

식이 내 비타민 D 강화가 성장기 흰쥐의 골밀도에 미치는 영향

최 미 자[†] · 강 유 정

계명대학교 식품영양학과

Effects of Vitamin D Supplementation on Bone Mineral Density in Growing Rats

Mi-Ja Choi[†] and Yu-Jung Kang

Dept. of Food and Nutrition, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract

Modification of the diet during childhood and adolescence may be an effective strategy for maximizing the peak bone mass. Many supplementation studies have suggested a positive effect of the increased vitamin D intake on the bone mineral status in the elderly. However to date all studies have been conducted on old men and postmenopausal women. The aim of this study was to examine the effects of vitamin D supplementation on the bone mineral density and bone mineral content in growing rats. Twenty Sprague-Dawley female rats were divided into two groups; Control, and vitamin D supplementation. The bone mineral density(BMD) and bone mineral content(BMC) were measured using PIXImus in the spine and femur. Vitamin D supplementation did not affect the level of weight gain, mean food intake and food efficiency ratio. In addition, vitamin D supplementation had no added effect on the spine and femur BMD, and BMC. There were no significant differences in the spine BMD/weight and BMC/weight between the groups, but the spine BMD/weight and BMC/weight was 11% higher in the vitamin D supplementation group. The femur BMD/weight and femur BMC/weight were significantly higher in the vitamin D supplementation group 9 weeks after the experiment. These results provide evidence of the beneficial effects of vitamin D supplementation on the BMD during the growth period.

Key words : Vitamin D, bone mineral density(BMD), bone mineral content(BMC).

서 론

뼈는 활성, 용해, 역전, 형성의 단계를 반복하여 대사가 일어나는 조직으로, 골 형성(Bone formation)과 골 흡수(Bone resorption)가 균형을 이룰 때 골질량의 손실이 없다. 그러나 골 흡수가 골 형성보다 많으면 골 질량이 감소하게 된다. 일반적으로 골 질량(Bone mass)은 태어난 후 1년 동안 2배로 증가되고, 사춘기 동안 성인 골 질량의 37%가 축적된다. 성장기 이후 성인기인 30대 중반까지 조골세포의 활동이 왕성하여 골밀도는 최고치를 유지하다가 30대 중반 이후부터 파골세포의 활동이 왕성해져서 나이 증가와 함께 골밀도는 점점 감소하여 연령이 증가할수록 계속 골 손실이 일어나게 되며 골다공증(Osteoporosis)이 유발되면 척추 및 대퇴부의 골절을 쉽게 초래하게 된다. 우리나라의 경우 정확한 통계는 없으나 1998년 약 200만 명 정도의 골다공증 환자가 있고(Chang JS *et al* 2000), 폐경 여성에서 32%가 골다공증으로 보고하였다(Sung CJ *et al* 2001). 골다공증의 발생 빈도는 평균 수명이

증가하면서 계속 증가할 것으로 예상되며, 골다공증은 효과적인 치료 방법이 없기 때문에 성장기 동안 최대 골 질량을 극대화하고, 골 손실의 위험 인자를 줄이는 것이 최선의 예방이라 할 수 있다(Nieves JW 2005). 골 밀도에 영향을 미치는 인자는 유전 요인, 신체적 활동량, 호르몬, 환경 요인 등이 있는데 환경 요인 중 식이 요인은 골밀도 크게 관여한다(Feskanich D *et al* 2003, Sharkey JR *et al* 2003, Zittermann A 2003, Yu CH *et al* 1998). 골 밀도에 영향을 미치는 식이 요인 중 칼슘, 인, 단백질, 비타민 D, 비타민 C, 비타민 K, 락토오스 등이 보고되고 있으며, 이들 중 칼슘은 가장 많이 연구되었고, 많은 연구가 칼슘 섭취량은 골밀도와 양의 상관성이 있어 칼슘 섭취량이 부족하면 골다공증 유발 요인이 된다고 보고하였다(Newmark HL *et al* 2004, Zhu K *et al* 2006).

