

성 성숙도 및 신체계측치와 골밀도와의 관계

경북대학교 생활과학대학 식품영양학과, 계명대학교 의과대학 내과*

이희자·이인규*

Relationships Among Pubertal Development, Anthropometric Measurement, Bone Mineral Density in Males and Females 7-23 Years of Age

Lee, Hee Ja and Lee, In Kyu*

Department of Food Science and Nutrition, College of Human Ecology, Kyungpook University, Taegu, Korea

Department of Internal Medicine, college of medicine, Keimyung University, Taegu, Korea*

ABSTRACT

Background: Maximizing peak bone mass is advocated as a way to prevent osteoporosis. As a prerequisite to the elaboration of any preventive program aimed at maximizing peak bone mass, it is important to determine how the rate of skeletal growth at clinically relevant sites, such as lumbar spine(LS), femoral neck(FN), proceeds in relation to age and pubertal stages in both sexes. The present study was performed to measure bone mineral density(BMD) of Korean children and adolescents and to assess the influence of age, sex, puberty and body size on bone mineral density (BMD) during the period of bone growth.

Method: Lumbar spine(LS), femoral neck(FN) BMD were measured in 199 healthy males and females 7~23 years of age using dual energy x-ray absorptiometry(DEXA). Tanner staging(TS) was used to assess stage of puberty.

Results: Anthropometric measurements generally increased with tanner stage in both sexes. Sex differences were observed. In males, compared to females there were significantly higher in height(TS1, TS3, TS4, TS5), weight(TS1, TS3, TS5), dorsal hand skinfold thickness(TS1, TS5), and lean body mass(TS1, TS3, TS4, TS5); while in females, compared to males there were significantly higher in BMI(TS4), skinfold thickness except dorsal hand and fat %(TS3-TS5), and total fat mass(TS3, TS4)($p < 0.05$ - $p < 0.001$). BMD increased with age in both sexes(LS BMD, M: $r=0.78$, F: $r=0.77$, $p < 0.001$) (FN BMD, M: $r=0.76$, F: $r=0.44$, $p < 0.001$). Results of liner regression analyses revealed a significant correlation between age and BMD(LS BMD, M: adjusted $R^2=0.60$, F: $R^2=0.60$), (FN BMD M: $R^2=0.58$, F: $R^2=0.19$). BMD increased with tanner stage(TS) in both sexes(LS BMD, M: $r=0.76$, F: $r=0.84$, $p < 0.001$, FN BMD, M: $r=0.73$, F: $r=0.55$, $p < 0.001$)(LS BMD, M: TS2-TS3 30%, TS4-TS5 18%, F: TS1-TS2 23%, TS2-TS3 27%, TS4-TS5 11%), (FN

BMD, M: TS2-TS3 17%, TS4-TS5 15%, F: TS2-TS3 16%). Results of liner regression analyses revealed a significant correlation between tanner stage and BMD(LS BMD, M: $R^2=0.57$, F: $R^2=0.70$, (FN BMD M: $R^2=0.53$, F: $R^2=0.30$). Sex differences were observed in LS and FN BMD. At the TS3, LS BMD was significantly higher in females than in males($p<0.01$), but at the TS1($p<0.05$), TS3($p<0.01$) and TS5($p<0.01$) FN BMD were significantly higher in males than in females. The significant correlations were generally found between BMD and anthropometric measurements in both sexes, also after being adjusted for age. Particularly lean body mass was highly intercorrelated with BMD in both sexes. Stepwise regression analyses demonstrated lean body mass was the only factor which significantly affected LS and FN BMD in males, accounting for 74% and 70% of the variability respectively. In females, tanner stage, height and hip circumference were factors which significantly affected LS BMD, accounting for 70% of the variability: while at the FN BMD, body weight accounted for 50% of the variability.

Conclusion: Growth of bone was heterogenous in terms of sex, magnitude, and localization. There were sex and puberty differences in BMD at any sites, and several identifiable characteristics among anthropometric variables which appear to exert differential effects on skeletal development. Finally, data presented in this paper are cross-sectional; therefore It remains to be determined whether these same variables contribute to longitudinal skeletal changes associated with growth.
(J Kor Soc Endocrinol 11:455~467, 1996)

Key Words: BMD, puberty, age, weight, lean body mass, DEXA

서 론

정하고 대상 남녀의 나이, 신체계측 지수, 성적 조숙의 정도와 비교하였다.

최대 골량의 형성은 골다공증의 예방이란 측면에서 매우 중요하며 30대 이전에 최대 골량의 형성을 위한 노력을 향후 개체의 골다공증 예방을 위해서 꼭 필요하다. Christiansen 등[1]과 Landin 등[2]의 보고에 의하면 연령이 18세에서 20세에 이르기까지 개체의 골밀도가 지속적으로 증가하며 특히 사춘기에 이르러 골밀도의 급격한 증가를 보인다고 하였다. 또한 Delmas 등[3]은 성장기 어린이의 요추부(lumbar spine 1-4)의 골밀도는 키, 체중 및 체표면적 등으로 알 수 있는 체형과 깊은 관련이 있다고 하였다.

이와 같이 최근 최대 골량 형성과 관련이 있는 성숙도, 체형 및 그외 관련인자들에 대한 연구가 많이 시행되고 있으나 국내에서는 이들에 대한 보고가 미미한 실정이다. 이에 저자들은 골량 형성 및 골다공증의 진단에 중요한 부위인 요추골과 대퇴골 경부의 골밀도를 측

대상 및 방법

1. 대 상

대상자는 건강한 남자 92명, 여자 107명이었고 나이는 남녀 모두 7~23세 사이였으며 Tanner stage(TS)[4]에 따라 성의 성숙도를 구분하였다(Table 1). 이 연구에서 만성질병이나 소화기의 흡수장애가 있는 경우, 선천적이거나 후천적인 골질환이 있는 경우, 만성적인 약물 복용 혹은 주 10시간 이상의 심한 육체적 운동을 하는 경우는 연구대상에서 제외시켰으며 아주 키가 크거나 아주 작은 경우도 대상에서 제외하였다.

2. 방 법

성 성숙도 결정은 TS[4]를 기준으로 하여 TS1에서 TS5까지 5단계로 구분하였고, 신체 계측은 키와 체중

Table 1. Comparision of Bone Mineral Density(BMD) Between Males and Females for Each Stage of Puberty

Tanner stage	1	2	3	4	5			
Gender	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
(n=92)	M n=29		n=13		n=31		n=10	
(n=107)	F n=19		n=16		n=24		n=22	
Age (years)	M 9.52 F 8.89	1.74 ^a 1.24 ^a	11.38 10.38	2.40 ^b 1.15 ^b	14.42 13.96	0.99 ^c 1.52 ^c	14.30 14.27	1.25 ^c 1.20 ^c
BMD (g/cm ²)								
LS	M 0.6697 F 0.6611	0.1473 ^a 0.1345 ^a	0.7255 0.8160	0.2010 ^a 0.1141 ^b	0.9439** 1.0361	0.1322 ^b 0.1021 ^c	1.0197 1.0582	0.1590 ^b 0.1061 ^c
FN	M 0.7253* F 0.6898	0.0984 ^a 0.0958 ^a	0.8155 0.7414	0.0808 ^a 0.1415 ^a	0.9581** 0.8585	0.1241 ^b 0.1255 ^b	0.9781 0.9152	0.1436 ^b 0.1040 ^b

BMD; bone mineral density LS; lumbar spine FN: femoral neck

Values with different superscripts within the row are significantly different at p<0.05.

* p<0.05 vs females of the respective Tanner stage.

**p<0.01 vs females of the respective Tanner stage.

을 측정하여 체질량 지수(body mass index: BMI, kg/m²)를 구하였으며, 상완(upperarm), 복부(abdomen), 허리(waist), 엉덩이(hip), 대퇴부(thigh), 장딴지(medial calf)의 둘레를 측정하고 waist hip ratio(WHR)를 구하였다. Lange skinfold caliper(Cambridge Scientific Industries, Cambridge, MD)를 이용하여 피하 지방 두께(skinfold thickness)를 3회 측정하여 평균값을 취하였다. 이두근(biceps), 삼두근(triceps), 견갑하(subscapular), 장골상부(suprailiac), 손등(dorsal hand)부위는 직립자세에서 피하 지방 두께를 측정하였고, 대퇴부(thigh), 장딴지(medial calf)는 누워서 무릎을 세운 자세에서 피하 지방 두께를 측정하였다.

