

9-12세 정상 아동에서 종골 골밀도와 체성분의 연관성

신은경, 김기숙, 김희영, 이인숙¹⁾, 정호지, 조성일

서울대학교 보건대학원, 서울대학교 간호대학²⁾

The Association between Bone Density at Os Calcis and Body Composition in Healthy Children Aged 9-12 Years

Eun Kyung Shin, Ki Suk Kim, Hee Young Kim, In Sook Lee¹⁾, Hyo Jee Joung, Sung Il Cho

School of public health, Seoul National University, College of Nursing, Seoul National University²⁾

Objectives : This cross-sectional study aimed to quantify the relationship between the bone mineral density at the os calcis and the body mass composition in healthy children.

Methods : The areal bone mineral density was measured at the os calcis with peripheral dual energy X-ray absorptiometry. The fat free mass, fat mass and percentage fat mass were measured using bioelectric impedance, in 237 Korean children, aged 9 to 12 years. The sexual maturity was determined by self assessment, using standardized series of the 5 Tanner stage drawings, accompanied by explanatory text.

Results : From multiple linear regression models, adjusted for age, sexual maturity and height, the fat free mass was found to be the best predictor of the calcaneal bone mineral density in both sexes. About 15 and 20% variabilities were found in the calcaneal bone mineral densities of the boys and

girls, respectively, which can be explained by the fat free mass. After weight adjustment, the percentage fat mass was negatively associated with the calcaneal bone mineral density in both sexes.

Conclusions : The findings of this study suggest that the fat free mass, among the body compositions, is the major determinant of bone mineral density at the os calcis in Korean children aged 9 to 12 years. Obesity, defined as the percentage fat mass, is assumed to have a negative effect on the calcaneal bone density in children of the same weight.

Korean J Prev Med 2004;37(1):72-79

Key Words : Bone density, Calcaneus, Body composition, Obesity, Sex Maturation

서 론

골밀도가 보건학적으로 중요한 이유는 골밀도가 골다공증으로 인한 골절 위험을 예측하는 유용한 도구이기 때문이다. 골다공증이 골밀도만으로 정의되는 것은 아니지만 여러 역학 연구를 통해 골밀도와, 골다공증으로 인한 골절과의 높은 상관관계가 알려지면서 1994년 WHO [1]는 골밀도에 따른 골절 위험도를 고려하여 골다공증의 진단 기준을 발표하였다. 골다공증은 대체로 연령이 높아짐에 따라 유병률이 증가하므로, 골밀도 및 골다공증 관련 연구나 예방 사업이 주로 폐경기 여성이나 노인층을 대상으로 이루어져 왔다. 그러나 18세 이전에 90% 이상 이루어지는 최대 골량이 골다공증의 중요한 결정

인자로 알려지면서 [2], 소아 및 청소년 초기부터 골 건강관리를 시작하는 것이, 이미 진행된 골다공증을 치료하는 것 보다 효과적인 예방 전략이라는 인식이 높아지고 있다.

소아 및 청소년 초기 골 건강의 예방 전략을 위해서는 골밀도 관련 요인을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 개인별 골밀도 차이는 42-88% 가량이 유전적 요인에 의한 것으로 보고 있으며 [3], 나머지는 성 성숙 등 관련 호르몬 상태 [4] 및 신체 활동량 [5]이나 영양상태 [6] 등 환경적 요인으로 생각되고 있으나 누적된 환경 요인이 크지 않은 소아에 있어서 골밀도 관련 요인의 평가는 쉽지 않다.

체성분 분석은 개인의 영양 상태나 신체 활동량을 평가하는 유용한 도구로서, 소

아나 청소년의 개인별 차이를 신체 활동량이나 영양 상태 등 환경 요인과 연결해 이해하고자 하는 연구들이 이루어지고 있어, 골밀도 관련 요인의 평가에도 유용할 것으로 보고 있다. Glastre 등의 연구 [7]에서도 체성분이 소아 및 청소년 골밀도의 상당 부분을 설명 할 수 있음을 보여 주고 있다. 또한 체중이 골밀도에 미치는 영향이 단순히 체중 부하로 인한 물리적인 자극뿐 아니라 체중을 이루는 근육이나 지방 조직내 골대사 관여 물질이 영향을 미치는 것으로 알려지면서 골밀도와 체성분의 연관성에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 골밀도와 체성분의 연관성을 분석하는 것은 체성분 분포 자체가 골밀도에 미치는 영향뿐 아니라 환경적 요인이 골밀도에 미치는 영향을 간접적으로 파악할 수 있는 연구 방법 [8]이라고 생각한다. 이에 본 연구는 종골 골밀도와 상관관계가

높은 체성분을 파악하고, 이를 통해 비만이 골밀도에 미치는 영향을 알아보기로 한다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

경기도 일개 초등학교 4, 5, 6학년 중 사전에 검사 협조를 요청하여, 수업시간표상 수업에 차질을 주지 않는 학급으로 검사를 승낙한 학년별 2개 학급 학생 266명에서, 골밀도와 체성분 검사를 실시하였다. 학급에 따른 성별이나 운동부 선수 구성 등의 차이는 없었다. 이중성 성숙도 자료가 없는 2명 및 1998년도 한국 소아 및 청소년 신체발육 표준치 [9]를 기준으로 각 연령별 상위 99 percentile 이상과 하위 1 percentile 이하의 신장과 체중을 가진 27명은 분석에서 제외시켰다. 흡연, 음주 및 골밀도에 영향을 줄 수 있는 약물 복용 혹은 만성 질병을 가진 제외 기준에 해당자는 없었기 때문에, 최종 연구 대상자는 남아 110명, 여아 127명 등 총 237명이었다.

