

탈지분유 함유 식이를 섭취하는 흰쥐에서 칼슘과 비타민 D 수준이 무기질 대사에 미치는 영향

이경민 · 이연주 · 원은숙* · †이상선
한양대학교 식품영양학과, *서울우유협동조합

The Effect of Dietary Calcium and Vitamin D Levels on Mineral Metabolism in Rats Fed a Diet Containing Powdered Skim Milk

Kyung-Min Lee, Yeon Joo Lee, Eun-Sook Won* and †Sang Sun Lee

Dept. of Food & Nutrition, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*Seoul Milk Cooperative, Seoul 131-861, Korea

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of calcium (Ca) and vitamin D (vit. D) levels on metabolism of various minerals such as Ca, P, Mg, Fe, Zn, Cu, and Cr. The comparison was made on the rats that were placed on diet containing powdered skim milk with different Ca and vit. D levels for 5 weeks. A total of 42 5-week-old Sprague-Dawley rats were divided into 7 groups as follows: Control group consisted of normal Ca and normal vit. D (0.5% Ca, 1,000 IU vit. D); Experimental groups were divided into low (0.25%) and high (1.0%) calcium levels; and vit. D group was divided into low (10 IU), normal (1,000 IU), and high (5,000 IU) subgroups. The weight gain and food efficiency ratios of the rats were not significantly different with increasing dietary Ca levels. The absorption rates of 7 minerals (Ca, P, Mg, Fe, Zn, Cu, and Cr) were significantly decreased with increasing dietary Ca levels. Also, fecal excretion of P significantly increased with increasing dietary vit. D levels ($p < 0.05$), and urine excretion of Fe was significantly increased with increasing dietary vit. D levels ($p < 0.001$). The result indicated that higher Ca intake affected on bioavailability of other minerals, due to interactions among minerals in the process of intestinal absorption. However, vitamin D intake had no effect on bioavailability of several minerals. Therefore, it could be suggested that adequate Ca intake is important for balance of the minerals.

Key words: calcium, vitamin D, mineral metabolism, absorption rates

서론

칼슘은 뼈를 구성하고, 근육 및 신경의 기능조절, 혈액 응고 등 체내대사 및 생리조절을 담당하는 필수 영양소(Kim 등 2006)이나 한국인의 칼슘 섭취 수준은 낮은 편이다. 현재 12~18세 한국 청소년의 1일 칼슘 권장량은 남자 900~1,000 mg, 여자 800~900 mg이며(The Korean Nutrition Society[KNS]. 2010), 2010년 국민건강영양조사 보고서에 의하면 청소년의

평균 섭취비율은 57.9%이었다(Korea Centers for Disease Control and Prevention[KCDC] 2011). 연령과 상관없이 만 1세 이상 모든 군에서 칼슘의 섭취량은 남자는 권장섭취량의 78.8%, 여자는 권장섭취량의 69.0%로 섭취하여 다른 필수 영양소에 비해 매우 낮은 비율로 섭취하고 있다(KCDC 2011). Im 등(2013)의 국민건강영양조사 연구 결과에 의하면 청소년의 75%(남자 71.6%, 여자 79.1%)가 권장섭취 수준보다 칼슘을 부족하게 섭취하는 것으로 조사되었다. 그러나 건강기능식품의 보

† Corresponding author: Sang Sun Lee, Dept. of Food & Nutrition, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea. Tel: +82-2-2220-1206, Fax: +82-2-2220-1856, E-mail: leess@hanyang.ac.kr

급으로 아동 및 청소년의 칼슘 보충제 섭취도 증가하고 있으며, Kim 등(2010)의 연구에 의하면 무기질 영양보충제 중 칼슘의 선호율이 66.4%로 가장 높은 것으로 조사되었다. 칼슘의 흡수율은 칼슘의 섭취량과 흡수율에 미치는 기타 영양소에 영향을 받을 수 있으며, 또한 칼슘의 과잉 섭취 또한 다른 미량영양소의 흡수를 저해할 수도 있어서 본 연구에서는 칼슘과 기타 무기질 간의 작용에 대해 살펴본 다른 연구들과 차별화하여 칼슘과 비타민 D 수준에 따른 칼슘 및 기타 무기질의 흡수율에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

칼슘의 주요 급원식품으로는 채소류에 이어 유제품류가 두 번째로 높은 식품군이다(KCDC 2011). 칼슘은 급원식품을 통해 공급받는 것이 가장 좋지만, 식습관이나 환경 등 여러 이유로 식사로부터 필요한 칼슘을 충분히 섭취하지 못하기도 한다. 그러므로 독일과 미국 등에서는 칼슘이 강화되는 식품군이 해마다 꾸준히 증가하고 있으며, 최근에는 국내에서도 다양한 칼슘 강화식품이나 칼슘 보충제(Chang SO 1998)가 시판되고 있다. 칼슘은 성인에서 흡수율이 30% 이하이므로 섭취하는 칼슘의 양과 체내 이용효율이 칼슘의 급원으로서 아주 중요한 결정요인이 된다. 칼슘의 흡수율은 Ca:P가 1~2:1 일 때 가장 높는데, 우유의 유청칼슘은 칼슘과 인의 비율이 2:1로 적절하게 함유되어 있어서 calcium carbonate 보다 흡수율이 높아 권장섭취량을 충족시키기에 좋은 칼슘 보급원으로 여겨진다(Avioli LV 1988). 칼슘의 섭취량에 따른 다른 무기질의 이용에 관한 연구 보고에 의하면, 칼슘의 섭취가 증가하면 Fe, Zn, Cu 등 다른 무기질의 흡수를 감소시킨다고 보고하고 있다(Barton 등 1983; Dursun & Aydoğan 1994; Gleerup 등 1995; Wood & Zheng 1997; Nam 등 1998; Chang 등 2004; Roughead 등 2005). 그러나 칼슘과 비타민 D의 각기 다른 섭취 수준이 기타 무기질의 이용에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 상태이다.