골밀도의 측정은 이중 에너지 방사선 골밀도 측정기(dual energy X-ray absorptiometry, DEXA; Lunar Radiation corp., Madison, Wisconsin, U.S.A)를 이용하여 요추(lumbar spine, LS)와 대퇴경부(femoral neck, FN)의 골밀도를 측정하였다.

전체지방량(total fat body mass, TFBM)과 제지방량(total lean body mass, TLBM) 역시 이중 에너지 방사선 골밀도 측정기로 측정{Weight=TFBM+TLBM+bone mineral content (BMC)하고, 지방률(%fat = TFBM/(TFBM+TLBM)×100)}을 구하였다.

결과는 평균과 표준편차를 표시하였고, 유의성 검증

은 one-way ANOVA를 사용하였으며, 다중 범위 비교(multiple range tests)는 Duncan test를 이용하였다. 골밀도와 신체 계측치, 성 성숙도와의 상관성은 Pearson의 correlation 및 partial correlation analysis, 회귀 분석(linear regression analysis)을 실시하여 구하였다. 이 상의 모든 통계 분석은 SPSS 통계 package program을 사용하였고 p value 0.05 미만을 유의수준으로 하였다.

결 과

1. 신체 계측치의 비교

남녀 두군의 신체 결과를 살펴보면 TS1에서 TS5로 성 성숙도가 변화함에 따라 키, 체중, 체질량 지수가 점차 증가하였으며(p<0.001) 남자군에서 여자군에 비하여 높은 경향을 보였고 특히 TS1(p<0.01), TS3(p<0.001), TS4(p<0.001), TS5(p<0.001)에서의 키와, TS1(p<0.05), TS3(p<0.01), TS5(p<0.001)에서의 체중 및 TS4(p<0.05)에서의 체질량 지수는 유의한 차이를 보았다(Table 2, 3).

둘레 치수, 피하지방 두께, 지방량 및 제지방량, 지방률 역시 성 성숙도가 변화함에 따라 점차 증가하였다(p<0.001). 둘레 치수 및 제지방량은 남자군에서 여자군에 비하여 높은 경향을 보였으나 피하지방 두께, 지방

Table 2. Comparision of Anthropometric Data Among Stages of Puberty for Males

Tanner stage	1	2	3	4	5			
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Height(cm)	138.41**	9.29 ^a	147.61	13.42 ^b	164.55***	7.22 ^c	168.70***	4.85 ^c
Weight(kg)	31.90*	5.95 ^a	36.77	8.37 ^a	52.29**	8.12 ^b	58.10	11.12 ^b
BMI(kg/m^2)	16.51	1.72 ^a	16.70	1.83 ^a	19.25	2.18 ^b	20.33*	3.39 ^b
Circumferences(cm)								
Head	52.62**	1.08 ^a	52.46	1.66 ^a	54.42	1.69 ^b	56.30	1.34 ^c
Upper arm	20.83*	2.59 ^a	21.77	2.20 ^a	24.90	2.26 ^b	27.30	3.16 ^c
Waist	58.03*	4.97 ^a	61.08	4.05 ^a	65.74	5.10 ^b	69.50	6.87 ^b
Abdomen	59.31	5.15 ^a	62.38	4.84 ^a	67.77	5.50 ^b	72.70	6.70 ^c
Hip	69.14	6.27 ^a	74.62	7.67 ^b	85.32	5.88 ^c	91.30	6.45 ^d
Thigh	35.3*	3.29 ^a	37.31	3.59 ^a	42.48	3.39 ^b	45.50	4.58 ^c
Medial calf	27.83	2.52 ^a	29.54	2.50 ^a	33.74	2.52 ^b	36.00*	2.67 ^c
WHR	0.84	0.05 ^a	0.82	0.07 ^a	0.77**	0.03 ^b	0.76	0.05 ^b
Skinfold thickness(mm)								
Bicep	8.76	4.21 ^a	6.23	4.19 ^b	4.97**	2.14 ^b	6.40*	2.41 ^a
Tricep	15.83	6.03 ^a	13.23	6.67 ^a	9.81***	3.88 ^b	13.00**	5.16 ^a
Subscapular	11.48	5.12 ^a	10.00	4.04 ^a	9.74***	2.94 ^a	12.70*	5.29 ^a
Suprailliac	11.93	5.08 ^a	11.31	6.43 ^a	10.84**	4.21 ^a	11.40***	3.57 ^a
Thigh	25.28	8.31 ^a	17.62	8.08 ^b	15.90***	5.31 ^b	18.90**	8.52 ^b
Medial calf	24.07**	5.99 ^a	18.00	7.47 ^b	15.39***	5.28 ^b	18.00***	5.12 ^b
Dorsal hand	3.55*	1.30 ^a	3.31	1.03 ^a	3.32	0.54 ^a	3.40	0.52 ^a
Body composition(g)								
TFBM	5400	2667 ^a	6267	3179 ^a	7410***	3246 ^b	9774**	5534 ^c
TLBM	24707***	3916 ^a	28929	7096 ^b	42338***	5727 ^c	45684***	7108 ^c
%fat	17.33	6.24 ^a	17.72	8.30 ^a	14.5***	4.52 ^a	16.77***	7.06 ^a

BMI: body mass index, TFBM; total fat body mass, TLBM; total lean body mass

Weight = TFBM + TLBM + bone mineral content(BMC)

%fat = TFBM / (TFBM + TLBM) × 100

Values with different superscripts within the row are significantly different at $p < 0.05$.* $p < 0.05$ vs females of the respective Tanner stage.** $p < 0.01$ vs females of the respective Tanner stage.*** $p < 0.001$ vs females of the respective Tanner stage.

량 및 지방률은 여자군에서 높은 경향을 보였다. 특히 TS1($p < 0.05$), TS5($p < 0.05$)에서의 손등의 피하지방 두께 및 TS1, TS3, TS4, TS5($p < 0.001$)에서의 제지방량은 남자군의 치수가 여자군에 비하여 유의하게 높았으나, TS3-TS5에서의 나머지 측정 부위의 피하지방 두께($p < 0.05 \sim p < 0.001$) 및 지방률($p < 0.001$)과 TS3($p < 0.001$), TS4($p < 0.01$)에서의 지방량은 여자군의 치수가 남자군의 치수보다 유의하게 높았다(Table 2, 3).

2. 골밀도의 비교

1) 골밀도와 연령

남녀 두군에 있어서 요추부와 대퇴경부 각각의 골밀도는 연령이 증가함에 따라 증가하였고 연령과 골밀도는 다음과 같은 상관이 있었다(Fig. 1, 2). 요추의 골밀도는 남자의 경우 0.78($p < 0.001$), 여자의 경우 0.77($p < 0.001$)의 상관이 있었고, 대퇴경부의 골밀도는 남자의 경우 0.76($p < 0.001$), 여자의 경우 0.44($p < 0.001$)의

Table 3. Comparision of Anthropometric Indices Among Stages of Puberty for Females