2. 골밀도 및 체성분

골밀도 측정기는 이중 에너지 X-선 흡수법(Dual energy X-ray Absorptiometry, DXA)을 이용해 종골과 요골의 골밀도를 측정할 수 있는 골밀도기(PIXI® Lunar Corp., Madison, WI)를 사용하였다. DXA 방식으로 측정된 종골 골밀도는, 골절의 가장 중요한 예측 부위인 대퇴 경부나 척추에서 측정된 골밀도와 상관관계가 높은 것으로 알려져 있다 [10]. 이번 연구에 사용된 골밀도 측정기로 검사한 종골 골밀도는 일반 DXA 방식으로 측정할 대퇴 경부나 요추골 골밀도에 대해 0.61~0.64 정도의 예측치를 가지며, 정밀도(CV%)는 1.2~1.6% 인 것으로 보고 있다 [11]. 골밀도 측정 부위는 우측 종골(Os calcis)로 하였고, 측정 부위의 골 무기질량(Bone Mineral Content, BMC, grams)을 검사 부위를 통과하는 X-선 단면적(projected area, cm²)으로 나눈 면적당 골밀도(Bone mineral density, g/cm²)를 사용하였다. 맨

발이나 금속성 없는 양말을 신은 상태로 측정하였으며, 측정부위가 관심 영역(region of interest)에서 벗어난 것이 골밀도기와 연결된 소프트웨어에서 감지된 경우 재검사를 하였다.

체성분은 생체전기저항법(Bioelectrical impedance analysis, BIA)을 이용하여 5, 50, 250, 500 kHz의 서로 다른 주파수의 미세전류 신호를 통해 얻어진 신체 전기저항치로 세포내액 및 세포외액의 총수분량을 측정하여 체성분을 계산하는 체성분 분석기(InBody 3.0, Biospace Co., Seoul, Korea)를 사용하였다. 체지방량은 총수분량이 체지방량의 73% 비율임을 이용하여 [12], 체성분 분석기로부터 측정된 세포내액과 세포외액을 합친 총수분량으로부터 계산하였다. 체지방량은 측정값(kg)과, 체중에 대한 체지방량을 백분율로 계산한 값(% Fat mass)을 사용하였다. 생체전기저항법은 여러 연구에서 타당성이 실험되었으며, 이번 연구에 사용된 체성분 분석기의 경우 deuterium oxide 희석법으로 측정된 체내 총수분량에 대해 81~87% 정도의 예측치를 보였다 [13]. 국내 연구 [14]에서도 신뢰 계수 0.995의 높은 재현성을 보였다. 체성분의 측정방법은 맨발인 상태로 전극용 물수건으로 양손과 양발을 닦은 후 8개의 전극이 장치된 손잡이와 발판에 양손과 양발을 접촉시키고 몸통과 닿지 않도록 팔과 다리를 벌리고 선 자세로 측정하였다.

3. 설문 및 성 성숙도 조사

설문은 훈련된 설문원이 각 문항마다 대상자에게 설명을 해준 뒤 본인이 직접 기재하도록 하고, 회수 시 설문 기입이 제대로 되었는지 확인하였다. 설문 문항은 골밀도 관련 환경 요인을 배제하기 위해 흡연, 음주력, 약물 복용 여부 및 약물명, 과거 및 현재 질병력을 조사하였으며, 영양섭취 상태 평가를 위해 식습관, 식사형태 등 식사환경조사와 식사기록법을 통한식이섭취조사를 실시하였다. 신체 활동량은 평균 도보시간 및 규칙적으로 하고 있는 운동의 종류, 빈도, 기간 등을 조사하였다.

성 성숙 평가는 여아의 경우 유방과 음모, 남아의 경우 외성기와 음모의 발달에 대한 Tanner stage 5단계의 특징적인 그림과 설명 [15,16]을 보여주고, 설문원이 설명한 후 본인이 직접 기재하도록 하였다. 이와 같이 대상자 본인에 의한 성 성숙 평가는 의사의 직접 검진을 통한 성 성숙 평가와 일치도가 높은 것으로 알려져 있는데, Duke 등 [17]의 연구에서 여아의 유방 발달은 0.81, 음모발달은 0.91, 남아의 외성기 및 음모발달은 0.88의 kappa계수를 보였으며, 국내 연구 [18]에서는 유방 발달 0.55, 음모발달 0.67의 상관관계를 보였다. 음모 발달은 성호르몬보다는 부신의 안드로젠 영향을 주로 받으므로 [19], 본 연구에서는 남아의 경우 외성기, 여아는 유방 발달을 성 성숙 기준으로 정하였으며, 이 후 본문에서 각 단계의 Tanner stage를 T1~T5로 표기하도록 하였다.

4. 통계분석

보통 Tanner stage 3(T3)이상부터 현저한 골밀도 증가를 보이므로 성 성숙 단계를 T3미만과 T3이상으로 나누는 경우가 많으나 [20], 본 연구 대상의 연령대는 9~12세의 동일한 연령의 남녀를 대상으로 함에 따라 여아보다 성 성숙이 늦게 시작되는 남아는 연구 대상의 절반 이상이 Tanner stage상 아직 성 성숙이 시작되지 않은 T1인데 비해 여아는 80% 이상이 T2 이상으로, 동일한 Tanner stage로 성 성숙 기준을 삼을 경우 남아의 성 성숙에 따른 효과가 제대로 파악되지 않을 것으로 보여, 본 연구에서는 남아는 T2 이상, 여아는 T3 이상을 각각 성 성숙 기준으로 정하였다.

골밀도에 영향을 줄 수 있는 것으로 알려진 요인을 통제하기 위해 병력이나 흡연, 음주 등은 연구 대상 선정 시 제외하였으며, 신체 활동량에 대해서는 평균 도보 시간과 규칙적인 운동 여부에 따른 골밀도 차이를 student's t-test로 분석하였으나 통계적으로 유의한 차이를 볼 수 없었으므로 골밀도에 대한 중회귀 분석에는 포함시키지 않았다.