우리나라의 경우 2005년 한국인 영양 섭취 기준(Korean dietary reference intake: DRI)에서 성인 남자 1일 칼슘 권장 섭취량을 700 mg으로 제시하고 있으나(The Korean Nutrition Society 2005), 2001년 국민 건강·영양 조사에 의하면 전국 평균 1인 1일당 칼슘 섭취량은 511 mg으로 DRI에 훨씬 미치지 못하고 있으며, 과거 2000년 한국인 권장량(Recommended Die-

[†] Corresponding author : Mi-Ja Choi, Tel : +82-53-580-5874, Fax : +82-53-580-5885, E-mail : choimj@kmu.ac.kr

tary Allowances : RDA)에서 일일 칼슘 권장량인 700 mg의 75% 미만으로 섭취하는 비율이 64%이다(Ministry of Health and Welfare 2003). 따라서 골형성기에 칼슘의 섭취량을 높이기 위한 노력으로 청년기 경우 2000년 한국인 영양 권장량에서 13~15세 여성과 남성은 800 mg와 900 mg, 16~19세 여성과 남성은 700 mg와 900 mg에서 2005년 한국인 영양 섭취 기준에서는 12~19세 여성과 남성은 각각 900 mg과 1,000 mg으로 상향 조정하였다. 그러나 우리나라는 식생활의 변화로 과거 40년 동안 다른 영양소의 섭취량은 매우 많이 변화하였으나 칼슘의 섭취량은 거의 변화가 없어(Ministry of Health & Welfare 2003), 실제 DRI의 양에 만족되게 섭취하는 것은 매우 특별한 관심이 없이는 기대하기가 어려운 실정이다. 따라서 칼슘의 절대량의 섭취 증가도 중요하지만 칼슘 흡수를 높이는 방법으로 비타민 D 섭취에 동시에 관심을 가져 골다공증을 예방하는 것이 중요하다고 보고하였다(Mary RL *et al* 2004). 최근 미국과 캐나다에서 1997년 미국인과 캐나다인을 위한 영양 섭취 기준을 제시하면서 비타민 D 섭취량은 아직 과학적인 자료가 충분하지 못하다는 이유로 평균 필요량(average requirements: EAR)은 제시하지 않고 1989년의 과거 미국인 영양 권장량과 같은 양을 충분량(Adequate Intakes: AI)으로 제시하였다(Weaver CM & Fleet JC 2004). 우리나라의 경우도 2005년 한국인 영양 섭취 기준을 설정하면서 미국과 캐나다와 같이 비타민 D는 EAR의 제시는 없이 AI를 제시하였다.

비타민 D의 섭취량은 급원 식품이 다양하지 않고 식품 외에 피부로부터 합성되는 양도 포함되므로(Utiger RD 1998) 혈청 비타민 D₃를 측정하여 비타민 D의 섭취 상태를 판정한다. 이것은 비타민 D의 섭취량과 혈청 비타민 D₃ 간에 유의적인 양의 상관관계를 보여주어 혈청 비타민 D₃ 농도로 비타민 D 섭취량을 간접 측정할 수 있음을 보여주었다(Webb A *et al* 1990). 따라서 혈청 비타민 D₃를 측정하여 비타민 D의 섭취 상태를 판정한 결과 북경의 청소년들은 45.2%가 비타민 D의 섭취가 부족하다고 보고하였다(Xueqin D *et al* 2001). 그리고 북인도의 학동기 아동은 혈청 비타민 D 농도가 낮은 경우가 많았다고 보고하였고(Marwaha RK *et al* 2005), New Zealand 아동의 경우 비타민 D의 부족은 매우 흔하며 비타민 D 농도는 겨울이 여름보다 낮았고 여자 아이가 남자 아이보다 낮았다고 보고하였다(Rockell JE *et al* 2005). 보스톤의 경우 겨울철에 18세~29세의 젊은 성인의 경우 32%가 비타민 D가 불충분하다고 보고하여(Tangpricha V *et al* 2003) 비타민 D 섭취 부족에 대한 보고가 많이 있다. 또한 아동들에서 비타민 D의 강화는 혈청 비타민 D₃의 농도를 유의적으로 증가시켰고 PTH 농도를 유의적으로 감소시켰으며 연구 대상자의 31%의 아동이 겨울철은 혈청 비타민 D₃의 농도가 정상 기준치인 12 ng/mL 보다 낮았다고 보고하였다(Docio S *et al*

1998). 터키의 13~17세의 여자 청소년 39명을 대상으로 비타민 D의 섭취량을 분석한 결과 43.8%가 부족하게 섭취하고 있었고 21.3%는 비타민 D 부족 상태에 포함되었다. 또한 종교적인 이유로 몸을 감싸는 옷을 입는 경우 혈청 비타민 25(OH)D 농도가 몸을 감싸지 않은 경우에 비하여 유의적으로 낮았으며 이런 경우 비타민 D의 부족이 50%로 보고되었다(Hatun S *et al* 2005). 혈청 비타민 D₃ 농도는 골 건강과 직접적인 양의 상관성이 있다고 보고하여(Jones G & Dwyer T 1998) 혈청 비타민 D₃의 농도를 적정하게 유지하는 것은 매우 중요하며 비타민 D의 적정 섭취 혹은 강화는 골 형성에 매우 중요한 것으로 판단된다.