Tanner stage	1	2	3	4	5			
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Height(cm)	131.47	8.02 ^a	145.25	7.76 ^b	154.88	5.43 ^c	156.86	4.64 ^c
Weight(kg)	27.74	4.91 ^a	35.81	5.14 ^b	46.54	5.82 ^c	51.86	6.94 ^d
BMI(kg/m^2)	15.92	1.46 ^a	16.92	1.70 ^a	19.39	1.98 ^b	21.02	2.09 ^c
Circumferences(cm)								
Head	51.32	2.08 ^a	52.81	1.33 ^b	53.67	1.66 ^b	55.23	1.27 ^c
Upper arm	19.42	1.68 ^a	21.88	2.13 ^b	24.29	2.51 ^c	26.14	2.40 ^d
Waist	54.95	4.55 ^a	58.25	4.02 ^a	63.71	5.32 ^b	68.18	5.34 ^c
Abdomen	57.47	4.86 ^a	61.69	4.51 ^b	67.25	5.97 ^c	72.09	5.59 ^d
Hip	67.47	6.09 ^a	73.31	6.32 ^b	85.13	4.78 ^c	88.14	7.17 ^c
Thigh	33.42	2.59 ^a	37.13	2.13 ^b	41.58	2.78 ^c	42.147	4.93 ^c
Medial calf	26.84	2.19 ^a	29.38	1.86 ^b	33.08	2.87 ^c	32.82	4.29 ^c
WHR	0.82	0.06 ^a	0.80	0.09 ^a	0.75	0.03 ^b	0.78	0.07 ^c
Skinfold thickness(mm)								
Bicep	7.26	2.98 ^a	8.06	4.57 ^a	7.79	4.37 ^a	9.27	3.93 ^a
Tricep	14.11	6.17 ^a	14.56	6.43 ^a	15.50	6.95 ^a	19.18	6.30 ^b
Subscapular	11.74	6.64 ^a	12.00	5.82 ^a	14.88	6.14 ^a	18.91	6.70 ^b
Suprailiac	10.84	3.70 ^a	13.50	5.48 ^a	15.71	6.42 ^b	19.55	6.42 ^c
Thigh	21.63	7.06 ^a	22.31	7.60 ^a	23.96	7.49 ^a	29.00	8.72 ^b
Medial calf	19.79	5.17 ^a	20.44	5.60 ^a	22.92	6.83 ^a	27.55	7.04 ^b
Dorsal hand	3.00	0.58 ^a	2.81	0.66 ^a	2.96	0.91 ^a	3.50	0.74 ^b
Body composition(g)								
TFBM	5063	1987 ^a	7572	3215 ^b	11918	4027 ^c	15637	4206 ^d
TLBM	20870	3059 ^a	26560	3697 ^b	32247	2719 ^c	33913	3304 ^c
%fat	19.03	4.77 ^a	21.69	6.42 ^a	26.46	6.31 ^b	31.12	5.28 ^c

BMI: body mass index, TFBM; total fat body mass, TLBM; total lean body mass

Weight = TFBM + TLBM + bone mineral content(BMC)

%fat = TFBM / (weight - bone mineral content) × 100

Values with different superscripts within the row are significantly different at $p < 0.05$.

상관이 있었다. 연령과 골밀도와의 선형관계를 알아보기 위해 회귀분석을 실시하였다. 남자의 경우 요추부의 골밀도는 $adjusted R^2=0.60$ 으로 $y=0.049040 \times \text{연령} + 0.224565$, 대퇴경부의 골밀도는 $adjusted R^2=0.58$ 로 $y=0.034298 \times \text{연령} + 0.446163$ 으로 추정되었다. 여자의 경우 요추부의 골밀도는 $adjusted R^2=0.60$ 으로 $y=0.035975 \times \text{연령} + 0.460899$, 대퇴경부의 골밀도는 $adjusted R^2=0.19$ 로 $y=0.015251 \times \text{연령} + 0.619499$ 으로 추정되었다.

2) 골밀도와 성 성숙도

남녀 두군 모두에서 TS1에서 TS5로 성 성숙도의 변화에 따라 골밀도의 유의한 증가가 있었으며($p < 0.001$, Table 1, Fig. 3, 4), 특히 요추부에서는 여자군에서 TS1과 TS2 사이에 23%, TS2와 TS3 사이에 27%, TS4와 TS5 사이에 11%의 유의한 골밀도의 증가를 보였고($p < 0.05$), 남자군에서는 TS2와 TS3 사이에서 30%, TS4와 TS5 사이에 18%의 유의한 증가를 보였다($p < 0.05$).

대퇴경부에서는 여자군에서 TS2와 TS3 사이에 16%의 유의한 골밀도 증가를 보였고($p < 0.05$), 남자군에서

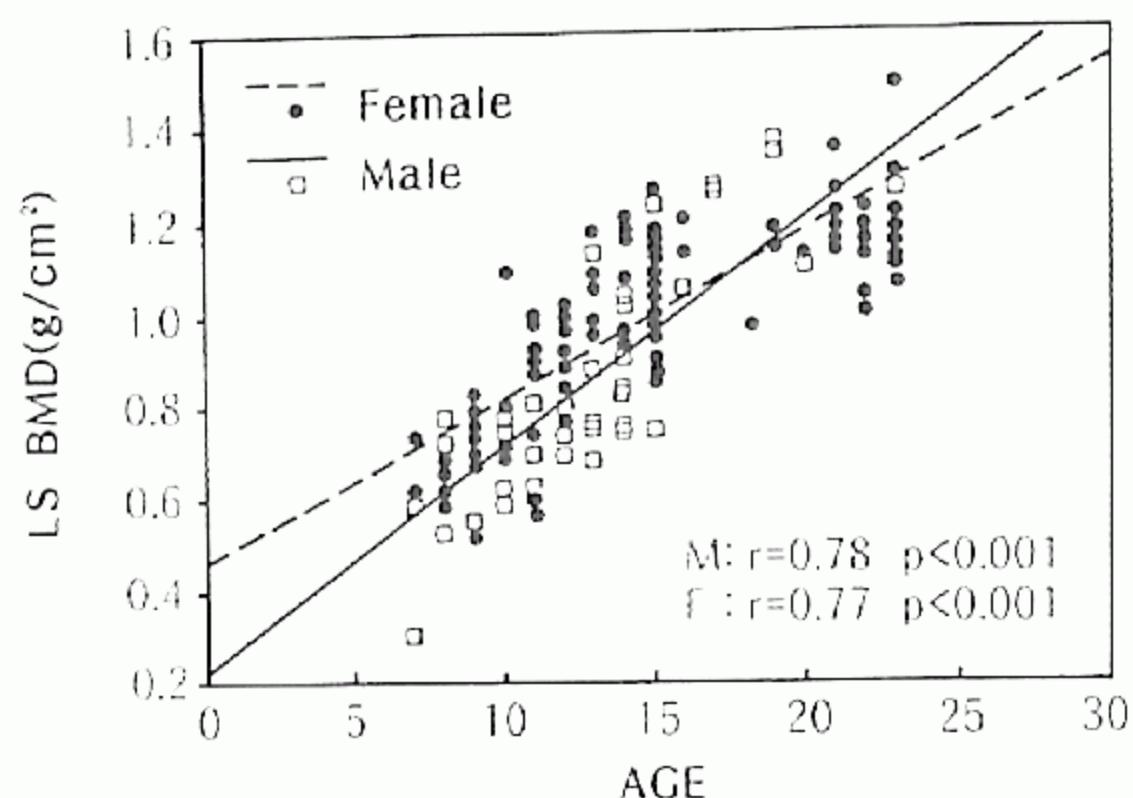


Fig. 1. Relationship between lumbar spine(LS) BMD and age in male and female subjects. Each dots corresponds to one individual.