동일 골면적에 대해 골 체적이 작은 경

우, 면적 골밀도가 체적 골밀도를 상대적으로 저평가하는 제한점을 보완하기 위해서 골밀도에 대한 상관 분석 및 회귀 분석 시 신장으로 보정하였다 [21]. 신체 계측치 및 체성분간의 상관관계 파악하기 위해서 연령과 성 성숙도를 보정한 Pearson 부분 상관계수를 구하였으며, 골밀도와 상관관계가 높은 변수를 파악하기 위해 연령과 성 성숙도 및 신장을 보정한 후 골밀도에 대한 신체 계측치와 체성분의 Pearson 부분 상관계수를 구하였다. 또한 각 신체 계측치 및 체성분의 골밀도 변동량에 대한 설명력을 보기 위해 단순회귀 분석 및 연령과 성 성숙, 신장을 보정한 중회귀분석을 통해 결정 계수(R²) 백분율을 계산하였다. 최종 모형에서는 골밀도에 대한 회귀 모형간 설명력을 비교하기 위해 설명 변수의 수를 보정한 결정 계수(adjusted R²)를 제시하였고, 연령과 성 성숙, 신장을 통제했을 때의 체성분 및 신체 계측치의 부분 설명 계수(partial R²)를 구하였다. 최종 모형에 투입된 변수 중 남녀 모두에서 Pearson 단순상관계수가 높았던, 신장과 체지방량(남아: r=0.89, 여아:r=0.89) 및 체질량지수와 체지방률(남아:r=0.82, 여아:r=0.82)간 공선성(Collinearity)을 조사하였으나, 분산팽창인자(VIF, variance inflation factor)가 3.7~5.5로, 회귀계수 추정치에 심각한 영향을 주지 않았다 [22]. 통계적 유의수준은 0.05로 정하였다.

결 과

Table 1에서 성별 성 성숙에 따른 연령, 신장, 체중, 체질량지수, 체성분 및 골밀도의 분포를 제시하였다. T2 이상의 사춘기 남아에서는 사춘기 전에 비해 통계적으로 유의하게 신장과 체중, 체지방률이 높았다. T3 이상의 사춘기 여아의 경우 신장과 체중, 체지방률 외에도 체질량지수와 체지방률에서 사춘기 군이 사춘기 전보다 통계적으로 유의하게 높았다. 체지방률은 남녀 모두 성 성숙에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다.

Figure 1에서 연령 및 Tanner stage에 따른 골밀도 분포를 제시했다. Duncan 검정법으로 일원분산분석한 결과 남이는 11세까지 연령에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않다가 12세군에서 이전 연령보다 통계적으로 유의하게 높은 골밀도를 보였다.

를 보였다. 여이는 9~10세 군보다 12세군이 유의하게 높은 골밀도를 보였다. 성 성숙에 따라서는 남이는 T3이 T1보다 높았고, 여이는 T1~2까지는 유의한 차이를 보이지 않았으나 T4에서 T1, T2보다 통계적으로 유의하게 높은 골밀도를 보였다.

Figure 2에서는 체중, 체질량지수, 체지방률, 체지방률의 골밀도에 대한 단순 선형 회귀모형을 제시하였다. 남녀 모두에서, 모든 변수가 골밀도와 p-value 0.01 이하의 통계적으로 유의한 선형 관계를 보였다. 특히 남이는 체지방률 ($\beta = 0.009, p < 0.001$)이, 여이는 체중 ($\beta = 0.005, p < 0.001$)이 골밀도 변동량을 가장 잘 설명하였다.

Table 2에서는 연령과 성 성숙도를 보정한 후 신체 계측치 및 체성분간 상관관계를 살펴보았다. 체지방률과 신장의 상관관계는 여아에서만 통계적으로 유의한 양의

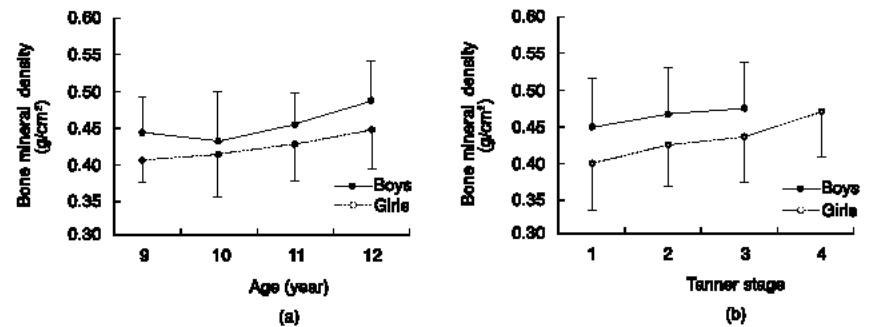


Figure 1. Mean and standard deviation of bone mineral density by (a) age and (b) Tanner stage for boys and girls

Table 1. Distribution of age, body size measures and bone mineral density by sex and sexual maturity

	Boys		Girls	
	Prepubertal (n=61)	Pubertal [†] (n=49)	Prepubertal (n=86)	Pubertal [†] (n=41)
	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
Age(year)	10.90 ± 0.76	11.56 ± 0.86***	10.96 ± 0.90	11.56 ± 0.74***
Height(cm)	141.98 ± 5.37	148.46 ± 7.63***	142.45 ± 7.27	151.03 ± 6.72***
Weight(kg)	37.42 ± 5.96	41.30 ± 7.43**	36.49 ± 6.22	43.47 ± 7.23***
BMI(kg/m ²)	18.51 ± 2.42	18.62 ± 2.36	17.91 ± 2.25	18.97 ± 2.25 [‡]
FFM [‡] (kg)	27.17 ± 3.32	30.62 ± 4.74**	25.71 ± 3.59	30.61 ± 4.43***
Fat mass(kg)	10.25 ± 3.51	10.68 ± 3.77	10.78 ± 3.36	12.87 ± 3.60**
%Fat mass	26.83 ± 5.54	25.33 ± 5.52	29.03 ± 5.13	29.17 ± 4.84
BMD [‡] (g/cm ³)	0.45 ± 0.07	0.48 ± 0.07 [‡]	0.42 ± 0.06	0.45 ± 0.06**

[†] > Tanner stage 2, [‡] > Tanner stage 3, [‡] fat free mass, [‡] bone mineral density
^{*} p<0.05, ^{**} p<0.01, ^{***} p<0.001 : t-test between prepubertal and pubertal group within same sex group