비타민 D는 칼슘의 항상성을 유지하여 뼈 대사에 관여하며, 미성숙세포가 성숙세포로 분화하는 데에도 필요한 필수 영양소이다. 비타민 D는 자외선에 의한 피부에서의 합성이 중요하지만, 현대인들은 실내에서 생활하거나 자외선 차단제를 바르는 경우가 많아지면서 식사를 통하여 비타민 D를 섭취하는 것이 중요해졌다(Clemens 등 1982; Kim 등 2010). 비타민 D의 부족 증상으로는 혈액의 칼슘과 인의 농도가 낮아져 골연화증을 유발할 수 있고, 저 칼슘혈증, 고혈압 등이 나타날 수 있다는 연구(Li 등 2004)가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 단백질 원료인 탈지분유와 칼슘 원료인 유청칼슘을 사용하여 식이를 조제하였으며, 칼슘 및 비타민 D의 섭취 수준을 달리하여 흰쥐의 체내 다량무기질인 Ca, P, Mg과 미량무기질인 Fe, Zn, Cu, Cr의 대사에 미치는 영향을

살펴보고자 하였다.

재료 및 연구방법

1. 실험동물 및 식이

본 동물실험은 한양대학교 동물실험윤리위원회의 심의를 받아 한양대학교 실험동물실에서 시행하였다(HY-IACUC-12-053A). 실험동물은 (주)오리엔트바이오에 의뢰하여 출생시부터 동일한 환경에서 사육된 생후 5주된 Sprague-Dawley Rat (SD-rat) 수컷 42마리를 사용하였다. 실험동물은 본 실험에 들어가기 전 7일 간 일정 조건에서 적응시킨 후, 이들을 체중에 따라 난괴법을 이용하여 7군으로 나누었고, 두 마리씩 IVC-rack(Individual Ventilated Cages)에서 총 5주간 사육하였으며, 물과 식이는 제한 없이 먹을 수 있도록 하였다. 동물 사육실은 온도 22±2℃, 상대습도 45±5% 내외로 유지시켰으며, light cycle 은 12시간 주기로 하였다. 식이 섭취량은 이틀에 한번씩 일정한 시각에 측정하였고, 체중은 주 1회 같은 시각에 측정하였다.

본 연구에 사용한 식이는 기본적으로 AIN-93G를 참고하여 조제하였다. 칼슘의 공급수준은 대조군(control, CON) 0.5%, low calcium(LC)군 0.25%, high calcium(HC)군 1.0%였고, 비타민 D의 공급수준은 normal vitamin D(ND)군이 1,000 IU, low vitamin D(LD)군이 10 IU, high vitamin D(HD)군이 5,000 IU 였다(Table 1).

AIN-93G 식이에 탈지분유를 각 군에 230 g씩 첨가하였고, 탈지분유의 조성에 따라 실험식이의 성분을 조절하고, 혼합물의 함량을 동일하게 하기 위하여 casein 85 g, corn starch 25 g, maltodextrin 20 g, sucrose 100 g을 제거하였다. 탈지분유 100 g에 함유되어 있는 영양소는 탄수화물 2.5 g, 유당 49 g, 단백질 35 g, 지방 1 g, Ca 1.1 g, K 1.2 g, P 1 g, Na 600 mg, 수분 4 g이 포함되어 있다. Mineral mixture에 사용된 Ca은 AIN-93G 식이에서 사용되는 calcium carbonate 대신에 유청칼슘을 사용하였으며, 유청칼슘 내에는 27%의 Ca과 13%의 P이 포함되어 있다. 즉, LC군의 mineral mixture에는 탈지분유에 함유되어 있는 Ca(2.5 g)으로 충분하기 때문에 유청칼슘을 첨가하지 않았으며, CON군의 mineral mixture에는 유청칼슘 9.3 g(Ca 2.5 g, P 1.2 g), HC군의 mineral mixture에는 유청칼슘 27.8 g(Ca 7.5 g, P 3.6 g)을 첨가하여 조제하였다.

2. 시료의 수집 및 분석

실험동물의 변과 뇨를 수집하기 위하여 사육한지 5주째에 24시간 동안 대사장(metabolic cage, Techniplast, Italy, Milano)에서 사육하였다. 수집한 변은 중량(wet weight)을 재고 -80℃

Table 1. Composition of experimental diets

(g/kg diet)

Ingredients ¹⁾	CON	LCLD	LCND	LCHD	HCLD	HCND	HCHD
Powdered skim milk	230	230	230	230	230	230	230
Casein	115	115	115	115	115	115	115
L-Cystine	3	3	3	3	3	3	3
Corn starch	372	372	372	372	372	372	372
Malto dextrin	112	112	112	112	112	112	112
Cellulose	50	50	50	50	50	50	50
Soybean oil	70	70	70	70	70	70	70
t-Butyl hydroquinone	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Mineral mixture	35	35	35	35	35	35	35
Vitamin mixture	10	10	10	10	10	10	10
Mineral components							
Total Ca	5	2.5	2.5	2.5	10	10	10
Whey Ca	2.5	0	0	0	7.5	7.5	7.5
Powdered skim milk	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Vitamin components							
Vit. D ₃ (IU)	1,000	10	1,000	5,000	10	1,000	5,000

¹⁾ Experimental diet were based on AIN-93G composition. The amount of casein 85 g, corn starch 25 g, maltodextrin 20 g, sucrose 100 g are removed from the diet to add powdered skim milk 230 g.