$$\text{Male: } BMD_{LS} = 0.049040 \times \text{age} + 0.224565$$

adjusted $R^2 = 0.60$

$$\text{Female: } BMD_{LS} = 0.059750 \times \text{age} + 0.460899$$

adjusted $R^2 = 0.60$

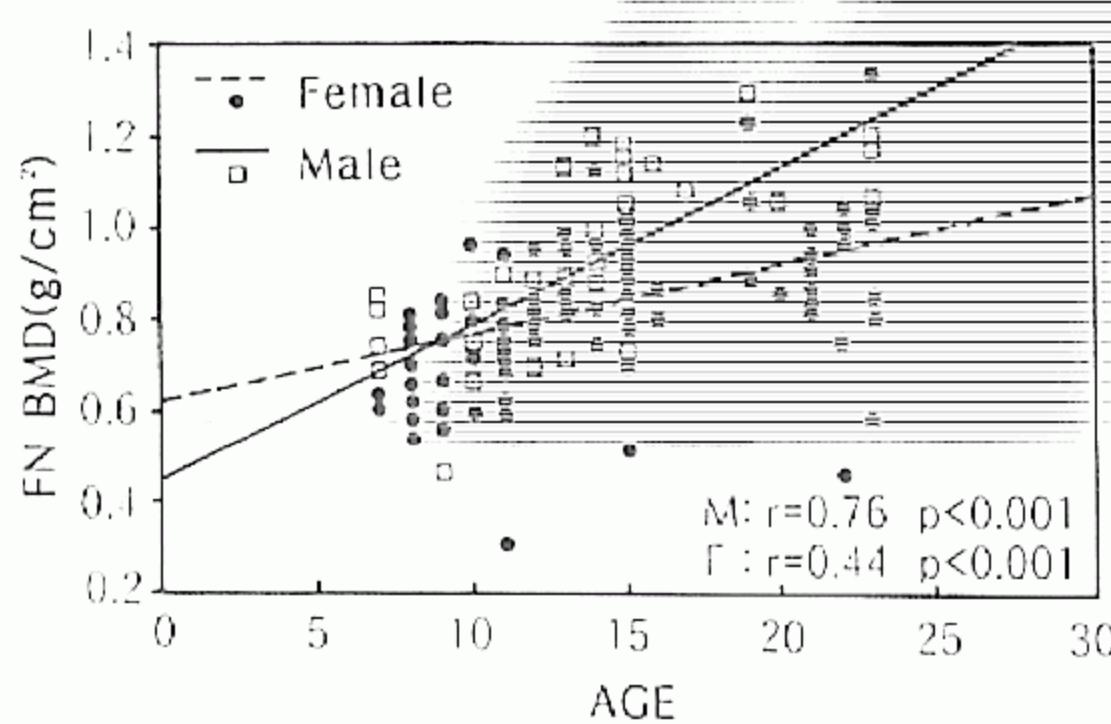


Fig. 2. Relationship between femoral neck(FN) BMD and age in male and female subjects. Each dots corresponds to one individual.

Linear regression equations were;

$$\text{Male: } BMD_{FN} = 0.034298 \times \text{age} + 0.446163$$

adjusted $R^2 = 0.58$

$$\text{Female: } BMD_{FN} = 0.015251 \times \text{age} + 0.619499$$

adjusted $R^2 = 0.19$

는 TS2와 TS3 사이에서 17%, TS4와 TS5 사이에 15%의 유의한 증가를 보여($p<0.05$) 남녀 두군 모두에서 요추 및 대퇴경부의 골밀도는 TS2와 TS3 사이에서 증가가 가장 현저하였다.

또한 남녀 두군 사이의 골밀도를 비교하였을 때, 요추부에서는 특히 TS3에서 여자군의 골밀도가 남자군에 비하여 유의하게 높았으며($p<0.01$), 대퇴경부에서

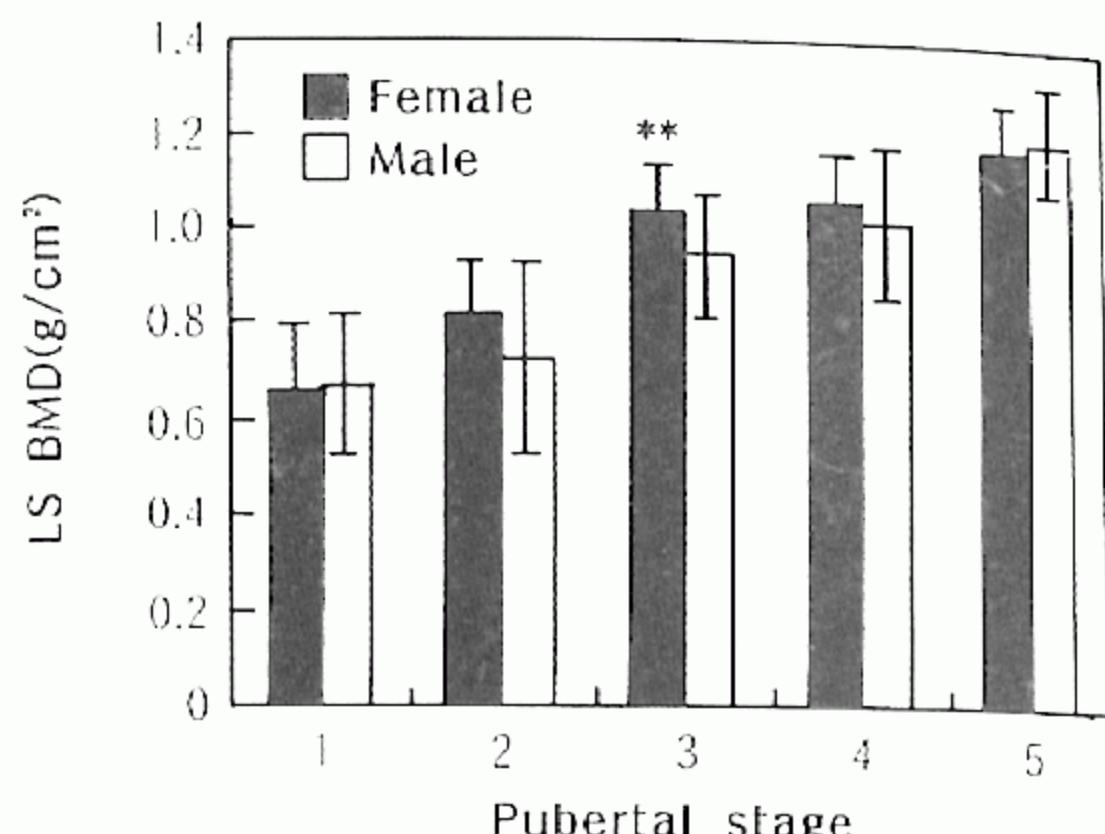


Fig. 3. Relation between bone mineral density at the levels of the lumbar spine(L2-4) and pubertal stages in male and female subjects, showing the average percent increase between tanner stages 2 & 3(30%, $p<0.05$) and between 4 & 5(18%, $p<0.05$) in male, between tanner stages 1 & 2 (23%, $p<0.05$), between 2 & 3(27%, $p<0.05$), between 4 & 5(11%, $p<0.05$) in female.

Significant differences are noted:

**: $p<0.01$ between values in males and females at the same pubertal stage(TS3); the values in females significantly higher than those in male.

Regression equations were:

$$\text{Male: } BMD_{LS} = 0.133202 \times TS + 0.522498$$

adjusted $R^2=0.57$

$$\text{Female: } BMD_{LS} = 0.125351 \times TS + 0.576167$$

adjusted $R^2=0.70$

(): partial correlation coefficients adjusted for age

는 오히려 TS1($p<0.05$)과 TS3($p<0.01$) 및 TS5($p<0.01$)에서 남자군의 골밀도가 여자군에 비하여 유의하게 높았다.

성 성숙 정도와 요추 및 대퇴경부 각각의 골밀도와의 상관정도는 남자의 경우 0.76***(0.30**), 0.73*** (0.25*)이었고 여자의 경우 0.84***(0.51***), 0.55*** (0.39***)이었다. 연령을 통제(팔호안의 숫자)한 후에도 골밀도와 성성숙도 사이에는 유의한 상관이 있었다(* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$).