Table 2. Sex-specific, age and sexual maturity[†] adjusted Pearson partial correlation coefficients among body size measures

	Weight	BMI	Fat free mass	Fat mass	%Fat mass
Boys					
Height	0.52***	0.09	0.76***	0.17	-0.07
Weight		0.90***	0.85***	0.88***	0.70***
BMI			0.59***	0.94***	0.85***
Fat free mass				0.50***	0.22*
Fat mass					0.94***
Girls					
Height	0.59***	0.10	0.79***	0.25**	-0.10
Weight		0.86***	0.89***	0.88***	0.62***
BMI			0.58***	0.93***	0.84***
Fat free mass				0.56***	0.20*
Fat mass					0.91***

[†] classified into Tanner stage 1 as prepuberty and Tanner stage 2,3 as puberty for boys, Tanner stage 1,2 as prepuberty and Tanner stage 3,4 as puberty for girls

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Table 3. Sex-specific, age, sexual maturity[†], and height adjusted Pearson partial correlation coefficients between body size measures and bone mineral density

body size measures	Boys	Girls
Weight	0.29**	0.46***
BMI	0.29**	0.48***
Fat free mass	0.43***	0.50***
Fat mass	0.16	0.37***
%Fat mass	0.08	0.30***

[†] classified into Tanner stage 1 as prepuberty and Tanner stage 2,3 as puberty for boys, Tanner stage 1,2 as prepuberty and Tanner stage 3,4 as puberty for girls

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

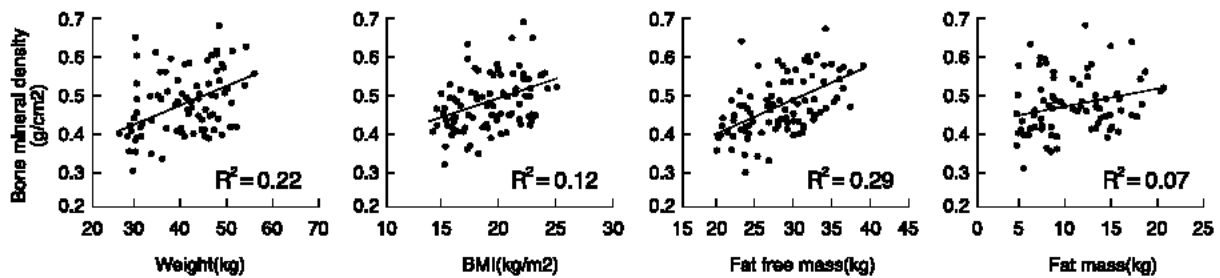
상관관계를 보였다. 체지방률은 남녀 모두 체질량지수와 높은 상관관계를 보였다.

Table 3에서는 연령과 성 성숙도, 신장을 보정한 후 신체 계측치 및 체성분의 골밀도와 상관관계를 제시하였다. 남녀 모두 체지방률이 골밀도와 가장 높은 양의 상관관계를 보였다.

Figure 3에서는 연령, 성 성숙도, 신장이 포함된 골밀도 회귀모형에 체중, 체질량지수, 체지방률 및 체지방률 각각을 추가했을 때, 이들이 기여한 설명력 (partial R²)을 보고자 하였다. 남아의 경우, 체지방률을 제외한 모든 변수는 연령, 성 성숙도, 신장을 보정한 후에도 골밀도에 통계적으로 유의한 설명력을 보였으며, 특히 체지방률은 다른 체성분 변수보다 2배 이상 높은 설명력을 보였다. 여아에서도 체지방률이 골밀도 변동량을 가장 잘 설명하였으나, 체중과 체질량지수도 높은 설명력을 보였다.

Table 4에서는 연령과 성 성숙도, 신장을 보정 후 골밀도와 높은 상관관계를 보인 체질량지수 및 체중 각각이 포함된 회귀모형에 체지방률이 추가된 경우 중회귀모형의 변화를 보고자 하였다. 체지방률

Boys



Girls

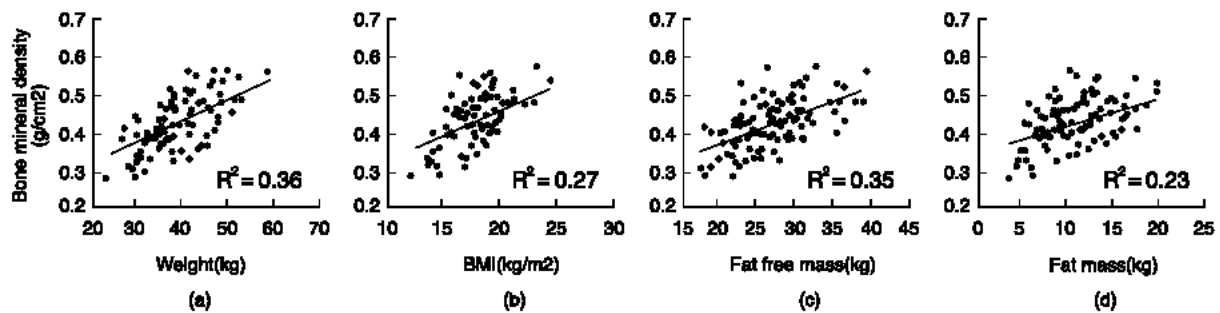


Figure 2. Bone mineral density are plotted against (a) weight (b) body mass index (c) fat free mass (d) fat mass for boys and girls with simple linear regression lines and R².

이 포함된 회귀식에는 체지방률이 유의한 선형관계를 보이지 않았으므로 체지방률을 추가하지 않았다. 남아의 골밀도에서는 체중이나 체질량지수가 포함된 회귀 모형에 체지방률을 추가했을 때, 체중이나 체질량지수의 설명력이 2배가량 증가되었다. 여아는 체지방률을 추가하지 않았을 때보다 체중이나 체질량지수의 설명력이 조금 떨어졌으나, 전체 모형의 설명력에는 별 차이가 없었다. 체지방률은 여아의 경우, 단순회귀모형에서 통계적으로 유의하게 골밀도와 양의 선형관계를 보였으며, 연령과 성성숙도 및 신장을 보정 후에도 골밀도와 양의 상관관계를 보였으나, 체중이나 체질량 지수까지 포함된 중회귀 모형에서는 체지방률 증가 시 오히려 골밀도가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 남아에서는 단순 회귀모형에서 체지방률이 골밀도에 유의한 선형관계를 보이지 않았으

나, 체중이나 체질량 지수가 포함된 중회귀 모형에서는 체지방률 증가시 통계적으로 유의하게 골밀도가 감소하였다.