의 냉동고(Ilshin lab, Korea, Incheon)에 보관하였다가 분석에 사용하였다. 냉동 보관된 변은 상온에서 해동 후 80°C oven (Changshin science, Korea, Pocheon)에서 항량이 될 때까지 건조시켜 건 중량(dry weight)을 측정하였으며, 건조시킨 변 1 g 을 회분도가니에 담아 200~300°C로 예비회화를 한 후 600°C 전기회화로(Muffle furnace, Iklab MF-21G, Korea)에서 회화시켰다. 회화된 시료에 증류수 3 mL와 20 mL의 질산을 가하여 가열 용해하였으며, 100배 희석한 질산용액으로 100 mL 메스플라스크에 용해하여 무기질 함량 분석에 사용하였다. 수집한 뇨의 부패를 방지하기 위해 0.1% HCl과 toluene을 소량 넣은 채취병에 담아 잘 혼합하여 총량을 측정한 다음 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 그 상등액을 냉동보관하였다 (Kim & Im 1998). 냉동 보관하였던 뇨는 상온에서 해동 후 20 mL의 HNO₃-H₂SO₄(1:1) 용액을 이용한 습식분해법(Im JN 1986)에 의거하여 분해한 후 무기질 함량 분석에 사용하였다. 소변과 대변 시료의 무기질 정량은 한국기초과학지원연구소 (Korea, Kochang)에 의뢰하여 ICP(Inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer, Thermo scientific, Germany)를 이용해 수행하였으며, 표준물질로는 ICP 표준용액을 사용하였다.

무기질의 흡수율과 보유량은 다음 수식에 의해 산출하였다.

$$\text{무기질의 흡수율(\%)} = \frac{\text{무기질 섭취량} - \text{대변으로의 무기질 배설량}}{\text{무기질 섭취량}} \times 100$$

$$\text{무기질의 보유량(mg)} = \text{무기질 섭취량} - \text{대변과 소변으로의 무기질 배설량}$$

식이 1 g 내의 무기질 함량과 일일 평균 식이 섭취량을 이용하여 무기질 섭취량을 산출하고, 분변 1 g 내의 무기질 함량과 일일 평균 분변량을 이용하여 무기질 배설량을 산출하였다(Im JN 1986).

3. 자료의 통계처리

본 실험에서 얻어진 결과는 SPSS(Statistical package for social science 18.0) program을 이용하여 평균과 표준오차(mean± SE)로 제시하였다. 군 간 유의성은 $p < 0.05$ 수준에서 one-way ANOVA test 후 Duncan's multiple range test에 의해 사후검정하였다. 또한 칼슘과 비타민 D 수준에 따른 효과와 두 요인 간의 상호작용의 정도를 알아보기 위해 two-way ANOVA test를 사용하였다.

결 과

1. 체중 증가량, 사료 섭취량 및 식이 효율

실험군과 대조군의 체중 증가량, 사료 섭취량 및 식이 효율의 결과를 Table 2에 제시하였다. 칼슘의 섭취 수준은 체중, 체중 증가량, 식이 효율에 영향을 주었다. 체중은 CON군과 HC군에 비해 LC군에서 유의하게 높은 결과를 보였다($p<0.01$). 또한 체중 증가량에서도 같은 결과를 보였다($p<0.01$). 식이 효율에서도 칼슘에 의한 영향으로 HC군, CON군, LC군 순서로 높아지는 경향을 보였다($p<0.05$). 그러나 비타민 D에 의한 영향은 나타나지 않았다.

2. 칼슘과 비타민 D의 섭취 수준에 따른 무기질 섭취량

실험식을 제공한 후 실험 마지막 주인 5주에 수거한 대변과 소변을 통하여 다량무기질인 Ca, P, Mg과 미량무기질인 Fe, Zn, Cu, Cr의 배설량을 측정하였고, 각 군의 실험식이 내

무기질량을 산출하여, 각 군의 일일 Ca, P, Mg, Fe, Zn, Cu, Cr의 흡수율과 보유량을 도출하였다. 각 군의 무기질 섭취량의 결과를 Table 3에 제시하였다. 칼슘의 섭취량은 LC군, CON군, HC군의 순서로 유의하게 증가하였으나($p<0.001$), 기타 무기질의 섭취량에서는 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3. 칼슘과 비타민 D의 섭취 수준에 따른 대변 내 무기질 배설량

칼슘과 비타민 D 섭취 수준에 따른 대변 내 무기질 배설량을 이원분산분석하여 비교한 결과는 Table 4에 제시하였다. 각 군의 대변 내 모든 무기질 배설량은 칼슘의 섭취 수준에 의해 유의한 차이가 나타났으며($p<0.001$), 인과 마그네슘의 대변 내 배설량은 비타민 D 섭취 수준에 의해서도 유의한 차이가 나타났으며($p<0.05$, $p<0.001$). 또한 마그네슘의 대변 내 배

Table 2. Weight gain, food intake, FER in experimental rats fed various levels of calcium and vitamin D