성 성숙 정도와 골밀도와의 선형관계를 알아보기 위해 회귀분석을 실시하였다. 남자의 경우 요추부의 골밀

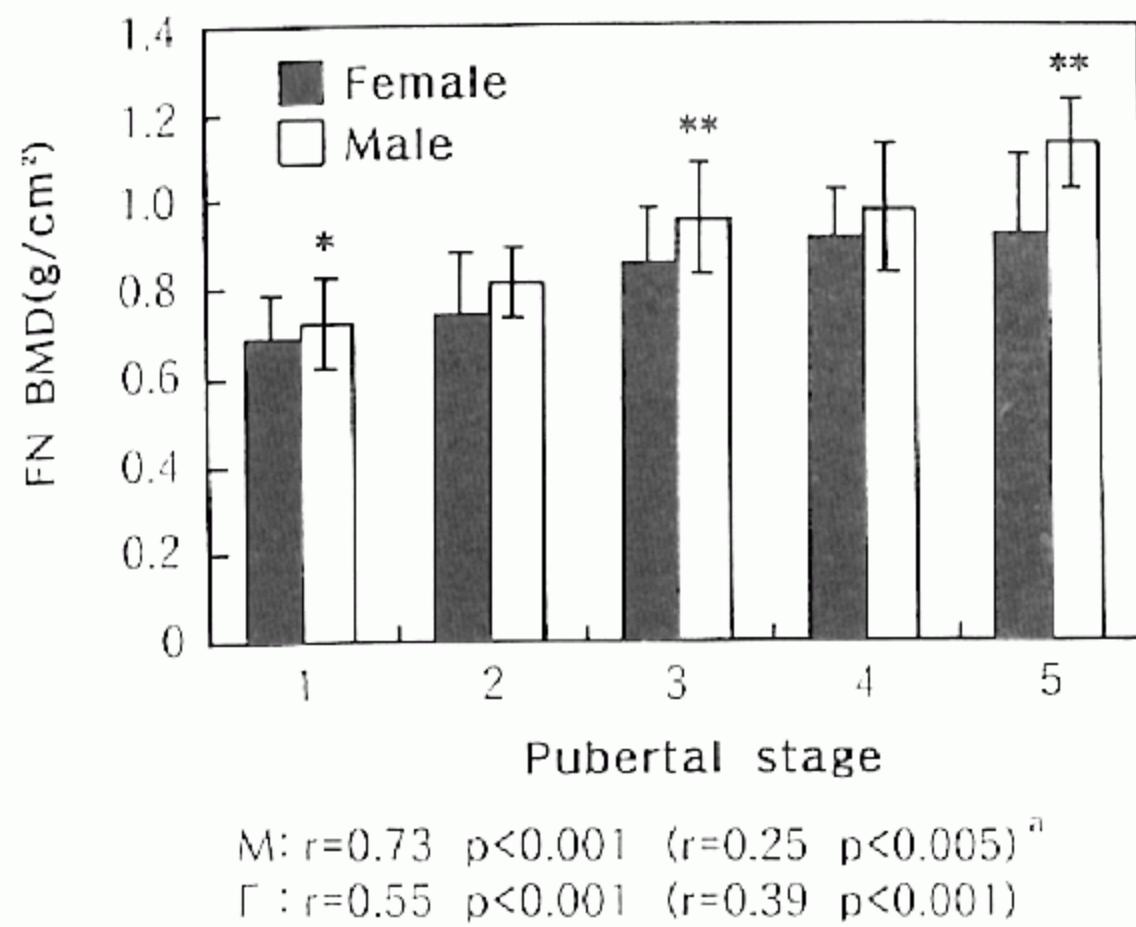


Fig. 4. Relation between bone mineral density at the levels of the femoral neck and pubertal stages in male and female subjects, showing the average percent increase between tanner stages 2 & 3(17%, $p<0.05$) and between 4 & 5(15%, $p<0.05$) in male, between tanner stages 2 & 3 (16%, $p<0.05$) in female.

Significant differences are noted:

*: $p<0.05$ between values in males and females at the same pubertal stage(TS1)

**: $p<0.01$ between values in males and females at the same pubertal stage(TS3); the values in females significantly higher than those in male.

Regression equations were:

$$\text{Male: BMD FN} = 0.091364 \times \text{TS} + 0.660273 \\ \text{adjusted } R^2 = 0.53$$

$$\text{Female: BMD FN} = 0.061909 \times \text{TS} + 0.640790 \\ \text{adjusted } R^2 = 0.30$$

(): partial correlation coefficients adjusted for age

도는 adjusted $R^2=0.57$ 로 $y=0.133202 \times \text{tanner stage}$ ($\text{TS})+0.522498$, 대퇴경부의 골밀도는 adjusted $R^2=0.53$ 으로 $y=0.091364 \times \text{TS}+0.660273$ 으로 추정되었다. 여자의 경우 요추부의 골밀도는 adjusted $R^2=0.70$ 으로 $y=0.125351 \times \text{TS}+0.576167$, 대퇴경부의 골밀도는 adjusted $R^2=0.30$ 으로 $y=0.061909 \times \text{TS}+0.640790$ 으로 추정되었다. 골밀도와의 회귀분석 결과 adjusted R^2 은 남자의 경우 성 성숙 정도에서보다 연령과의 관계에서 다소 높았으나, 여자의 경우는 연령에서보다 성 성숙 정도와의 관계에서 더 높았다.

3. 골밀도와 신체계측치와의 관련성

1) 골밀도와 신체계측치와의 상관관계

남녀 두군에 있어서 골밀도와 신체계측 지수와는 다음과 같은 상관이 있었다(괄호 안의 숫자는 연령을 통제한 후의 상관계수임)(Table 4).

여자군에 있어서 요추부 및 대퇴경부의 골밀도는 키 0.82***($0.56***$), 0.62***($0.49***$), 체중 0.82***($0.63***$), 0.71***($0.62***$), BMI 0.64***($0.53***$), 0.63***($0.54***$), 머리둘레 0.66***($0.34***$), 0.53***($0.36***$), 상완둘레 0.71***($0.54***$), 0.66***($0.56***$), 허리둘레 0.64***($0.53***$), 0.65***($0.57***$), 복부둘레 0.73***($0.48***$), 0.65***($0.54***$), 엉덩이둘레 0.81***($0.58***$), 0.63***($0.51***$), 대퇴부둘레 0.68**($0.43***$), 0.59***($0.45***$), 장딴지둘레 0.66***($0.43***$), 0.53***($0.38***$), WHR -0.42***(-0.05), -0.15(0.09), 이두근 0.27***(-0.05), 0.31***(0.17), 삼두근 0.42***(-0.01), 0.42***($0.24**$), 견갑하 0.41***($0.22**$), 0.47***($0.38***$), 장골상부 0.44***($0.32***$), 0.45***($0.36***$), 대퇴부 0.44***(0.05), 0.43***($0.26**$), 장딴지 0.40***($0.23*$), 0.47***($0.38***$), 손등 피하 지방 두께 0.01($0.21*$), 0.24**($0.35***$), 전체 지방량 0.63***($0.53***$), 0.61***($0.52***$), 제지방량 0.82***($0.58***$), 0.67***($0.58***$), 지방률 0.46***($0.44***$), 0.49***($0.44***$)와 연관이 있었고, 연령을 통제한 후에도 골밀도와 신체계측 지수 사이에는 대체로 유의한 상관이 있었으며 특히 제지방량이 다른 신체계측 지수들에 비하여 상관도가 높았다(* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$).

남자군에 있어서도 요추부 및 대퇴경부의 골밀도는 키 0.81***($0.45***$), 0.79***($0.42***$), 체중 0.85***($0.60***$), 0.82***($0.54***$), BMI 0.70***($0.50***$), 0.67***($0.45***$), 머리둘레 0.76***($0.50***$), 0.73***($0.44***$), 상완둘레 0.71***($0.47**$), 0.65***($0.35***$), 허리둘레 0.69***($0.43***$), 0.66***($0.36***$), 복부둘레 0.69***($0.42***$), 0.66***($0.37***$), 엉덩이둘레 0.81***($0.56***$), 0.78***($0.50***$), 대퇴부둘레 0.73**($0.45***$), 0.70***