고 찰

1. 연구 방법에 대한 고찰

골밀도를 측정하는 방법에는 이중 에너지 X-선 흡수법 (Dual energy X-ray Absorptiometry, DXA), 정량적 전산화 단층 촬영 (Quantitative Computed Tomography, QCT), 정량적 골초음파 (Quantitative Ultra Sound densitometry, QUS) 등이 있으나, 본 연구에서는 이중 에너지 X-선 흡수법을 이용해 종골과 요골을 측정하는 말단 골밀도 측정기 (peripheral DXA, pDXA)를 사용하였으며, 측정 부위는 종골을 선택하였다. 종골은 대부분 해면골로 이루어져 있고 체중

부하를 받는 골 부위이므로, 성 성숙이나 신체 활동량 등에 의한 영향을 잘 반영하여 [4], 소아 및 사춘기 초기의 체성분과 관련성을 파악하는데 적절한 부위로 생각된다. 또한 이중 에너지 X-선 흡수법을 통한 종골 골밀도 측정은 척추나 전신 골밀도 측정에 비해 스캔 시간이 짧고, 이동이 간편하고, 방사선 피폭량이 적어 역학 조사나 선별검사에 유용한 것으로 알려져 있다 [10].

골밀도는 측정하는 방법에 따라 단위 면적당 골무기질량 (Bone mineral content) 인 면적 골밀도 (g/cm²)와, 단위 체적당 골무기질량인 체적 골밀도 (g/cm³)로 구분할 수 있다. 체적 골밀도는 정량적 전산화 단층촬영기(QCT)를 통해 측정할 수 있으나, 이중 에너지 X-선 흡수법(DXA)으로는 면적 골밀도만을 측정할 수 있다. 일반 성인에서 면적 골밀도는 대체로 체적 골밀도를 잘 반영하지만, 신장이 아주 작거나 성장시기에 있는 경우 체적 골밀도가 저평가될 수 있어, 이러한 오류를 줄이기 위해 신장이나 측정 단면적으로 추정된 체적 골밀도를 사용하기도 한다 [23]. 본 연구에서는 체적 골밀도와의 오차를 줄이기 위해 상관 분석 및 회귀 분석시, 골밀도를 신장으로 보정하였다 [21].

골 성장이 활발한 시기에는 골밀도 자체 뿐 아니라 골의 크기와 골무기질량을 함께 고려하는 것도 중요하다. 그러나 본 연구에서 사용한 골밀도 측정기(pDXA)의 경우, 측정위치가 고정되어 있고 관심영

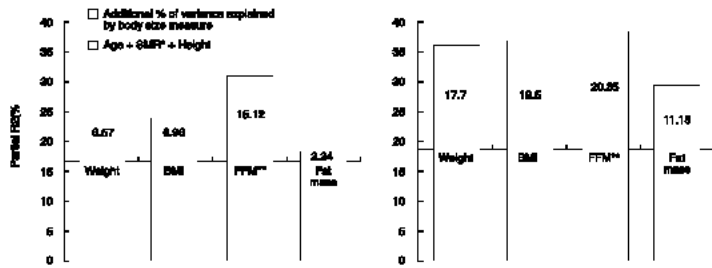


Figure 3. Sex-specific, additional percentage of variance explained by body size measure (partial R²) in multiple linear regression models for bone mineral density adjusted for age, sexual maturity, and height

* classified into Tanner stage 1 as prepuberty and Tanner stage 2, 3 as puberty for boys, Tanner stage 1, 2 as prepuberty and Tanner stage 3, 4 as puberty for girls
** fat free mass

Table 4. Sex-specific, regression coefficient(β) and additional percentage of variance explained by major determinant measure of body size and percentage fat mass in multiple linear regression models of bone mineral density(g/cm²) adjusted for age, sexual maturity¹ and height

		Boys			Girls		
		β	partial R ² (%)	total R ² (%) ¹	β	partial R ² (%)	total R ² (%)
Model I only	Fat free mass (kg)	0.014***	15.12	29.41	0.013***	20.35	37.08
Model II	BMI ¹ (kg/m ²)	0.025***	16.16	30.31	0.019***	14.02	37.98
	+%Fat mass	-0.008***	9.79		-0.004*	3.21	
Model III	Weight(kg)	0.011***	14.45	28.52	0.008***	12.03	35.91
	+%Fat mass	-0.007***	8.44		0.003*	2.03	

¹ classified into Tanner stage 1 as prepuberty and Tanner stage 2,3 as puberty for boys, Tanner stage 1,2 as prepuberty and Tanner stage 3,4 as puberty for girls

¹ the number of variables adjusted *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

역(region of interest)이 측정되도록 조정되어 있기는 하나, 측정 단면적(projected area)이 측정시의 공간적 변동에 따라 달라질 수 있어, 측정 단면적과 골무기질량을 따로 분석하지 않고 이들의 비(ratio)인 단면적 골밀도를 사용하였다.

2. 연구결과에 대한 고찰

소아의 경우, 사춘기 이전에는 골 성장이 대부분 성장호르몬의 영향을 받지만 [39], 이후 성장판이 완전히 성숙하고 최대 골량이 형성되는 데는 성호르몬이 필수적이다. 성호르몬은 피질골이 많이 분포한 사지 골격보다는 척추 등과 같이 해면골이 많이 분포하는 부위가 주로 영향을 받게 된다. 종골의 경우도 해면골이 95% 이상 차지하기 때문에 사춘기에 접어들면서 성호르몬에 대한 영향이 클 것으로 본다. 따라서 본 연구에서 남자는 절반 이상이 아직 성 성숙이 일어나지 않았고 나머지 대상자도 대부분이 성 성숙 초기인데 반해, 여자는 남아보다 성 성숙이 빨라 성 성숙도로 설명되는 골밀도의 변동량이 남아보다 컸던 것으로 볼 수 있다.