비타민 D 강화가 골밀도에 미치는 효과에 대한 연구는 대부분 폐경 여성이나 노인들을 대상으로 많이 이루어졌는데(Cooper L *et al* 2003, Semba RD 2000), 칼슘의 섭취가 부족한 경우 비타민 D를 강화하면 골 감소가 지연되었고, 칼슘의 섭취가 적당한 경우라도 비타민 D를 강화하였을 때 골 대사에 긍정적인 효과를 나타내었다는 보고가 있다(Cooper L *et al* 2003). 또한 Avila MH *et al*(1993)은 폐경 전 여성에서 칼슘과 비타민 D 섭취량과 골밀도에 유의적으로 양의 상관성이 있다고 하였다. Adams JS *et al*(1999)은 골다공증 환자를 대상으로 비타민 D의 첨가시 혈청 PTH 농도를 낮추었고, 척추 및 대퇴골 밀도가 4~5% 증가되었다고 보고하였다.

성장기 아동이나 사춘기를 대상으로 비타민 D가 골밀도에 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않다. Fehily AM *et al* (1992)은 성장기의 우유 및 유제품의 섭취는 칼슘뿐만 아니라 비타민 D 강화 식품으로서 주요 급원이 되므로 우유 및 유제품의 섭취가 골질량 보유에 큰 역할을 한다고 하였다. 영아의 경우, 비타민 D 보충 조제유를 수유 받은 영아의 골질량은 보충 받지 않은 영아의 골질량보다 높다고 보고하였고(Greer FR *et al* 1982), Fehily AM *et al*(1992)은 젊은 성인에서 체중, 신체 활동량, 칼슘과 비타민 D의 섭취량이 높을 때 이들의 골 밀도가 증가될 수 있다고 하였다. 최근 171명의 건강한 Finnish 성장기 여자를 대상으로 비타민 D의 섭취량을 혈청 비타민 D를 측정하여 골 밀도를 비교한 결과(Lehtonen-Veromaa MKM *et al* 2002), 척추 골 밀도는 비타민 D 섭취 상위 20%군이 하위 20%군보다 27%로 유의적으로 높아 비타민 D의 섭취는 성장기 최대 골 밀도 형성에 매우 중요함을 시사하였다. Finland의 청소년기의 여자를 대상으로 혈청 25(OH)D와 골밀도와의 관계를 연구한 결과 13.5%의 대상자가 비타민 D 부족이었고, 혈청 비타민 25(OH)D가 낮은 경우 손목 관절의 골 밀도가 유의적으로 낮았다고 보고하였다(Outila TA *et al* 2001). 인도의 건강한 10~18세의 청소년을 대상으로 비타민 D의 섭취와 골 밀도와의 관계를 본 결과 비타민 D 결핍자의 비율이 10.8%였고, 사회 경제적 수준이 낮은 학

교에 다니는 학생보다 사회 경제적 수준이 높은 학교에 다니는 학생이 혈청 비타민 D의 농도와 손목 관절의 골밀도가 유의적으로 높았다고 보고하였다(Marwaha RK *et al* 2005). 10~12세의 아동 193명을 대상으로 비타민 D와 골밀도와의 관계를 본 결과 비타민 D가 부족한 아동은 cortical 골밀도가 낮은 반면 혈중 iPTH 농도가 높았다고 보고하였다(Cheng S *et al* 2003).

이처럼 골 형성에 최대 골 밀도 형성을 위하여 비타민 D 강화는 중요 인자로 인정되고 있고(Marjo KM *et al* 2002, Marwaha RK *et al* 2005), 최근 유럽에서는 성장기 아동들에게 비타민 D의 섭취가 부족되지 않도록 비타민 D 강화 수준에 대하여 연구가 행해지고 있으나(Tylavsky FA 2006) 실제 아동이나 청소년을 대상으로 비타민 D 강화가 골 밀도에 미치는 효과에 대한 연구로 직접 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 성장기의 최대 골 질량을 높이는 요인 중 하나인 비타민 D 강화가 골격 대사에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 의의가 있다고 사료되며, 또한 골 대사에 미치는 효과를 측정하는 방법으로 직접 골 밀도를 측정하는 것이 가장 바람직하다고 보고되고 있다. 따라서 본 연구는 성장기 흰쥐를 대상으로 비타민 D를 강화하여 직접 골 밀도와 골 함량을 측정하여 그 효과를 알아보고자 하였다.

연구 방법 및 내용

1. 실험 동물 및 실험 식이

1) 실험 동물 설계

실험 동물은 3주령의 Sprague-Dawley 성장기 암컷 흰쥐 20마리를 사용했으며 1주간 적응 기간을 둔 후 2군으로 임의 배치하여 9주간 실험 식이를 공급하여 사육하였다. 실험 동물은 9주 동안 stainless-steel wire cage에서 한 마리씩 분리하여 사육하였다. 사육실의 온도는 22±2 ℃, 습도는 63±5%로 유지하며, 매일 광주기, 암주기를 12시간씩 교차 주기로 자동 조절하여 이용하여 사육하였다.