	CON	LC			HC			P values ³⁾		
		LD	ND	HD	LD	ND	HD	Ca	Vit. D	Ca× Vit. D
Final weight (g)	439.5±7.0 ^{a1)2)}	470.6±7.4 ^b	481.8±22.2 ^b	495.8±18.2 ^b	454.6±9.6 ^a	454.0±11.8 ^a	445.3±12.8 ^a	0.009	0.841	0.450
Weight gain (g/day)	5.95±0.20 ^a	6.65±0.15 ^b	6.99±0.48 ^b	7.28±0.43 ^b	6.29±0.21 ^a	6.30±0.34 ^a	6.05±0.33 ^a	0.008	0.794	0.403
Food intake (g/day)	22.10±0.64	24.15±0.51	23.48±0.94	24.90±1.13	23.60±0.40	23.29±0.30	23.35±0.38	0.129	0.541	0.586
FER ⁴⁾	0.27±0.01 ^a	0.28±0.01 ^{ab}	0.30±0.02 ^b	0.30±0.01 ^b	0.27±0.01 ^a	0.27±0.01 ^a	0.26±0.02 ^a	0.034	0.451	0.474

Abbreviations: CON, control (Ca 0.5%); LC, low calcium (Ca 0.25%); HC, high calcium (Ca 1.0%); LD, low vitamin D (vit. D 10 IU); ND, normal vitamin D (vit. D 1,000 IU); HD, high vitamin D (vit. D 5,000 IU); FER, food efficiency ratio

¹⁾ Statistical significance was calculated by one-way ANOVA, ²⁾ Values are mean±S.E.

³⁾ P values by two-way ANOVA, ⁴⁾ Weight gain/food intake

Table 3. Mineral intakes of experimental rats fed various levels of calcium and vitamin D (mg/day)

	CON	LC			HC			P values ¹⁾		
		LD	ND	HD	LD	ND	HD	Ca	Vit. D	Ca× Vit. D
Ca	111.17±5.09 ^{b2)3)}	57.12±3.10 ^a	57.53±1.68 ^a	60.85±2.01 ^a	265.83±3.63 ^c	262.33±5.04 ^c	263.17±4.88 ^c	0.000	0.857	0.709
P	70.72±2.04	77.27±1.63	75.14±3.00	79.69±3.60	75.51±1.28	74.52±0.96	74.73±1.20	0.129	0.541	0.587
Mg	11.05±0.32	12.07±0.26	11.74±0.47	12.45±0.56	11.80±0.20	11.64±0.15	11.67±0.19	0.130	0.542	0.588
Fe	773.50±22.30	845.13±17.85	821.85±32.78	871.63±39.32	825.83±13.94	815.03±10.51	817.32±13.10	0.129	0.541	0.586
Zn	662.99±19.11	724.40±15.30	704.45±28.09	747.10±33.71	707.86±11.95	698.61±9.00	700.57±11.24	0.129	0.541	0.587
Cu	132.60±3.82	144.88±3.06	140.89±5.62	149.42±6.74	141.57±2.39	139.72±1.80	140.12±2.25	0.129	0.541	0.586
Cr	22.10±0.64	24.15±0.51	23.48±0.94	24.90±1.13	23.60±0.40	23.29±0.30	23.52±0.35	0.144	0.475	0.666

Abbreviations: CON, control (Ca 0.5%); LC, low calcium (Ca 0.25%); HC, high calcium (Ca 1.0%); LD, low vitamin D (vit. D 10 IU); ND, normal vitamin D (vit. D 1,000 IU); HD, high vitamin D (vit. D 5,000 IU)

¹⁾ P-value by two-way ANOVA, ²⁾ Values are mean±S.E.

³⁾ Values with different letters in the same row are significantly different at $p<0.05$ by one-way ANOVA with Duncan's multiple range test.

설량은 칼슘과 비타민 D의 상호작용에 의해서도 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$).

각 군간 대변 내 무기질의 배설량을 일원분산분석으로 비교한 결과, 칼슘의 대변 내 배설량은 LC군, CON군, HC군의 순서로 유의하게 증가하였고, LC군에 비해 HC 군의 대변 내 칼슘 배설량은 약 6배 증가하였다($p<0.05$). 뼈 대사와 관련이 있는 인과 마그네슘의 배설량 또한 LC군, CON군, HC군의 순서로 칼슘의 섭취 수준이 증가할수록 유의하게 증가하였으며, HC군에서 고 비타민 D를 섭취한 HD군의 인과 마그네슘의 배설량이 LD군과 ND군에 비해 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 미량 무기질인 철분, 아연, 구리의 배설량은 칼슘의 섭취량이 증가할수록 대변 내 배설량이 증가하였으며, 반면, 크롬은 칼슘의 섭취량이 가장 적은 LC군에서 가장 높았고,

HC군에서 가장 낮았다($p<0.05$). 또한 LC군에서 비타민 D 섭취 수준에 따른 배설량을 비교한 결과, 아연의 배설량은 HD군에서 유의하게 증가하였다($p<0.05$).