연령과 성 성숙 및 신장을 고려했을 때, 본 연구 대상의 종골 골밀도에 가장 중요한 결정인자는 남녀 모두 체지방량으로 나타났다. 기존 연구에서도 같은 결과를 보이는 연구들이 발표되고 있는데 [24], Faulkner 등이 8~16세를 대상으로 한 연구에 의하면 [25] DXA로 측정된 전신 골밀도와 절반 정도가 근육인 체지방량의 상관관계가, 여자는 80%, 남자는 75% 정도로서 체중보다 골밀도를 잘 예측할 수 있는 인자라고 하였다. 또한 골조직 지표인 체내 칼슘 농도와 근육 지표인 칼륨 농도간의 양의 상관관계 및 근력과 골밀도의 양의 상관관계를 보이는 연구 결과들도 이를 뒷받침하고 있다.

본 연구의 두 번째 목적인 골밀도와 비만과의 연관성을 살펴보면, 체중이 체중 부하 부위 골밀도의 중요한 결정인자임은 이미 여러 연구결과 확인되었으나, 체중의 일부라고 할 수 있는 체지방의 역할은 비만과 관련해 아직 논란이 있다. 본 연구에서 체질량지수로 평가되는 비만은 골밀

도와 양의 상관관계를 보였으나, 체중이나 체질량지수와 같은 체중 부하 효과를 제어했을 때, 체지방률이 높을수록 골밀도는 오히려 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

이상과 같은 본 연구에서의 체지방량이나 체지방량과 골밀도간의 연관성을 이해하기 위해, 크게 신체 활동량, 호르몬 및 유전적 요인으로 나누어 기존 연구들을 살펴보면 아래와 같다.

첫째, 종골 골밀도와 체지방량의 높은 상관관계를 신체 활동과 관련해 생각해 볼 수 있다. 종골의 골밀도는 척추, 골반 및 기타 다른 부위의 골밀도나 골절 위험 [26]과 높은 상관관계를 보여주고 있다. 또한 요골과 같이 체중 부하가 없는 부위에 비해 환경적 요인이 비교적 크게 작용하며, 체성분과의 연관성이 큰 것으로 알려져 있다 [27]. 이처럼 체지방량과 골밀도간 연관성이 대퇴 경부나 종골과 같이 체중 부하 골부위에서 더 뚜렷하게 나타나는 것으로부터 신체 활동의 중요성을 간접적으로 확인할 수 있는데, 다시 말해 체중 부하의 기계적 자극으로 볼 수 있는 신체 활동에 의해 체지방량과 골밀도가 동시에 영향을 받기 때문으로 풀이되며 이를 뒷받침 해주는 임상실험 결과 중 Barbeau 등의 연구 [28]를 보면, 운동량을 늘린 실험군이 대조군에 비해 체지방률 감소와 함께 골밀도와 체지방량의 증가가 뚜렷한 것을 볼 수 있었으며, 일부 단면 연구에서도 유사한 결과를 볼 수 있었다. 국내 연구로서, 남자 중학생 중 운동선수 30명과 일반 학생 10명을 대상으로 정량적 골초음파로 측정된 종골 골밀도를 비교한 연구 [29]에서도 신체 활동량이 많은 운동선수의 골밀도가 일반 학생보다 통계적으로 유의하게 높은 소견을 보였다. Weiler 등 [40]은 체지방률을 개인 생활습관 지표로 볼 수 있으며, 소아 및 청소년기에, 체중에 비해 높은 체지방량으로는 적절한 최고 골량을 획득하기 어렵다고 주장하였다. 그러나 이러한 신체 활동량에 따른 체성분 및 골밀도 관련성에 대해서는 유의한 결과를 보이지 않는 연구도 많아 [30] 이에 대한 연구는 좀 더 진행되어야 할 것으로

보인다.

둘째, 호르몬 관련성을 생각해 볼 수 있다. 폐경기 이후 여성에서는 체성분과 골밀도간 연관성이 소아 및 사춘기 초기와 차이를 보이는데, 성인 남성 및 폐경 전 여성에서는 본 연구에서와 같이 체성분 중 체지방량이 골밀도와 가장 높은 연관성을 보이는 [31] 반면, 폐경 후 여성에서는 체지방량이 체지방량보다 골밀도와 더 높은 연관성을 보인다는 연구가 많다 [32]. 연령과 성별에 따라 골밀도의 주요 결정인자가 다른 이유에 대해서는 여러 이론이 제시되고 있으나, WHO technical report [33]에 의하면 남성이나 폐경 전 여성은 주로 체지방이 골형성에 주된 역할을 보이는 반면, 폐경이 지난 여성은 에스트로겐 생산이 주로 지방조직을 통해 이루어지기 때문이라는 것이 가장 유력하며, 폐경 후 여성 중 저체중의 경우 골절에 대한 유병률이 높아지는 것도 이러한 이유로 풀이하고 있다. 사춘기 전 소아에서는 체지방 및 골의 성장을 돕고, 체지방 이용을 촉진하는 성장 호르몬이 중요하나, 이는 주로 피질골에 작용하므로 성호르몬의 영향이 큰 종골에서는 성장 호르몬의 역할이 상대적으로 크지 않을 것으로 생각되며, 이보다는 사춘기 초기의 경우 폐경 이전 여성이나 남성과 같이 체지방에서의 골형성 작용이 더 관련 있을 것으로 생각된다.