2) 실험 식이

실험 기간 동안 실험 동물은 식이와 물은 자유롭게 섭취할 수 있으며, 이때 물은 모두 2차 이온 교환수를 사용하였다. 실험 식이는 AIN-93G의 기본 조성에 기준하여 비타민 D 첨가 여부에 따라 대조군과 실험(250% 비타민 D 강화)군 강화 식이로 나누어 실험하였다. 이 때 실험군의 vitamin mixture는 동일하게 사용하고 실험군에는 비타민 D₃(cholecalciferol)는 250%를 강화하여 사용하였는데, 비타민 D₃(cholecalciferol) 강화량은 인간을 대상으로 비타민 D의 허용량(no

observed adverse effect leve: NOAEL)을 건강한 성인의 경우 기준 섭취량의 1,000%를 참고하여(Connie MW & James CF 2004) 허용량의 범위에 있는 250%로 하였다.

2. 체중 및 식이 섭취량 측정

1) 체중

실험 동물의 체중은 실험 식이를 시작한 날을 기준으로, 1주일 단위로 일정한 시간에 체중을 측정하였다.

2) 식이 섭취량 및 식이 효율(FER)

실험 식이 섭취량은 이틀에 한번 씩 일정한 시간을 가지고 측정하였다. 식이 효율(FER)은 식이 섭취량(g)을 체중 증가량(g)으로 나누어 계산하였다.

3. 골밀도 측정

9주간 사육한 흰쥐는 에테르로 마취시킨 후 LUNAR사의 mouse 전용 골 밀도 측정기인 PIXImus(#51038)를 이용하여 척추(spine)와 대퇴골(femur)의 골 밀도(Bone mineral density: BMD)와 골 무기질 함량(Bone mineral content: BMC)을 측정

Table 1. Composition of experimental diet

Ingredients	(g/100g diet)	
	Control diet	Vitamin D diet
Corn starch	39.7486	39.7486
Sucrose	10.0	10.0
Casein	20.0	20.0
α -Cellulose	5.0	5.0
Vitamin mixture ¹⁾	1.0	1.0
Mineral mixture ²⁾	3.5	3.5
Soybean oil	7.0	7.0
Choline	0.25	0.25
L-cystine	0.3	0.3
Vitamin D ₃ ³⁾	-	0.0005
Tert-butylhydroquinone	0.0014	0.0014

¹⁾ Vitamin Mixture : AIN-93G, supplied by U.S. Corning Laboratory Services Company, TEK1AD TEST DIETS, Madison, Wisconsin, Biological test, Material No 40070.

²⁾ Mineral mixture AIN-93G, supplied U.S. Corning Laboratory Services Company, TEK1AD TEST DIETS, Madison, Wisconsin, Biological test, Material No 170915.

³⁾ Vitamin D₃(cholecalciferol) : Sigma C-9756 [67-97-0] ECNO 200-673-2.

정하였다. 골 함량은 g으로 골 밀도는 g/cm²로 나타내었다.

4. 자료 처리 및 분석

이 연구의 실험 결과는 SAS package를 이용하여 각 실험 군과의 평균과 표준 오차를 계산하였으며, 실험군 간의 비교는 student's t-test로 분석하여 통계 처리하였다.

결과 및 고찰

1. 체 중

대조군과 실험군의 체중 변화를 Table 2에 나타내었다. 9주 후 실험군의 체중 변화는 대조군과 비교하였을 때 대조군이 높은 경향은 있지만, 실험군과의 유의적인 차이는 없었다.

2. 식이 섭취량 및 식이 효율

대조군과 실험군의 체중 증가량, 평균 식이 섭취량 및 식이효율은 Table 3에 나타내었다. 체중 증가량과 식이 섭취량은 대조군과 실험군 간의 유의적인 차이가 없었다. 식이 효율(FER)도 대조군과 실험군 간의 유의적인 차이가 없었다.