4. 칼슘과 비타민 D의 섭취 수준에 따른 소변 내 무기질 배설량

칼슘과 비타민 D 섭취 수준이 소변 내 무기질 배설량에 미치는 영향을 이원분산분석한 결과는 Table 5에 제시하였다. 칼슘 섭취 수준이 소변 내 모든 무기질의 배설량에 유의적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며($p<0.001$), 비타민 D의 섭취 수준에 의한 효과는 칼슘, 인, 철분에서 유의한 효과가 나타났다($p<0.001$, $p<0.01$, $p<0.001$). 또한 칼슘과 비타민 D의 상호작용에 대한 유의한 차이는 인, 철분, 크롬의 소변 내 배

Table 4. Fecal excretions of minerals in experimental rats fed various levels of calcium and vitamin D (mg/day)

CON	LC			HC			P values ¹⁾			
	LD	ND	HD	LD	ND	HD	Ca	Vit. D	Ca× Vit. D	
Ca	66.95±1.36 ^{b2)3)}	27.65±0.63 ^a	29.62±0.72 ^a	29.44±1.16 ^a	176.41±2.50 ^c	172.32±2.70 ^c	175.30±3.18 ^c	0.000	0.765	0.325
P	27.21±1.05 ^b	3.94±0.23 ^a	3.90±0.20 ^a	4.83±0.11 ^a	47.36±1.25 ^c	49.12±1.32 ^{cd}	52.47±2.36 ^d	0.000	0.048	0.223
Mg	5.38±0.44 ^b	3.86±0.24 ^a	3.23±0.12 ^a	3.22±0.05 ^a	6.64±0.23 ^c	6.76±0.23 ^c	7.85±1.16 ^d	0.000	0.000	0.000
Fe	416.38±11.67 ^c	323.52±6.89 ^b	289.28±7.08 ^a	306.68±4.80 ^{ab}	600.25±6.04 ^d	601.67±13.48 ^d	577.37±14.02 ^d	0.000	0.111	0.085
Zn	453.29±13.28 ^c	349.55±7.06 ^a	336.61±18.77 ^a	388.18±17.79 ^b	591.04±11.08 ^d	585.67±5.09 ^d	582.56±7.82 ^d	0.000	0.165	0.076
Cu	62.95±3.70 ^b	62.95±2.20 ^b	49.80±6.34 ^a	52.49±1.83 ^{ab}	88.05±1.68 ^c	87.01±4.55 ^c	89.82±2.88 ^c	0.000	0.751	0.999
Cr	3.06±0.37 ^{ab}	3.41±0.12 ^b	3.57±0.21 ^b	3.55±0.23 ^b	2.42±0.21 ^a	2.91±0.20 ^{ab}	2.96±0.26 ^{ab}	0.002	0.279	0.670

Abbreviations: CON, control (Ca 0.5%); LC, low calcium (Ca 0.25%); HC, high calcium (Ca 1.0%); LD, low vitamin D (vit. D 10 IU); ND, normal vitamin D (vit. D 1,000 IU); HD, high vitamin D (vit. D 5,000 IU)

¹⁾ P-value by two-way ANOVA, ²⁾ Values are mean±S.E.

³⁾ Values with different letters in the same row are significantly different at $p<0.05$ by one-way ANOVA with Duncan's multiple range test.

Table 5. Urinary excretions of minerals in experimental rats fed various levels of calcium and vitamin D (mg/day)

CON	LC			HC			P values ¹⁾			
	LD	ND	HD	LD	ND	HD	Ca	Vit. D	Ca× Vit. D	
Ca	0.36±0.09 ^{b2)3)}	0.21±0.06 ^a	0.37±0.29 ^b	0.51±0.31 ^{bc}	0.53±0.37 ^c	0.91±0.43 ^d	0.87±0.30 ^d	0.000	0.000	0.094
P	5.32±0.18 ^b	8.49±0.53 ^d	8.01±0.45 ^d	6.32±0.11 ^c	3.49±0.32 ^a	3.89±0.28 ^a	3.73±0.13 ^a	0.000	0.007	0.003
Mg	1.51±0.04 ^{cd}	1.58±0.03 ^d	1.70±0.06 ^d	1.58±0.07 ^d	1.21±0.11 ^b	1.10±0.25 ^b	0.74±0.06 ^a	0.000	0.062	0.127
Fe	10.98±0.35 ^b	6.98±0.28 ^a	7.78±0.12 ^a	10.12±0.38 ^b	11.12±0.34 ^b	10.43±0.28 ^b	18.28±0.83 ^c	0.001	0.000	0.000
Zn	9.89±1.80 ^a	8.85±1.52 ^a	11.52±0.83 ^a	9.28±0.77 ^a	20.34±0.66 ^b	18.55±1.33 ^b	19.11±1.51 ^b	0.000	0.804	0.223
Cu	3.18±0.41 ^a	3.11±0.45 ^a	2.93±0.41 ^a	2.89±0.10 ^a	3.89±0.08 ^{ab}	4.49±0.44 ^b	3.86±0.07 ^{ab}	0.001	0.594	0.476
Cr	11.01±0.27 ^b	8.70±0.28 ^a	8.82±0.13 ^a	10.35±0.22 ^b	18.10±0.69 ^d	16.72±0.50 ^c	17.07±0.33 ^{cd}	0.000	0.059	0.005

Abbreviations: CON, control (Ca 0.5%); LC, low calcium (Ca 0.25%); HC, high calcium (Ca 1.0%); LD, low vitamin D (vit. D 10 IU); ND, normal vitamin D (vit. D 1,000 IU); HD, high vitamin D (vit. D 5,000 IU)

¹⁾ P-value by two-way ANOVA, ²⁾ Values are mean±S.E.

³⁾ Values with different letters in the same row are significantly different at $p<0.05$ by one-way ANOVA with Duncan's multiple range test.

설량에서 나타났다($p<0.01$, $p<0.001$, $p<0.01$).