Table 4. Correlation between Bone Mineral Density with Anthropometric Indices

	Male				Female			
	LS		FN		LS		FN	
	r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
Height	0.81***	0.45***	0.79***	0.42***	0.82***	0.56***	0.62***	0.49***
Weight	0.85***	0.60***	0.82***	0.54***	0.82***	0.63***	0.71***	0.62***
BMI	0.70***	0.50***	0.67***	0.45***	0.64***	0.53***	0.63***	0.54***
Circumferences								
Head	0.76***	0.50***	0.73***	0.44***	0.66***	0.34***	0.53***	0.36***
Upper arm	0.71***	0.47***	0.65***	0.35***	0.71***	0.54***	0.66***	0.56***
Waist	0.69***	0.43***	0.66***	0.36***	0.64***	0.53***	0.65***	0.57***
Abdomen	0.69***	0.42***	0.66***	0.37***	0.73***	0.48***	0.65***	0.54***
Hip	0.81***	0.56***	0.78***	0.50***	0.81***	0.58***	0.63***	0.51***
Thigh	0.73***	0.45***	0.70***	0.41***	0.68***	0.43***	0.59***	0.45***
Medial calf	0.75***	0.49***	0.74***	0.47***	0.66***	0.43***	0.53***	0.38***
WHR	-0.49***	-0.19	-0.48***	-0.17	-0.42***	-0.05	-0.15	0.09
Skinfold thickness								
Bicep	-0.33**	0.02	-0.33***	-0.01	0.27**	-9.05	0.31***	0.17
Tricep	-0.31**	0.01	-0.31**	0.00	0.42***	-9.01	0.42***	0.24**
Subscapular	0.15	0.20	0.12	0.14	0.41***	0.22*	0.47***	0.38***
Suprailiac	0.04	0.10	-0.02	-0.01	0.44***	0.32***	0.45***	0.36***
Thigh	-0.38***	0.05	-0.39***	0.01	0.44***	0.05	0.43***	0.26**
Medial calf	-0.44***	0.02	-0.47***	-0.05	0.40***	0.23*	0.47***	0.38***
Dorsal hand	-0.09	0.13	-0.09	0.07	0.01	0.21*	0.24**	0.35***
Body composition								
TFBM	0.49***	0.34***	0.45***	0.26**	0.63***	0.53***	0.61***	0.52***
TLBM	0.86***	0.61***	0.84***	0.57***	0.82***	0.58***	0.67***	0.58***
%fat	0.00	0.20	-0.02	0.13	0.46***	0.44***	0.49***	0.44***

BMI: body mass index, TFBM; total fat body mass, TLBM; total lean body mass

Weight = TFBM + TLBM + bone mineral content(BMC)

%fat = TFBM / (TFBM + TLBM) × 100

r2 is partial correlation coefficient adjusted for age

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

(0.41***), 장딴지둘레 0.75***(0.49***), 0.74*** (0.47***), WHR -0.49***(-0.19), -0.48*** (-0.17), 이두근의 피하 지방 두께 -0.33**(0.02), -0.33***(-0.01), 삼두근 -0.31**(0.01), -0.31** (0.00), 대퇴부 -0.38***(0.05), -0.39***(0.01), 장딴지의 피하지방 두께 -0.44***(0.02), -0.47*** (-0.05), 전체 지방량 0.49***(0.34***), 0.45***(0.26**), 제지방량 0.86***(0.61***), 0.84*** (0.57***)와 연관이 있었고, 연령을 통제한 후에도 골

밀도와 신체계측 지수 사이에는 대체로 유의한 상관이 있었으며, 특히 제지방량이 키, 체중, 전체 지방량 등의 다른 신체계측 지수들에 비하여 상관도가 높았다(**p <0.01, ***p<0.001).

2) 골밀도와 제 인자와의 다중회귀 분석

요추부의 골밀도에 대한 연령과 성 성숙 정도를 비롯한 여러 신체계측 지수들의 다중회귀 분석에서 남자군에서는 adjusted R²=0.74로 제지방량(p<0.001)만이 유

Table 5. Multiple Regression Analysis of Lumbar Spine and Femoral Neck BMD on Age, Pubertal Stage and Anthropometric Indices^a

BMD region	Gender	Independent variable	Parameter		adjusted R ²
			Estimate	(SE)	
Lumbar spine	Male	TLBM(g)	1.79046E-05	1.1419E-06***	0.74
		constant	0.212828	0.043356***	
Femoral neck	Female	Tanner Stage	0.063825	0.012964***	0.77
		Height(cm)	0.005014	0.001726**	
		Hip(cm)	0.004684	0.002007*	0.70
		constant	-0.369746	0.184672*	
Femoral neck	Male	TLBM(g)	1.23781E-05	8.4823E-07***	0.70
		constant	0.445421	0.031970***	
Femoral neck	Female	Weight(kg)	0.010285	0.001008***	0.50
		constant	0.384683	0.045773***	

TLBM; total lean body mass

Weight = TFBM + TLBM + bone mineral content(BMC)

* p<.05, ** p<.01, *** p<.001

^a Derived from multiple regression analysis with BMD as the dependent variable and age, pubertal stage and anthropometric indices as the independent variables.

의적인 변수였으나, 여자군에서는 $R^2=0.77$ 로 성 성숙도($p<0.001$), 키($p<0.01$), 엉덩이 둘레($p<0.05$)가 유의한 변수로 선정되었다. 한편 대퇴경부의 경우 남자군에서는 $R^2=0.70$ 으로 제지방량($p<0.001$)만이 유의적인 변수였으나, 여자군에서는 $R^2=0.50$ 으로 체중($p<0.001$)이 유의한 변수로 선정되었다(Table 5).

고 찰

골다공증에 의한 골절은 그 발생빈도가 높고 심각한 기능장애를 유발할 수 있으며 또한 중요한 사망원인이 될 수 있기 때문에 최근 골다공증의 예방과 치료에 대한 연구가 많이 되고 있다. 골다공증의 두 가지 중요한 예방적 치료방법은 성장기에 골량 형성을 최대한으로 하고 성장이 끝난 이후에는 형성된 골량의 소실을 최소한으로 줄이는 것이다[5]. Miller 등[6]에 따르면 성장기의 골량 형성이 최대 골량을 이루는데 결정적으로 중요하며 또한 성장기에서의 골량 형성 정도가 향후 골다공증 발생의 가장 좋은 예측인자라고 한다[6~8]. 따라

서 성장기에 최대 골량의 형성을 위해 노력하는 것은 무엇보다도 중요한 일이다.

골다공증은 최대 골량과 골 소실의 정도에 의해 결정되므로 성장기의 골량 형성에 관여하는 인자들과의 관계를 밝히는 것은 향후 골다공증의 발생을 예측하고 차별하는데 매우 중요한 일이다[3,6]. 종래에는 폐경기 여성에서 골다공증의 발생이 많아 estrogen의 감소가 골 소실의 요인으로 생각하였으나, 노년기 남성에서도 골다공증이 생긴다든지 폐경기 여성에서도 외로 골밀도가 높은 경우가 많아 골량 결정에는 단순한 호르몬 변화외에 영양상태, 운동량, 체형, 흡연, 및 유전적 요인 등이 관여하는 것으로 보인다[9~11]. 그리고 최근 Bonjour 등[12]은 성장기의 골량 증가와 나이, 성 성숙도 및 체형과의 관계의 중요성을 강조하였다.

이 연구에서는 건강한 성장기의 남녀 두군에서 골 형성과 골다공증의 진단에 중요한 부위인 요추부와 대퇴경부에서 양에너지 방사선 골밀도 측정기(DEXA)를 이용하여 골밀도를 측정하고 성의 성숙도 및 체형과 비교하였다. Christiansen 등[1]은 성장기 어린이의 전박

부 골밀도를 측정한 결과 남녀 두군에서 나이가 18~20세에 이르기 까지 지속적인 골밀도의 증가가 있었으며 특히 사춘기에 골밀도의 증가가 두드러지게 나타난다고 하였으며, Gilsanz 등[13]은 전산화 단층촬영을 이용한 요추부 소주골의 골량 측정에서 선상의 성장(linear growth)이 끝나는 10대 후반경에 최대 골량을 형성한다고 하였다. Bonjour 등[12]과 Grimston[8]은 나이, 성 성숙도에 따른 요추부와 대퇴경부 골밀도 변화에 대한 연구에서 남자군의 경우 나이가 15~18세에 이르기 까지 지속적인 골밀도 증가가 관찰되었으나, 여자군의 경우 초경이 시작되고 2~4년 후인 15~16세 경부터는 골량 형성이 급격히 감소하였다. Bonjour 등[12]과 Grimston[8]은 남자에서는 대퇴부의 골밀도 증가가 여자에서는 요추부의 골밀도 증가가 tanner stage의 변화와 더 밀접한 관계가 있다고 보고하면서 그 이유로서는 남자에서 tanner stage의 변화 즉 사춘기 변화 동안에는 여자에 비해 체중 및 신장의 변화가 더 현저하기 때문으로 추측하였다. 또한 Kroger 등[14]도 나이에 따른 골 성장의 비교 연구에서 12세까지는 골 성장 차이가 없으나, 16~17세에서는 여자군의 요추부 골밀도가 현저히 증가하고, 18~19세에서는 남자군의 골밀도가 여자에 비하여 오히려 높은 것으로 보아 골 성장의 정도는 나이에 따라, 그리고 골 부위에 따라 다양한 양상을 보인다고 하였다.