3. 척추의 골 밀도(Bone Mineral Density: BMD)

Table 4에 척추의 골 밀도(Bone Mineral Density: BMD)에 대한 결과를 나타내었다. 비타민 D 첨가군은 대조군과 비교하여 척추 골 밀도와 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그리고 척추 골 밀도/체중(kg)은 통계적 유의성은 없었으나 대조군이 0.5775 g/cm²인데 비해 실험군은 0.6363 g/cm²로 11%

높게 나타났다. 선행 연구에서 Adams JS *et al*(1999)은 비타민 D의 첨가 시 혈청 PTH 농도를 낮추었고, 척추와 대퇴골 밀도가 4~5% 증가되었다고 보고하였다. 또한 171명의 건강한 Finnish 성장기 여자(9~15 yr)를 대상으로 비타민 D의 섭취량을 혈청 비타민 D를 측정하여 골 밀도를 비교한 결과 (Lehtonen-Veromaa MKM *et al* 2002), 초추 골 밀도는 비타민 D섭취 상위 20%군이 하위 20%군보다 27%로 유의적으로($P = 0.016$) 높아 비타민 D의 섭취가 많을수록 성장기 최대 골 밀도 형성에 매우 중요함을 시사하였다. 또한 Finland의 청소년기의 여자를 대상으로 혈청 25(OH)D와 골 밀도와 의 관계를 연구한 결과 혈청 비타민 25(OH)D가 낮은 경우 손목관절의 골 밀도가 유의적으로 낮았다고 보고하였다(Outila TA *et al* 2001).

4. 척추의 골무기질 함량(Bone Mineral Content: BMC)

Table 5에 척추의 골 무기질 함량(Bone Mineral Content : BMC)에 대한 결과를 나타내었다. 척추 골 무기질 함량과 체중 당 척추 골 무기질 함량 모두 비타민 D 첨가군과 대조군 간에 유의적인 차이가 없었다.

이 연구 결과는 비타민 D를 첨가하여 실행한 동물 실험이나 청소년 대상으로 비타민 D를 보충하여 직접 골 밀도와 의 관계를 본 연구가 없어 직접 비교하기는 어려우나 혈청 비타민 25(OH)D 농도는 비타민 D 섭취량과 상관성이 매우 높아 혈청 비타민 25(OH)D 농도를 비타민 D 섭취량으로 간주할

Table 4. The effect of dietary vitamin D on spine body bone mineral density(BMD) and spine bone mineral density(BMD) per weight in rats

Variables	Control	Vitamin D	Significance
Spine BMD(g/cm ²)	0.1531±0.0094	0.1559±0.0064	NS. ¹⁾
Spine BMD(g/cm ²) /weight(kg)	0.5775±0.0587	0.6363±0.0496	

¹⁾ NS. : Not significantly different at $p < 0.05$ by students' t-test.

Table 2. The effect of dietary vitamin D on body weight change during experimental period

Variables	Control	Vitamin D	Significance
Beginning wt(g)	57.3± 1.9	56.3± 2.4	NS. ¹⁾
Final wt(g)	259.3±23.8	250.8±15.6	

¹⁾ NS. : Not significantly different at $p < 0.05$ by students' t-test.

Table 3. The effect of dietary vitamin D on weight gain, mean food intake and food efficiency ratio(FER) during experimental period

Variables	Control	Vitamin D	Significance
Weight gain(g)	202.0 ±21.9	189.5 ±13.2	NS. ¹⁾
Food intake(g/d)	15.64 ±0.98	16.55 ±1.03	
FER	0.229±0.02	0.212±0.01	

¹⁾ NS. : Not significantly different at $p < 0.05$ by students' t-test.

Table 5. The effect of dietary vitamin D on spine body bone mineral content(BMC) and total bone mineral content(BMC) per weight in rats

Variables	Control	Vitamin D	Significance
Spine BMC(g)	0.4830±0.0406	0.4566±0.0240	NS. ¹⁾
Spine BMC(g) /weight(kg)	1.819±0.1753	1.8640±0.1551	

¹⁾ NS. : Not significantly different at $p < 0.05$ by students' t-test.

때(Webb A *et al* 1990), 청소년에서 혈청 비타민 25(OH)D 농도와 골 밀도기로 골 밀도를 측정하여 혈청 비타민 D 농도와 척추 골밀도와의 관계를 본 결과 유의적인 양의 상관성이 없었다고 보고한 연구(Stein EM *et al* 2006)와 일치한다고 볼 수 있다.

5. 대퇴골의 골 밀도(BMD)

Table 6에 대퇴골의 골 밀도(BMD) 및 체중 당 대퇴골 골 밀도에 대한 결과를 나타내었다. 대퇴골 골 밀도에는 대조군과 유의적인 차이는 없었다. 그러나 대퇴골 골 밀도/체중(kg) 값에서는 대조군이 0.7625 g/cm²인데 비해 실험군이 0.8559 g/cm²로 대조군보다 실험군인 Vitamin D군이 통계적으로 유의적으로 높게 나타났다.