각 군간 소변 내 무기질의 배설량을 일원분산분석으로 비교한 결과, 칼슘의 배설량은 LCLD군에서 가장 낮았고, HCND군과 HCHD군에서 가장 높게 나타났었다($p<0.05$). 이는 비타민 D 섭취 수준이 칼슘의 항상성 기전에 영향을 미치는 결과로 보여진다. 그러나 인의 배설량은 대변 내 인의 배설량과는 다르게 HC군의 배설량이 가장 낮았고, LC군에서의 배설량이 가장 높게 나타났으며($p<0.05$), 마그네슘의 배설량은 칼슘의 섭취 수준이 낮은 LC군에서 유의하게 낮은 수준으로 배설되었다($p<0.05$). 미량 무기질인 철분, 아연, 구리, 크롬의 소변 내 무기질의 배설량은 고 칼슘을 섭취한 HC군에서 유의하게 높게 나타났으며, 특히 HCHD군의 철분 배설량이 다른 군에 비해 유의하게 높게 나타났었다($p<0.05$). 또한 철분 배설량은 저칼슘군인 LC군에서도 비타민 D 섭취량이 높은 HD군의 철분 배설량이 LD군과 ND에 비해 높게 나타나서, 철분의 배설량은 칼슘과 비타민 D의 영향을 받는 것으로 분석되었다.

5. 칼슘과 비타민 D의 섭취 수준에 따른 외견적 무기질 흡수율

칼슘과 비타민 D 섭취 수준이 무기질 흡수율에 미치는 영향을 일원분산분석한 결과는 Table 6에 제시하였다. 칼슘을 비롯한 모든 무기질의 흡수율은 칼슘의 섭취 수준에 의해 유의한 차이가 나타났으며($p<0.001$), 비타민 D 섭취 수준에 의한 영향은 인, 마그네슘, 크롬의 흡수율에서 유의하게 나타났었다($p<0.05$, $p<0.01$, $p<0.05$). 또한 칼슘과 비타민 D의 상호작용에 의한 효과는 마그네슘의 흡수율에서 유의하게 나타났었다($p<0.001$).

각 군의 무기질 흡수율을 비교한 결과, 칼슘의 흡수율은 LC군의 무기질 흡수율이 CON군과 HC군보다 유의하게 높

게 나타났으며($p<0.05$), 비타민 D 섭취 수준에 따른 군간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 인과 마그네슘의 흡수율은 LC군에서 유의하게 증가하였으며, HC군에서 비타민 D 섭취량의 영향을 분석한 결과에서 HD군의 인과 마그네슘의 흡수율이 LD군에 비해 유의하게 낮게 나타나서, 비타민 D의 섭취량이 영향을 주었음을 보여주었다($p<0.05$). 미량 무기질인 철분, 아연, 구리, 크롬의 흡수율은 칼슘 섭취량이 증가함에 따라 LC군, CON군, HC군의 순서로 유의하게 감소하였다($p<0.05$). 특히 LC군의 크롬의 흡수율은 LD군보다 HD군에서 유의하게 증가한 결과가 나타났으며($p<0.05$), 칼슘의 섭취가 낮을 때 비타민 D의 섭취가 크롬의 흡수율을 증가시키는 것으로 나타났었다.

6. 칼슘과 비타민 D의 섭취 수준에 따른 체내 무기질 보유량

무기질의 섭취량과 배설량으로 계산한 체내 무기질 보유량을 비교 분석한 결과는 Table 7에 제시하였다. 칼슘과 비타민 D 섭취량의 효과를 이원분산분석한 결과, 칼슘의 섭취 수준이 칼슘, 인, 마그네슘 등의 뼈 대사 관련 무기질의 보유량에 유의적인 효과가 나타났으며($p<0.001$), 이외 미량 무기질인 철분, 아연, 구리, 크롬의 보유량도 칼슘의 섭취 수준에 따라 유의한 영향을 받는 것으로 나타났었다($p<0.001$). 그러나 비타민 D 섭취 수준은 무기질의 체내 보유량에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

각 군간 무기질의 보유량을 비교 분석한 결과, 칼슘의 섭취량이 증가할수록 체내 칼슘의 보유량은 LC군, CON군, HC군의 순서로 유의하게 증가한 것으로 나타났으며($p<0.05$), 비타민 D 수준을 다르게 한 각 군간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 인과 마그네슘, 그리고 기타 미량 무기질인 철분, 아

Table 6. Mineral absorption rates of experimental rats fed various levels of calcium and vitamin D (mg/day)

	CON	LC			HC			P values ¹⁾		
		LD	ND	HD	LD	ND	HD	Ca	Vit. D	Ca× Vit. D
Ca	39.01±3.51 ^{a2)3)}	50.77±3.24 ^b	48.44±0.43 ^b	51.41±2.17 ^b	33.60±0.97 ^a	34.24±1.21 ^a	33.32±1.30 ^a	0.000	0.876	0.638
P	61.37±1.23 ^c	94.88±0.34 ^d	94.80±0.21 ^d	93.88±0.30 ^d	37.28±1.18 ^b	34.01±2.10 ^{ab}	29.75±3.05 ^a	0.000	0.043	0.152
Mg	50.93±4.50 ^c	68.03±1.89 ^d	72.42±0.64 ^d	73.83±1.40 ^d	43.80±1.30 ^b	41.9±2.15 ^b	32.73±1.36 ^a	0.000	0.003	0.000
Fe	45.90±2.40 ^b	61.62±1.23 ^c	64.63±1.07 ^c	64.37±2.11 ^c	27.25±1.08 ^a	26.15±1.65 ^a	29.30±1.69 ^a	0.000	0.364	0.430
Zn	31.26±3.20 ^b	51.69±1.00 ^c	52.27±1.54 ^c	48.02±0.96 ^c	16.47±1.27 ^a	16.12±0.88 ^a	16.72±1.94 ^a	0.000	0.498	0.337
Cu	52.15±3.47 ^b	64.94±1.59 ^c	65.14±3.16 ^c	64.77±0.69 ^c	37.80±0.65 ^a	37.82±2.70 ^a	35.81±2.37 ^a	0.000	0.854	0.913
Cr	50.03±1.75 ^b	56.98±1.60 ^c	62.09±1.80 ^{cd}	64.70±2.05 ^d	23.13±3.43 ^a	28.26±1.52 ^a	27.39±1.36 ^a	0.000	0.012	0.620

