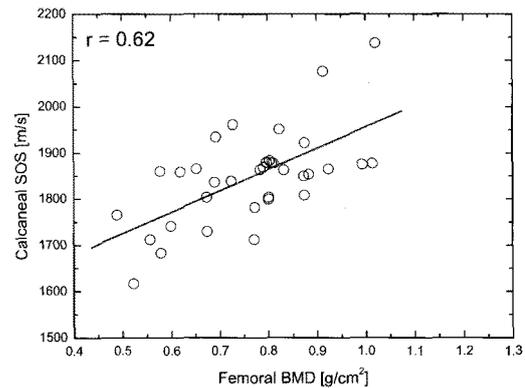


그림 6. 대퇴골 골밀도와 종골 음속 사이의 상관관계  
Fig. 6. Correlation between femoral BMD and calcaneal SOS.

폐경 전의 골량 감소율 정도로 유지된다. 그러나 계속 진행되는 골소실로 인하여 70세 정도에 이르게 되면 여성의 50%가 골다공증으로 인한 골절을 경험하게 된다. 여성호르몬제는 파골세포를 억제하여 골소실을 감소시키므로 장기간 투여 시 골밀도가 증가하고, 골절률이 50%로 감소하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 호르몬요법을 통한 약물 치료가 폐경 후 골다공증의 예방 및 치료에 가장 중요한 방법으로 이용되어 왔다. 본 연구에서는 피실험자의 폐경 기간 및 약물 치료 여부에 대한 정보가 수집되지 않았기 때문에 폐경 기간 및 약물 치료에 따른 골밀도 차이를 고려할 수 없었다. 또한 피실험자 중에서 젊은 연령층의 폐경 전 환자수가 부족하여 폐경 전 환자군 및 폐경 후 환자군에서 각각 나타나는 상관관계를 조사하여 서로 비교할 수 없었다. 그러므로 향후에는 피실험자의 폐경 기간 및 약물 치료 여부에 따라 환자군을 보정하고, 골다공증 환자가 아닌 정상군에 대한 연구도 병행하여 환자군 및 정상군에서 각각 나타나는 상관관계를 서로 비교할 필요가 있다.

최근에 골다공증의 의학적 정의는 골강도라는 개념이 추가되어 “골강도의 감소로 인하여 작은 충격에도 골절이 쉽게 발생하는 전신적 골질환”으로 변경되었다 [5]. 골강도란 골밀도 이외에도 골미세구조 및 무기질화 등을 포함하는 개념으로서 골다공증으로 인한 골절률을 정확히 예측하기 위해서는 단지 골밀도의 변화보다 골강도의 변화가 더욱 중요하다는 것을 의미한다. 즉 뼈의 양적 변화뿐만 아니라 질적 변화도 중요하다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 QUS 기술은 음속 및 감쇠계수와 같은 해면질골의 동역학적 변수를 측정하므로 골밀도뿐만 아니라 골미세구조 및 탄성률과 같은 골강도와 관련있는 부가적인 정보를 감지할 수 있는 장점을 갖고 있다. 한편 골다공증으로 인한 골무기질의 소실은 부위에 따라 차이가 있다고 알려져 있으며, QUS 기술을 이용하여 종골 이외에 특정 부위의 골밀도를 평가하기 위해서는 부위에 따라 음향 특성을 직접 측정할 필요가 있다. 그러므로 향후에는 골다공증으로 인한 골절률이 가장 높은 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도뿐만 아니라 골절률을 예측하는데 더욱 유용한 골미세구조도 함께 평가할 수 있는, 즉 골질을 평가할 수 있는 QUS 기술을 개발하는 방향으로 연구가 수행되어야 한다. 현재 본 논문의 저자는 대퇴골 근위부의 골밀도 및 골미세구조를 함께 평가할 수 있는 QUS 기술을 개발하기 위한 연구를 수행하고 있다. 만약 임상에서의 유용성이 증명된다면 골다공증 진단을 위한 QUS 기술의 신뢰도를 배가할 수 있는 중요한 근거 자료를 제공할 뿐