Finland의 청소년기의 여자를 대상으로 혈청 25(OH)D와 골 밀도와의 관계를 연구 한 결과 혈청 비타민 25(OH)D가 낮은 경우 손목 관절의 골 밀도가 유의적으로 낮았고(Outilla TA *et al* 2001), 인도의 건강한 10~18세의 청소년을 대상으로 비타민 D의 섭취와 골 밀도와의 관계를 본 결과 혈청 비타민 D의 농도와 손목 관절의 골 밀도가 유의적으로 높았다고 보고하였다(Marwaha RK *et al* 2005). 그러나 터키의 13~17세의 여자 청소년 39명을 대상으로 비타민 D의 섭취량을 분석한 결과 척추와 대퇴부의 골 밀도는 혈청 비타민 25(OH)D가 낮은 군과 높은 군 사이에 차이가 없었다고 보고(Hatun S *et al* 2005)하였는데 그 이유는 연구 대상자가 너무 작았기 때문으로 추정된다. 10~12세의 193명을 대상으로 비타민 D와 골 밀도와의 관계를 본 결과 비타민 D가 부족한 아동은 cortical 골 밀도가 낮았다고 보고하였다(Cheng S *et al* 2003).

6. 대퇴골의 골 무기질 함량(BMC)

Table 7에는 대퇴골의 골 무기질 함량(BMC) 및 골 무기질 함량(BMC)/체중(kg)에 대한 결과를 나타내었다. 대퇴골 골 무기질 함량은 실험군은 대조군과 유의적인 차이가 없었다. 그러나 대퇴골 골 무기질 함량/체중(kg)값이 대조군이 1.4699

g인데 비해 실험군은 1.6620 g으로 실험군이 약 11%로 유의적으로 높았다. 이것은 Fehily AM *et al*(1992)이 젊은 성인에서 체중, 신체 활동량, 칼슘과 비타민 D의 섭취량이 높을 때 이들의 골 밀도가 증가될 수 있다고 하였는데 이 연구에서는 칼슘의 섭취는 두 군 모두 충분하였고, 체중은 두 군 간에 유의적인 차이가 없었고, 신체 활동량은 같은 조건이므로, 비타민 D의 강화 식이만으로도 골밀도를 증가시킬 수 있다고 사료된다.

그러나 최근 연구는 혈청 25-hydroxyvitamin D 농도가 정상 범위에 있는 평균 연령 56세의 폐경 여성에서 1,000 mg/d의 칼슘 첨가 식이에 10,000 U 비타민 D₂/wk를 첨가한 경우 비타민 D의 첨가가 단독 칼슘 강화로 골 밀도에 유익한 것보다 더 유리한 것은 없다고 보고하여(Cooper L *et al* 2003) 충분한 비타민 D의 섭취 상태에서 충분한 칼슘의 강화와 동시에 비타민 D의 강화는 비타민 D의 강화로 인한 골 밀도에 유익함이 없다고 하였으나 본 연구 결과에서는 충분한 비타민과 칼슘 섭취 상태에서 비타민 D의 강화 식이는 최대 골 밀도 형성에 더 유리하리라 유추되어 비타민 D의 강화시기에 따라 다르게 나타나는지 추후 연구가 요망된다. 그리고 비타민 D의 첨가 효과는 칼슘의 섭취 상태에 따라 다르게 반응할 수 있으므로 칼슘의 섭취 상태에 따른 연구도 요망된다(Cooper L *et al* 2003).

요약 및 결론

비타민 D 첨가가 성장기 흰쥐에서 척추와 대퇴골의 골 밀도와 골 함량에 미치는 효과를 알아본 결과는 아래와 같다.

1. 비타민 D의 첨가는 총 체중 증가량과 식이 효율에는 영향을 미치지 않았다.
2. 척추 BMD, BMC는 비타민 D 첨가군과 대조군 사이에 유의적인 차이가 없었다.
3. 대퇴골 BMD, BMC는 비타민 D 첨가군과 대조군 사이에 유의적인 차이가 없었다.

Table 6. The effect of dietary vitamin D on femur body bone mineral density(BMD) and femur bone mineral density(BMD) per weight in rats

Variables	Control	Vitamin D	Significance
Femur BMD(g/cm ²)	0.2025±0.0090	0.2098±0.0076	NS. ¹⁾
Femur BMD(g/cm ²)/weight(kg)	0.7625±0.0466	0.8559±0.0505	* ²⁾

¹⁾ NS. : Not significantly different at *p*<0.05 by students' *t*-test.
²⁾ * : *p*<0.05.

Table 7. The effect of dietary vitamin D on femur body bone content(BMC) and femur bone mineral content(BMC) per weight in rats

Variables	Control	Vitamin D	Significance
Femur BMC(g)	0.3904±0.0254	0.4072±0.0209	NS. ¹⁾
Femur BMC(g)/weight(kg)	1.4699±0.1123	1.6620±0.1308	* ²⁾

¹⁾ NS. : Not significantly different at *p*<0.05 by students' *t*-test.
²⁾ * : *p*<0.05.