Abbreviations: CON, control (Ca 0.5%); LC, low calcium (Ca 0.25%); HC, high calcium (Ca 1.0%); LD, low vitamin D(vit. D 10 IU); ND, normal vitamin D (vit. D 1,000 IU); HD, high vitamin D (vit. D 5,000 IU)

¹⁾ P-value by two-way ANOVA, ²⁾ Values are mean±S.E.

³⁾ Values with different letters in the same row are significantly different at $p<0.05$ by one-way ANOVA with Duncan's multiple range test.

Table 7. Apparent retentions of minerals in experimental rats fed various levels of calcium and vitamin D (mg/day)

	CON	LC			HC			P values ¹⁾		
		LD	ND	HD	LD	ND	HD	Ca	Vit. D	Ca× Vit. D
Ca	43.83±5.90 ^{b2)3)}	29.22±3.09 ^a	27.52±0.99 ^a	30.88±2.15 ^a	88.90±3.33 ^c	89.10±4.51 ^c	86.97±4.60 ^c	0.000	0.978	0.768
P	38.19±2.48 ^b	64.84±1.93 ^c	63.24±2.73 ^c	68.55±3.64 ^c	24.65±1.00 ^a	21.51±1.75 ^a	18.53±2.31 ^a	0.000	0.614	0.101
Mg	5.16±0.63 ^b	7.63±0.27 ^c	6.81±0.36 ^c	7.65±0.74 ^c	2.95±0.19 ^a	2.79±0.35 ^a	3.09±0.21 ^a	0.000	0.319	0.690
Fe	346.10±29.02 ^b	514.65±19.88 ^c	524.82±28.51 ^c	554.83±41.84 ^c	214.52±12.06 ^a	202.95±14.82 ^a	221.68±15.48 ^a	0.000	0.548	0.801
Zn	199.81±28.18 ^b	366.00±14.05 ^c	356.31±16.39 ^c	349.65±19.60 ^c	96.47±10.17 ^a	94.39±6.77 ^a	98.90±15.53 ^a	0.000	0.908	0.858
Cu	66.46±6.41 ^b	91.03±3.57 ^c	88.15±3.19 ^c	94.04±5.22 ^c	49.63±1.35 ^a	48.23±3.50 ^a	46.44±3.75 ^a	0.000	0.843	0.619
Cr	8.04±0.61 ^b	10.39±0.70 ^c	11.09±0.89 ^{cd}	12.66±1.13 ^d	3.09±0.81 ^a	3.66±0.45 ^a	3.50±0.38 ^a	0.000	0.216	0.392

Abbreviations: CON, control (Ca 0.5%); LC, low calcium (Ca 0.25%); HC, high calcium (Ca 1.0%); LD, low vitamin D(vit. D 10 IU); ND, normal vitamin D (vit. D 1,000 IU); HD, high vitamin D (vit. D 5,000 IU)

¹⁾ P-value by two-way ANOVA, ²⁾ Values are mean±S.E.

³⁾ Values with different letters in the same row are significantly different at $p < 0.05$ by one-way ANOVA with Duncan's multiple range test.

연, 구리, 크롬의 보유량은 칼슘 섭취 수준이 증가함에 따라 LC군, CON군, HC군의 순으로 유의하게 감소($p < 0.05$)하여, 칼슘의 과잉 섭취는 기타 무기질의 체내 보유량 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 크롬의 비교 분석에서는 LC군의 HD군 크롬 보유량이 LD군 보다 유의하게 상승한 결과가 나타났다($p < 0.05$).

고 찰

본 연구에서는 칼슘과 비타민 D 섭취 수준에 따른 무기질의 흡수율과 보유량을 비교 분석하여, 칼슘과 비타민 D의 결핍 및 과잉 섭취로 인한 기타 무기질의 대사에 미치는 영향을 살펴보았다.

칼슘과 비타민 D의 수준에 따른 사료 섭취량은 군 간의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 칼슘 섭취 수준이 사료 섭취량에 미치는 영향에 대한 연구에서 Kwon & Kim(1988)은 100 g된 숫쥐에게 요구량의 20% 수준의 칼슘을 5주간 제공했을 때 사료 섭취량이 대조군과 유의한 차이가 없었다고 했으며, 고칼슘 섭취가 사료 섭취량에 미치는 영향에 대한 연구(Lee 등 1993)에서도 400일령의 숫쥐에게 3주 동안 요구량의 200%의 칼슘을 첨가해 공급했을 때 사료 섭취량은 대조군과 차이가 없었다고 하였다. 또한 Choi & Kang(2006)의 연구에서 3주령의 암컷 흰쥐에게 9주간 비타민 D 수준을 요구량의 100%와 250%의 차이를 주어 사료를 공급했을 때 식이 섭취량이 대조군과 실험군 간에 유의한 차이가 없었다고 하여 본 연구의 결과와 일치하고 있다. 체중증가량을 살펴보면, 쥐에서 성숙기라 할 수 있는 6주에서 11주까지의 기간 동안 HC군에서의 체중 증가는 CON군과 LC군보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$). 또한, 식이효율에서도 군 간의 차이가 유의하지

않았지만, 칼슘 수준으로만 보면 LC군, CON군, HC군의 순서로 식이효율이 낮아지는 결과를 보였다($p < 0.05$). 이 결과는 Miura 등(1999)의 연구에서 0.5% Ca를 섭취한 대조군에 비해 1.5% Ca를 섭취한 고칼슘군의 체중, 체중 증가량, 식이 효율이 유의하게 감소하였다는 결과와 일치하였다. 본 연구 결과, 대조군의 2배인 1.0%의 칼슘 섭취는 체중 감소에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 식이칼슘의 양이 증가하면 대사효율이 감소하고, 지방의 소실이 가속화되므로 체중에도 영향을 준다는 Shi 등(2001)의 연구결과와 같다.