골밀도에 영향을 미치는 체지방에서의 에스트로겐 기능과 관련해서는 논란이 있는데, Reid 등 [34]에 따르면, 혈청 estrone과 골밀도간 상관관계가 체지방량과 골밀도 사이보다 작음을 들어, 지방 세포에서의 에스트로겐 생성 작용만으로 체지방과 골밀도간 상관관계를 설명할 수는 없으며, 그 보다는 체지방량과 체중과의 관계로 인한 체중 부하가 주요 원인이라고 주장하였다. 랩틴의 경우 비만 유전자 돌연변이 동물 실험에서 랩틴의 강력한 골형성 억제 작용 [35]이 제기되고 있으나, 랩틴과 골밀도와의 관련성은 아직 일관된 결과를 보이지 않고 있다. 그 외 남성에서의 혈청 테스토스테론이나, 인슐린 저항성에 따른 인슐린 노출 증가 등 [36] 호르

문과 관련된 여러 연구가 진행되고 있으나, 연령 및 성별에 따라 달라지는 체성분과 골밀도간의 관계에서 각 시기별로 어떤 호르몬이 주로 작용을 하는지에 대해서는 아직 확실하지 않다.

셋째, 골밀도와 체지방량간의 높은 연관성을 유전적 요인과 관련지어 생각해 볼 수 있다. 골밀도와 체성분간 연관성을 생각해 연구들 통해 설명한 Seeman 등 [37]에 의하면, 대퇴골 골밀도와 체지방량은 각각 60-80% 정도의 유전적 요인을 가지며 이 중 골밀도와 체지방량의 개인별 차이의 50% 이상이 신체 크기를 조절하는 공통의 유전 요인이 작용한다고 하였다. 이와는 다소 차이를 보이는 연구로, 체지방량이 골밀도처럼 강한 유전적 영향을 받고 있고 골밀도의 주된 결정 인자이지만, 이러한 체지방량의 유전적 요인이 골밀도에 미치는 영향은 크지 않아 실제 체지방량과 체지방량 혹은 체지방과 골밀도간 연관성은 주로 환경적 요인에 의한 것이라는 주장도 있다 [8]. 그러나 이 연구들은 평균 50대 여성을 대상으로 한 것으로 본 연구 대상과 연령의 차이가 크므로, 환경적 요인에 대한 골밀도의 영향이 소아에서와는 차이가 있을 것으로 본다. Hopper 등 [27]의 연구에서 골밀도의 유전적 영향을 연령에 따라 구분하였는데, 10~15세 군에서는 체지방량과 골밀도가 상당 부분 동일한 유전적 영향을 받으나 이러한 유전적 영향은 연령이 높아질수록 낮아지며, 대신 유전자-환경 교호작용이 커지는 것으로 파악하였다[38]. 따라서 소아의 체성분과 골밀도간의 연관성은 성인의 경우와는 구분해서 파악해야 하며, 낮은 골밀도를 보이는 소아 및 청소년의 생활 습관을 관리하는 것은 현 상태의 골 건강뿐만 아니라 성인 이후 환경 및 유전자-환경 교호작용에도 영향을 미치므로 이 시기의 골 건강관리가 더욱 중요하다 할 수 있다.

이번 연구의 제한점으로 첫째, 연구 대상 연령이 9~12세로, 사춘기 초기만을 반영할 수 있었으므로, 성 성숙 단계에 따른 골밀도 변화를 충분히 파악할 수 없었다. 둘째, 영양 섭취량에 대한 분석이 끝나지 않

아 골밀도 위험요인인 영양상태를 파악하지 못함으로써, 영양상태에 따른 골밀도 효과를 통제할 수 없었다.

결론

9~12세 종골 골밀도에서 연령과 성 성숙 및 신장을 고려했을 때, 종골 골밀도 변동량에 대해 가장 높은 설명력을 보인 체성분은 남녀 모두 체지방량으로, 남아는 15%, 여아에서는 20%가량의 설명력을 보였다. 연령과 성 성숙 및 신장이 일정할 때, 체질량지수나 체중이 높을수록 골밀도가 높았으나, 체중의 효과를 제어한 경우, 체지방률이 높을수록 골밀도는 낮아지는 것으로 나타났다. 따라서 체중 부하를 받는 종골의 경우 체성분 중 체지방량에 따른 체중의 효과가 골밀도에 가장 중요하게 작용하며, 동일한 체중에서 체지방률은 오히려 골밀도와 음의 관련성이 있을 것으로 보여, 체지방률로 비만을 정의할 때, 일부에서 제기되는 비만의 골밀도에 대한 양의 상관관계는 체중의 효과를 제어하지 않았기 때문으로 생각된다.

참고문헌

1. Report of a WHO Study Group. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. *World Health Organ Tech Rep Ser* 1994; 843: 1-129
2. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *NIH Consensus Statement* 2000 March 27-29; 17(1): 1-36
3. Pollitzer WS, Anderson JJ. Ethnic and genetic differences in bone mass: a review with a hereditary vs environmental perspective. *Am J Clin Nutr* 1989 ;50(6) :1244-1259
4. Bachrach BE, Smith EP. The role of sex steroids in bone growth and development evolving new concepts. *Endocrinologist* 1996; 6:362-368
5. Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E. Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J Bone Miner Res* 1998; 13(3): 500-507