4. 척추 BMD/weight(kg)는 비타민 D 첨가군이 대조군에 비하여 통계적인 유의성은 없었으나 11% 높게 나타났다.

5. 대퇴골 BMD/weight(kg), BMC/weight(kg)는 비타민 D 첨가군이 대조군에 비하여 유의적으로 높게 나타났다. 따라서 성장기 쥐에서 칼슘 섭취가 적당한 경우 비타민 D 250% 강화 식이군은 대조군 식이군에 비하여 척추와 대퇴골의 골 밀도와 골 함량에서 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 체중 당 대퇴골의 골 밀도와 골 함량이 비타민 D 강화군이 유의적으로 높아 골 형성에 비타민 D의 강화는 유리할 수 있다고 추정이 되나 비타민 D의 섭취 수준과 칼슘의 섭취 수준에 따라 비타민 D 강화가 골대사에 미치는 영향은 다르리라 사료되므로 추후 연구가 요망된다.

문헌

- Adams JS, Kantorovich V, Wu C, Javanbakht M, Hollis BW (1999) Resolution of vitamin D insufficiency in osteopenic patients results in rapid recovery of bone mineral density. *J Clin Endocrinol Metab* 84: 2729-2730.
- Avila MH, Stampfer MJ (1993) Caffeine and other predictor of bone density among pre-and per-menopausal women. *Epidemiology* 4: 128-134.
- Chang JS, Moon SW, Jae JH (2000) The relationship between the variation of femoral neck-shaft angle according to age and the fracture of the hip. [abstract] *Korean Soc Bone Metabolism*, Spring.
- Cheng S, Tylavsky F, Kröger H, Kärkkäinen M, Lyytikäinen A, Koistinen A, Mahonen A, Alen M, Halleen J, Väänänen K, Lamberg-Allardt C (2003) Association of low 25-hydroxyvitamin D concentrations with elevated parathyroid hormone concentrations and low cortical bone density in early pubertal and prepubertal Finnish girls. *Am J Clin Nutr* 78: 485-492.
- Connie MW, James CF (2004) Vitamin D requirements: current and future. *Am J Clin Nutr* 80: 1735S-1739S.
- Cooper L, Clifton-Bligh PB, Nery ML, Figtree G, Twigg S, Hibbert E, Robinson BG (2003) Vitamin D supplementation and bone mineral density in early postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 77: 1324-1329.
- Dietary Reference Intakes for Koreans (2005) The Korean Nutrition Society.
- Docio S, Riancho JA, Perez A, Olmos JM, Amado JA, Gonzalez-Macias J (1998) Seasonal deficiency of vitamin D in children: a potential target for osteoporosis-preventing strategies? *J Bone Miner Res* 13: 544-548.
- Fehily AM, Cloes RJ, Evans WD, Elwood PC (1992) Factors affect in bone density in young adults. *Am J Clin Nutr* 56: 579-586.
- Feskanich D, Willett WC, Colditz GA (2003) Calcium, vitamin D, milk consumption, and hip fractures: a prospective study among postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 77: 504-511.
- Greer FR, Searcy JE, Levin RS (1982) Bone mineral content and serum 25-hydroxyvitamin D concentrations in breast-fed infants with and without supplemental vitamin D: one year follow-up. *J Pediatr* 100: 919-923.
- Hatun S, Ömer Islam O, Cizmecioglu F, Kara B, Babaoglu K, Berk F, Gökalp AS (2005) Subclinical vitamin D deficiency is increased in adolescent girls who wear concealing clothing. *J Nutr* 135: 218-222.
- Jones G, Dwyer T (1998) Bone mass in prepubertal children: gender differences and the role of physical activity and sunlight exposure. *J Clin Endocrinol Metab* 83: 4274-4279.
- Lehtonen-Veromaa MKM, Möttönen TT, Nuotio LO, Irjala KMA, Leino AE, Viikari JSA (2002) Vitamin D and attainment of peak bone mass among peripubertal Finnish girls: a 3-y prospective study. *Am J Clin Nutr* 76: 1446-1453.
- Marjo KM Lehtonen-Veromaa, Timo T Möttönen, Ilpo O Nuotio, Kerttu MA Irjala, Aila E Leino, Jorma SA Viikari (2002) Vitamin D and attainment of peak bone mass among peripubertal Finnish girls: a 3-y prospective study. *Am J Clin Nutr* 76: 1446-1453.
- Marwaha RK, Tandon N, Reddy D, Reddy HK, Aggarwal R, Singh R, Sawhney RC, Saluja B, Ganie MA, Singh S (2005) Vitamin D and bone mineral density status of healthy schoolchildren in northern India. *Am J Clin Nutr* 82: 477-482.
- Mary RL, Susan JW, David AH (2004) The Canadian health claim for calcium, vitamin D and osteoporosis. *J Am Col Nutr* 23: 303-308.
- Ministry of Health & Welfare (2003) Report on 2001 national health and nutrition survey. Ministry of Health & Welfare, Seoul. pp 182-192.
- Newmark HL, Heaney RP, Lachance PA (2004) Should calcium and vitamin D be added to the current enrichment program for cereal-grain products? *Am J Clin Nutr* 80: 264-270.
- Nieves JW (2005) Osteoporosis: the role of micronutrients. *Am J Clin Nutr* 81: 1232S-1239S.
- Outila TA, Karkkainen MU, Lamberg-Allardt CJ (2001) Vita-