만 아니라 대퇴골 근위부의 골질을 평가할 수 있는 초음파 골다공증 진단기기의 국내 개발을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

## IV. 결론

본 in vivo 연구에서는 36명의 골다공증 여성을 대상으로 요추골 및 대퇴골 골밀도와 연령 및 종골 음속 사이의 상관관계를 조사하였다. 연령이 증가함에 따라 요추골 및 대퇴골 골밀도뿐만 아니라 종골 음속 모두 감소하는 것을 알 수 있었다. 초음파 골밀도 측정기를 이용하여 종골에서 측정된 음속은 DEXA를 이용하여 요추골 및 대퇴골에서 측정된 골밀도와 비교적 높은 양의 상관관계를 보였다. 그러나 이는 종골 음속이 종골 골밀도와 갖는 상관관계에 비하여 낮으므로 종골 음속은 골질률이 가장 높은 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도를 평가하기에 최적의 지표가 아님을 알 수 있었다. 그러므로 요추골 및 대퇴골 부위의 골밀도를 보다 정확히 평가하기 위하여 이 부위의 음향특성을 직접 측정할 수 있는 정량적 초음파 기술을 개발할 필요가 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2008년도 정부재원으로 한국학술진흥재단(KRF-2008-331-C00124) 및 지식경제부의 지원을 받아 연구되었음.

## 참고 문헌

1. C. F. Njeh, D. Hans, T. Fuerst, C. C. Gluer, and H. K. Genant, *Quantitative Ultrasound: Assessment of Osteoporosis and Bone Status*, Martin Dunitz, London, 1999.
2. K. I. Lee and M. J. Choi, "Prediction of the dependence of phase velocity on porosity in cancellous bone," *J. Acoust. Soc. Kor.*, vol. 27, no. 2E, pp. 45-50, 2008.
3. C. M. Langton, S. B. Palmer, and R. W. Porter, "The measurement of broadband ultrasonic attenuation in cancellous bone," *Eng. Med.*, vol. 13, pp. 89-91, 1984.
4. P. Laugier, "An overview of bone sonometry," *International Congress Series*, vol. 1274, pp. 23-32, 2004.
5. P. Laugier, "Instrumentation for in vivo ultrasonic characterization of bone strength," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 55, pp. 1179-1196, 2008.
6. C. C. Gluer, R. Eastell, D. M. Reid, D. Felsenberg, C. Roux, R. Barkmann, W. Timm, T. Blenk, G. Armbrecht, A. Stewart,

- J. Clowes, F. E. Thomasius, and S. Kolta, "Association of five quantitative ultrasound devices and bone densitometry with osteoporotic vertebral fractures in a population-based sample: The OPUS study," *J. Bone Miner. Res.*, vol. 19, pp. 782-793, 2004.
7. K. A. Wear and D. W. Armstrong III, "Relationships among calcaneal backscatter, attenuation, sound speed, hip bone mineral density, and age in normal adult women," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 110, pp. 573-578, 2001.
8. G. Haiat, F. Padilla, R. Barkmann, S. Kolta, C. Latremouille, C. C. Gluer, and P. Laugier, "In vitro speed of sound measurement at intact human femur specimens," *Ultrasound Med. Biol.*, vol. 31, pp. 987-996, 2005.
9. F. Jenson, F. Padilla, V. Bousson, C. Bergot, J. D. Laredo, and P. Laugier, "In vitro ultrasonic characterization of human cancellous femoral bone using transmission and backscatter measurements: Relationships to bone mineral density," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 119, pp. 654-663, 2006.
10. R. Barkmann, P. Laugier, U. Moser, S. Dencks, F. Padilla, G. Haiat, M. Heller, and C. C. Gluer, "A method for the estimation of femoral bone mineral density from variables of ultrasound transmission through the human femur," *Bone*, vol. 40, pp. 37-44, 2007.

---

## 저자 약력

---

•이 강 일 (Kang Il Lee)

한국음향학회지 제27권 제2호 참조

•최 민 주 (Min Joo Choi)

한국음향학회지 제24권 제5호 참조