6. Prentice A. Is nutrition important in osteoporosis? *Proc Nutr Soc* 1997; 56: 357-367
7. Glastre C, Braillon P, David L, Cochat P, Meunier PJ, Delmas PD. Measurement of bone mineral content of the lumbar spine by dual energy x-ray absorptiometry in normal children: correlations with growth parameters. *J Clin Endocrinol Metab* 1990; 70(5): 1330-1333
8. Nguyen TV, Howard GM, Kelly PJ, Eisman JA. Bone mass, lean mass, and fat mass: same genes or same environment? *Am J Epidemiol* 1998; 147: 3-16
9. 대한 소아과학회 보건통계위원회. 1998년 한국 소아 및 청소년 신체 발육 표준치. 대한소아과학회;1998
10. Fordham JN, Chinn DJ, Kumar N. Identification of women with reduced bone density at the lumbar spine and femoral neck using BMD at the os calcis. *Osteoporos Int* 2000; 11(9): 797-802
11. Hakulinen MA, Saarakkala S, Toyras J, Kroger H, Jurvelin JS. Dual energy x-ray laser measurement of calcaneal bone mineral density. *Phys Med Biol* 2003; 48(12): 1741-1752
12. Heymsfield SB, Wang Z, Visser M, Gallagher D, Pierson RN Jr. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996; 64(3 Suppl): 478S-484S
13. Bedogni G, Malavolti M, Severi S, Poli M, Mussi C, Fantuzzi AL, Battistini N. Accuracy of an eight-point tactile-electrode impedance method in the assessment of total body water. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56(11): 1143-1148
14. Whang IT, Ryu KH, Kim KH, Hong YM, Kim KH, Lee K. Percent of body fat by bioelectrical impedance analysis in healthy children. *Korean J Pediatr* 1999; 42(9): 1207-1214(Korean)
15. Marshall WA, Tanner JM. Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Arch Dis Child* 1970; 45(239): 13-23
16. Marshall WA, Tanner JM. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child* 1969; 44(235): 291-303
17. Duke PM, Litt IF, Gross RT. Adolescents' self-assessment of sexual maturation. *Pediatrics* 1980 Dec; 66(6): 918-920
18. Ha SM, Pai KS, Hyoun UJ, Kim DH. Study on pubertal changes in adolescent girls: pubertal changes in middle school girls living in seoul. *Korean J Pediatr* 1990; 33(7): 989-997(Korean)

19. Comerci GD. Normal pubescent growth and sexual maturation. *Semin Adolesc Med* 1987 Dec; 3(4): 217-226
20. Bhudhikanok GS, Wang MC, Eckert K, Matkin C, Marcus R, Bachrach LK. Differences in bone mineral in young Asian and Caucasian Americans may reflect differences in bone size. *J Bone Miner Res* 1996 Oct; 11(10): 1545-1556
21. Molgaard C, Thomsen BL, Michaelsen KF. Whole body bone mineral accretion in healthy children and adolescents. *Arch Dis Child* 1999; 81(1): 10-15
22. Kleinbaum DG, Kupper LL, Muller KE, Nizam A. Applied regression analysis and other multivariable methods, 3rd ed.: CA:Brooks/Cole Co.;1998.P.241
23. Katzman DK, Bachrach LK, Carter DR, Marcus R. Clinical and anthropometric correlates of bone mineral acquisition in healthy adolescent girls. *J Clin Endocrinol Metab* 1991; 73(6): 1332-1339
24. Valdimarsson O, Kristinsson JO, Stefansson SO, Valdimarsson S, Sigurdsson G. Lean mass and physical activity as predictors of bone mineral density in 16-20-year old women. *J Intern Med* 1999 May; 245(5): 489-496
25. Faulkner RA, Bailey DA, Drinkwater DT, Wilkinson AA, Houston CS, McKay HA. Regional and total body bone mineral content, bone mineral density, and total body tissue composition in children 8-16 years of age. *Calcif Tissue Int* 1993; 53(1): 7-12
26. Black DM, Cumming SR, Genat HK, Nevitt MC, Palermo L, Browner W. Axial and appendicular bone density predict fractures in older women. *J Bone Miner Res* 1992; 7: 633-638
27. Hopper JL, Green RM, Nowson CA, Young D, Sherwin J, Kaymakci B, Larkins RG, Wark JD. Genetic, common environment, and individual specific components of variance for bone mineral density in 10-to 26-year-old females: A twin study. *Am J Epidemiol* 1998; 147: 17-29
28. Barbeau P, Gutin B, Litaker M, Owens S, Riggs S, Okuyama T. Correlates of individual differences in body-composition changes resulting from physical training in obese children. *Am J Clin Nutr* 1999 Apr; 69(4): 705-711
29. 우창하. 청소년기 운동형태가 골밀도 및 골대사에 미치는 영향. 석사학위논문; 국민대 스포츠산업대학원, 2001
30. Lonzer MD, Imrie R, Rogers D, Worley D, Licata A, Secic M. Effects of heredity, age, weight, puberty, activity, and calcium intake on bone mineral density in children. *Clin Pediatr (Phila)* 1996; 35(4): 185-189
31. Parsons TJ, Prentice A, Smith EA, Cole TJ, Compston JE. Bone mineral mass consolidation in young british adults. *J Bone Miner Res* 1996; 11: 264-274
32. Baumgartner RN, Stauber PM, Koehler KM, Romero L, Garry PJ. Association of fat and muscle masses with bone mineral in elderly men and women. *Am J Clin Nutr* 1996; 63: 365-372
33. Joint WHO/FAO Expert Consultation on Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. World Health Organ Tech Rep Ser 2002;916
34. Reid IR, Ames R, Evans MC, Sharpe S, Gamble G, France JT, Lim TT, Cundy TF. Determinants of total body and regional bone mineral density in normal postmenopausal women-A key role for fat mass. *J Clin Endocrinol Metab* 1992; 75: 45-51
35. Takeda S, Eleftheriou F, Levasseur R, Liu X, Zhao L, Parker KL, Armstrong D, Ducy P, Karsenty G. Leptin regulates bone formation via the sympathetic nervous system. *Cell* 2002; 111(3): 305-317
36. Abrahamsen B, Rohold A, Henriksen JE, Beck-Nielsen H. Correlations between insulin sensitivity and bone mineral density in non-diabetic men. *Diabet Med* 2000; 17(2): 124-129
37. Seeman E, Hopper JL, Young NR, Formica C, Goss P, Tsalamandris C. Do genetic factors explain associations between muscle strength, lean mass, and bone density? A twin study. *Am J Physiol* 1996; 270(2 Pt 1): E320-327
38. Khoury MJ. Genetic and epidemiologic approaches to the search for gene-environment interaction: the case of osteoporosis. *Am J Epidemiol* 1998; 147(1): 1-2
39. Bailey DA. Growth, physical activity, and bone mineral acquisition. *Exer Sport Sci Rev* 1996; 24: 233-266
40. Weiler HA, Janzen L, Green K, Grabowski J, Seshia MM, Yuen KC. Percent body fat and bone mass in healthy Canadian females 10 to 19 years of age. *Bone* 2000; 27(2): 203-207