- min D status affects serum parathyroid hormone concentrations during winter in female adolescents associations with forearm bone mineral density. *Am J Clin Nutr* 74: 106-210.
- Rockell JE, Green TJ, Skeaff CM, Whiting SJ, Taylor RW, Williams SM, Winsome R, Parnell WR, Scragg R, Wilson N, Schaaf D, Fitzgerald ED, Wohlers MW (2005) Season and ethnicity are determinants of serum 25-hydroxyvitamin D concentrations in New Zealand children aged 5~14 y. *J Nutr* 135: 2602-2608.
- Semba RD, Garrett E, Johnson BA, Guralnik JM, Linda PF (2000) Vitamin D deficiency among older women with and without disability. *Am J Clin Nutr* 72: 1529-1534.
- Sharkey JR, Giuliani C, Haines PS, Branch LG, Busby-Whitehead J, Namvar ZN (2003) Summary measure of dietary muscle skeletal nutrient (calcium, vitamin D, magnesium, and phosphorus) intakes is associated with lower-extremity physical performance in homebound elderly men and women. *Am J Clin Nutr* 77: 847-856.
- Stein EM, Laing EM, Hall DB, Hausman DB, Kimlin MG, Johnson MA, Modlesky CM, Wilson AR, Lewis RD (2006) Serum 25-hydroxyvitamin D concentrations in girls aged 4 - 8 y living in the southeastern United States. *Am J Clin Nutr* 83: 75-81.
- Sung CJ, Choi SH, Kim MH, Choi YH, Lee DH, Baek SK, Kim HK, Choi MK (2001) A study on nutritional status, maternal factors, and lifestyles according to BMD in rural postmenopausal women. *Korean J Community Nutr* 6: 192-204.
- Tangpricha V, Koutkia P, Rieke SM, Chen TC, Perez AA, Holick MF (2003) Fortification of orange juice with vitamin D: a novel approach for enhancing vitamin D nutritional health. *Am J Clin Nutr* 77: 1478-1483.
- The 7th Recommended Dietary Allowances for Koreans (2000) Korean Nutrition Society.
- Tylavsky FA, Lyytikäinen SCA, Viljakainen H, Lamberg-Allardt C (2006) Strategies to improve vitamin D status in Northern European children: Exploring the merits of vitamin D fortification and supplementation. *J Nutr* 136: 1130-1134.
- Utiger RD (1998) The need for more vitamin D. *N Engl J Med* 338: 828-829.
- Weaver CM, Fleet JC (2004) Vitamin D requirements: current and future. *Am J Clin Nutr* 80: 1735s-1739s.
- Webb A, Pilbeam C, Hanafin N, Holick MF (1990) An evaluation of the relative contributions of exposure to sunlight and of diet to the circulation concentrations of 25-hydroxyvitamin D in an elderly nursing home population in Boston. *Am J Clin Nutr* 51: 1075-1081.
- Xueqin D, Heather G, David RF, Keyou G, Angelika T, Yunzhao W (2001) Vitamin D deficiency and associated factor in adolescent girls in Beijing. *Am J Clin Nutr* 74: 494-500.
- Yu CH, Lee YS, Lee JS (1998) Some factors effect in bone density of Korean college women. *Korean J Nutr* 31: 36-45.
- Zhu K, Zhang Q, Foo LH, Trube A, Ma G, Hu X, Du X, Cowell CT, Fraser DR, Greenfield H (2006) Growth, bone mass and vitamin D status of Chinese adolescent girls 3y after withdrawal of milk supplementation. *Am J Clin Nutr* 83: 714-721.
- Zittermann A (2003) Serum 25-hydroxyvitamin D response to oral vitamin D intake in children. *Am J Clin Nutr* 78: 496-497.

(2006년 3월 29일 접수, 2006년 5월 9일 채택)