저자들의 연구 결과를 보면 요추부와 대퇴경부의 골밀도가 TS1에서 TS5로 성 성숙도가 변화함에 따라 골밀도의 유의한 증가가 있었고, tanner stage에 따른 남녀 사이의 골밀도 변화에도 유의적인 차이가 있었으며, 요추부에서는 여자군의 골밀도가 남자군에 비하여 유의하게 높거나 높은 경향을 보였으며, 대퇴경부에서는 오히려 남자군에서 여자군에 비하여 골밀도가 유의하게 높거나 높은 경향을 보였다. 이와 같이 성장기의 골밀도 증가는 Bonjour 등[12]과 Kroger 등[14]의 주장에서와 같이 성 성숙도, 성별 그리고 부위에 따라 다양한 양상을 보이는 것으로 생각된다.

Mccormick 등[15]은 DEXA를 이용한 요추부의 골밀도 측정에서 10세 전까지는 골밀도의 남여 차이가 없으나 11~15세에서는 여자군에서 남자군에 비하여 골밀도의 증가가 현저하여 16세가 넘어서야 여자군의

골밀도 증가 속도가 급격히 감소하여 남녀 두군의 골밀도가 비슷하게 된다고 하였으며, Gordon 등[16]도 여성군에서 사춘기가 먼저 시작되며 따라서 요추부의 골밀도 증가가 여성군에서 조기에 발생하며 이것은 사춘기 때 성 호르몬의 증가와 관계있다고 하였다. 또한 Landin 등[2]에 따르면 골밀도는 사춘기에 급격한 증가를 보이며 여자에서는 초경이 시작되면 골량 증가 속도가 급격히 감소한다고 하였다. 저자들의 연구에서도 요추부와 대퇴경부의 골밀도 증가는 여자군에서는 TS1과 TS2, TS2와 TS3 사이에서 집중적으로 일어났으며, 그 이후 골량 증가 속도는 감소하였다. 남자군에서는 여자군에 비하여 골밀도 증가가 늦게 시작되어 TS2와 TS3 사이에서 현저하였다. 이와 같이 저자들의 연구에서도 성의 성숙도, 성별, 그리고 부위에 따라 골밀도의 증가 차이를 관찰할 수 있었고 전체적인 골 성장 양상은 종래의 보고들과 크게 다르지 않았으나, 여자군에 있어서 TS3 이후에 골량 형성의 현저한 감소는 보이지 않은 것으로 보아 초경이 골량 형성에 특별한 영향을 주는 것은 아닌 것으로 사료된다.

최근의 보고들[3,12,15]에 의하면 체중, 키, 체표면적 등 신체계측 지수들이 성장기의 골량 형성과 밀접한 관련이 있다고 한다. Delmas 등[3]과 Miller 등[6]은 성장기 어린이의 요추부, 대퇴부 혹은 전박부 골밀도는 여러 신체계측 지수와 깊은 상관이 있으며 특히 키가 골밀도를 예측하는데 중요한 인자라고 하였고, Grimston 등[8]은 체중이 골밀도에 영향을 주는 인자라고 하였다. 한편 Faulkner[7]와 Doyle 등[17]은 키나 전체 체중보다 오히려 체지방량이 가장 중요한 예측인자라고 주장하여 골밀도와 신체계측 지수의 상관관계에 대해서는 아직 논란의 여지가 있다. 저자들의 연구에서는 골밀도와 키, 체중, 둘레 치수, 피하 지방 두께, 전체 지방량 및 체지방량 등 신체계측 지수 사이에 밀접한 관련이 있었으며 특히 체지방량의 상관도가 높아 Faulkner 등[7]과 Doyle 등[17]의 주장과 일치하였다. 이상의 결과로 볼 때 골밀도는 성 성숙의 정도와 밀접한 관련이 있으며, 또한 신체계측 지수로 알 수 있는 체형, 특히 체지방량과 가장 밀접한 관련이 있었다. 최대 골량의 형성은 향후 골다공증의 발생에 매우 중요한 인자로 인자로 알려져 있으므로[8,15,18,19] 향후 성성숙

도를 포함한 성장기 골량 형성을 결정하는 인자들에 대한 연구가 더욱 필요하다고 사료된다.

요 약

연구배경: 성장기의 골량 형성이 최대 골량을 이루는데 결정적으로 중요하며 또한 성장기에서의 골량 형성 정도가 향후 골다공증 발생의 가장 좋은 예측인자라고 한다. 따라서 성장기의 골량 형성에 관여하는 인자들과의 관계를 밝히는 것은 향후 골다공증의 발생을 예측하고 치료하는데 매우 중요한 일이다. 성장기의 골밀도 증가는 성 성숙도, 성별 그리고 부위에 따라 다양한 양상을 보일뿐만 아니라 체중, 키, 체표면적 등 신체계측 지수들이 성장기의 골량 형성과 밀접한 관련이 있다고 보고되고 있으나 골밀도와 신체계측 지수의 상관관계에 대해서는 아직 논란의 여지가 있다. 이와 같이 최근 최대 골량 형성과 관련이 있는 성숙도, 체형 및 그외 관련인자들에 대한 연구가 많이 시행되고 있으나 국내에서는 이들에 대한 보고가 미미한 실정이므로, 골량 형성 및 골다공증의 진단에 중요한 부위인 요추골과 대퇴골 경부의 골밀도를 측정하고 대상 남녀의 나이, 신체계측 지수, 성적 조숙의 정도와 비교하였다.

연구방법: 7~23세 사이의 건강한 남자 92명, 여자 107명을 대상으로 요추골과 대퇴골 경부의 골밀도를 이중 에너지 방사선 골밀도 측정기로 측정하고 나이, 성별, 신체계측 지수(키, 체중, 체질량 지수, 둘레치수, 피하지방 두께, 체지방량 및 체지방량), 성적 조숙의 정도와의 관련성을 one-way ANOVA, Duncan test, Pearson's correlation 및 partial correlation analysis, 회귀 분석(linear regression analysis)으로 검토하였다.

결과:

1) TS1($p<0.01$), TS3($p<0.001$), TS4($p<0.001$), TS5($p<0.001$)에서의 키와, TS1($p<0.05$), TS3($p<0.01$), TS5($p<0.001$)에서의 체중은 남자가 여자보다 유의하게 높았다. TS1($p<0.05$), TS5($p<0.05$)에서의 손등의 피하 지방 두께 및 TS1, TS3, TS4, TS5($p<0.001$)에서의 체지방량은 남자가 여자에 비하여 유의하게 높았으나, TS3~TS5에서의 나머지 측정 부위의 피하 지방 두께($p<0.05 \sim p<0.001$) 및 지방률($p<$

0.001)과 TS3($p<0.001$), TS4($p<0.01$)에서의 지방량은 여자가 남자보다 유의하게 높았다.

2) 남녀 모두 요추부와 대퇴경부 각각의 골밀도는 연령이 증가함에 따라 증가하였고, 연령과 요추의 골밀도는 남자 0.78($p<0.001$), 여자 0.77($p<0.001$)의 상관이 있었고, 대퇴경부의 골밀도는 남자 0.76($p<0.001$), 여자 0.44($p<0.001$)의 상관이 있었다. 연령과 골밀도와의 회귀분석 결과 남자의 요추부의 골밀도는 adjusted $R^2=0.60$, 대퇴경부의 골밀도는 $R^2=0.58$, 여자의 경우 요추부의 골밀도는 $R^2=0.60$, 대퇴경부의 골밀도는 $R^2=0.19$ 로 양의 상관이 있었다.

3) 남녀 두군 모두에서 TS1에서 TS5로 성 성숙도의 변화에 따라 골밀도의 유의한 증가가 있었으며($p<0.001$), 특히 요추부에서는 여자군에서 TS1-TS2 23%, TS2-TS3 27%, TS4-TS5 11%의 유의한 골밀도 증가를 보였고($p<0.05$), 남자군에서는 TS2-TS3 30%, TS4-TS5 18%의 유의한 증가를 보였다($p<0.05$). 대퇴경부에서는 여자군에서 TS2-TS3 16%의 유의한 골밀도 증가를 보였고($p<0.05$), 남자군에서는 TS2-TS3 17%, TS4-TS5 15%의 유의한 증가를 보여($p<0.05$) 남녀 두군 모두에서 요추 및 대퇴경부의 골밀도는 TS2-TS3 사이에서 증가가 가장 현저하였다.

또한 남녀 두군 사이의 골밀도를 비교하였을 때, 요추부의 골밀도는 특히 TS3에서 여자가 남자에 비하여 유의하게 높았으며($p<0.01$), 대퇴경부의 골밀도는 오히려 TS1($p<0.05$)과 TS3($p<0.01$) 및 TS5($p<0.01$)에서 남자가 여자에 비하여 유의하게 높았다.

성 성숙 정도와 요추 및 대퇴경부 각각의 골밀도와의 상관정도는 남자의 경우 $0.76^{***}(0.30^{**})$, $0.73^{***}(0.25^*)$ 이었고, 여자의 경우 $0.84^{***}(0.51^{***})$, $0.55^{***}(0.39^{***})$ 이었다. 연령을 통제(팔호안의 숫자)한 후에도 골밀도와 성성숙도 사이에는 유의한 상관이 있었다.

성 성숙 정도와 골밀도와의 회귀분석 결과 남자의 경우 요추부의 골밀도는 $R^2=0.57$ 로 $y=0.133202 \times TS + 0.522498$, 대퇴경부의 골밀도는 $R^2=0.53$ 으로 $y=0.091364 \times TS + 0.660273$ 으로 추정되었다. 여자의 경우 요추부의 골밀도는 $R^2=0.70$ 으로 $y=0.125351 \times TS + 0.576167$, 대퇴경부의 골밀도는 $R^2=0.30$ 으로

$y=0.061909 \times TS + 0.640790$ 으로 추정되었다. 골밀도와의 회귀분석 결과 adjusted R^2 은 남자의 경우 성 성숙 정도에서보다 연령과의 관계에서 다소 높았으나, 여자의 경우는 연령에서보다 성 성숙 정도와의 관계에서 더 높았다.

4) 남녀 두군에 있어서 요추부 및 대퇴경부의 골밀도는 연령을 통제한 후에도 골밀도와 신체계측 지수 사이에는 대체로 유의한 상관이 있었으며 특히 제지방량이 다른 신체계측 지수들에 비하여 상관도가 높았다($p < 0.05 \sim p < 0.001$).

5) 요추부의 골밀도에 대한 연령과 성 성숙 정도를 비롯한 여러 신체계측 지수들의 다중회귀 분석 결과 남자는 $R^2=0.74$ 로 제지방량($p < 0.001$)만이 유의한 변수였으나, 여자는 $R^2=0.77$ 로 성 성숙도($p < 0.001$), 키($p < 0.01$), 엉덩이 둘레($p < 0.05$)가 유의한 변수로 선정되었다. 한편 대퇴경부의 경우 남자군에서는 $R^2=0.70$ 으로 제지방량($p < 0.001$)만이 유의한 변수였으나, 여자군에서는 $R^2=0.50$ 으로 체중($p < 0.001$)이 유의한 변수로 선정되었다.

결론: 요추부와 대퇴경부의 골밀도가 TS1에서 TS5로 성 성숙도가 변화함에 따라 골밀도의 유의한 증가가 있었고, tanner stage에 따른 남녀 사이의 골밀도 변화에도 유의한 차이가 있었으며 요추부에서는 여자의 골밀도가 남자에 비하여 유의하게 높거나 높은 경향을 보였으며, 대퇴경부에서는 오히려 남자가 여자에 비하여 골밀도가 유의하게 높거나 높은 경향을 보였으므로 성장기의 골밀도 증가는 성 성숙도, 성별 그리고 부위에 따라 다양한 양상을 보이는 것 같다. 또한 남녀 모두 신체계측 지수와 골밀도는 밀접한 관련이 있었다.

참 고 문 헌

- Christiansen C, Krabbe S, Rodbro P: *Effect of puberty on rates of bone growth and mineralization*. Arch Dis Child 54:950-953, 1979
- Landin L, Nilsson BE: *Forearm bone mineral content in children*. Acta Paediatr Scand 70:919-923, 1981
- Delmas PD, Glastre C, Braillon P, David L,

- Cochat P, Meunnier PJ: *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 70:1330-1333, 1990
- Tanner JM: *Growth at adolescence*. 2nd ed Oxford; Blackwell, 1962
- Consensus development conference: *Prophylaxis and treatment of osteoporosis*. Br Med J 295: 914-915, 1987
- Miller JZ, Slemenda CW, Meaney FJ, Reister TK, Hui S, Johnston CC: *The relationship of bone mineral density and anthropometric variables in healthy male and female children*. Bone Miner 14:137-152, 1991
- 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 53:7-12, 1993
- Grimston SK, Morrison K, Harder JA, Hanley DA: *Bone mineral density during puberty in western Canadian children*. Bone Miner 19:85-96, 1992
- Sandler RB, Slemenda CW, Laporte RE, Cauley JA, Schramm MM, Barresi ML, Kriska AM: *Postmenopausal bone density and milk consumption in childhood and adolescence*. Am J Clin Nutr 42:270-274, 1985
- Christian JC, Yu PL, Slemenda CW, Johnston CC, Jr: *Heritability of bone mass: a longitudinal study in aging male twins*. Am J Hum Genet 44: 429-433, 1989
- Halioya L, Anderson JB: *Lifetime calcium intake and physical activity habits; independent and combined effects on the radial bone of healthy premenopausal caucasian women*. Am J Clin Nutr 49:534-541, 1989

12. Bonjour JP, Theintz G, Buchs B, Slosman D, Rizzoli R: *Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence.* *J Clin Endocrinol Metab* 73:555-563, 1991
13. Gilsanz V, Gibbens DT, Carlson M, Boechat MI, Cann CE, Schulz EE: *Peak trabecular vertebral density: a comparison of adolescent and adult females.* *Calcif Tissue Int* 43:260-263, 1988
14. Kroger H, Kotaniemi A, Vainio P, Alhava E: *Bone densitometry of the spine and femur in children by dual energy x-ray absorptiometry.* *Bone Miner* 17:75-85, 1992
15. McCormick DP, Ponder W, Fawcett HD, Palmer JL: *Spinal bone mineral bone density in 335 normal and obese children and adolescents:* evidence for ethnic and sex differences. *J Bone Miner Res* 6:507-513, 1991
16. Gorden CI, Halton JM, Atkinson SA: *The contributions of growth and puberty to peak bone mass.* *Growth Dev Aging* 55:257-262, 1991
17. Doyle FJ, Brown J, LaChance C: *Relation between bone mass and muscle weight.* *Lancet* I:391-393, 1970
18. Oldland LM, Mason RL, Alexeff AL: *Bone density and dietary findings of 409 Tennessee subjects.* *Am J Clin Nutr* 25:905-911, 1972
19. Eyberg CJ, Pettifor JM, Moodley G: *Dietary calcium intake in rural south african children. The relationship between calcium intake and calcium nutritional status.* *Human Nutr Clin Nutr* 40:69-74, 1986