LC군에서 칼슘의 흡수율이 높았던 이유는 HC군에 비해서 절대적인 식이 내 칼슘의 양이 적었기 때문으로 여겨지며, 칼슘의 섭취량에 따라 칼슘의 흡수율과 보유량 등은 달라진다. Benson 등(1969)은 칼슘 섭취량이 높아지면 내인성 칼슘의 재 흡수율이 저하되므로 대변을 통한 칼슘 배설이 증가할 가능성이 있다고 하였으며, Lee 등(1993)은 이유기 이후 암쥐에게 식이 요구량의 60%와 200%의 칼슘을 5일간 공급하는 실험을 실시했을 때 식이 내 칼슘의 증가는 대변과 소변의 칼슘 양을 유의하게 증가시켜 흡수율을 감소시켰다고 한다. 이상의 연구들에서 칼슘의 섭취량은 대소변 내 칼슘 배설량과 비례하고 칼슘 흡수율과는 반비례하는 것을 볼 수 있는데, 본 연구에서도 칼슘의 섭취량이 증가함에 따라 대소변 내 칼슘 배설량은 증가하고 흡수율은 감소하는 동일한 결과를 나타내었다. 또한, Sung CJ(1996)의 연구 보고에 의하면, 0.25% Ca 식이를 섭취한 저칼슘군과 1.0% Ca 식이를 섭취한 고칼슘군을 비교 분석한 결과, 식이 내 칼슘 섭취량이 증가할수록 대변과 소변 내 칼슘 배설량은 증가하여 흡수율은 감소하였고, 보유량은 증가하는 결과를 보여 본 연구 결과와 일치하였다. 칼슘의 원료로 calcium carbonate를 사용한 Lee 등(1993)의 연구에서 1.0% 고칼슘 식이를 섭취하였을 때 칼슘의 흡수율은

약 31.4%로 나타났고, 이에 비해 본 연구에서는 칼슘의 원료로 동일한 비율의 유청칼슘을 섭취하였을 때 칼슘의 흡수율은 약 34.2%로 나타난 것으로 보아 calcium carbonate 보다 유청칼슘을 이용한 본 연구의 흡수율이 약간 더 높은 것으로 나타났다.

Pike & Brown(1984)은 칼슘의 결핍으로 인한 부갑상선 호르몬 분비의 증가는 신장의 세뇨관에서 인의 재흡수를 감소시켜 소변 내 인의 양을 증가시킨다고 하였고, 쥐를 대상으로 한 선행의 연구(Hoek 등 1988; Lee 등 1993; Cockell 등 2002)에서는 식이 내 칼슘의 증가는 소변 내 인의 배설량을 감소시키고, 식이 내 칼슘의 감소는 인의 흡수율을 증가시킨다고 하였으며, 칼슘과 phytate를 첨가한 군에서 소변 내 인 배설의 증가는 칼슘 흡수량의 감소가 주된 원인일 것이라고 하였다. 본 연구 결과에서도 소변 내 인의 배설량은 식이 내 칼슘의 수준이 증가할수록 유의하게 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 위의 연구들과 동일한 결과를 보여 칼슘 흡수량과 인의 배설량은 반비례 관계임을 증명하는 결과이며, 저칼슘 섭취로 인한 뼈 대사의 이화작용과 PTH 호르몬 증가에 의한 배설량 증가로 사료된다.

Kaup 등(1990)의 연구들을 보면 무기질들이 수송되는 단계에서 경쟁적이며, 칼슘으로 인한 막 투과성이 변화되고, 특수 마그네슘 운반체의 변화 등으로 고칼슘의 섭취가 마그네슘의 흡수를 방해한다고 알려져 왔다. 그리고 Brink 등(1992)의 연구에서는 칼슘의 마그네슘 흡수 방해효과는 장관 내에서 불용성의 칼슘-인-마그네슘 복합체(Ca-P-Mg Complex)의 형성에 의해 나타나며, 식이 내 함유된 칼슘수준 및 인과 마그네슘의 비가 이에 영향을 미친다고 하였다. 10주 동안 식이 내 1.5%의 고칼슘을 섭취한 숫쥐에서 마그네슘의 이용이 감소하였다는 Miura 등(1999)의 연구결과와 비교하였을 때, 본 연구의 식이 내 1.0%의 칼슘을 섭취한 고칼슘군에서도 마그네슘의 이용이 감소한 것으로 보아 권장량의 2배의 칼슘을 섭취하는 경우, 마그네슘의 흡수를 방해하는 것으로 나타났다. 그리고 흰쥐에서 칼슘의 섭취가 증가하면 장내강에서 마그네슘의 용해가 감소하고, 결국 마그네슘의 흡수가 감소한다는 Brink 등(1992)의 연구결과와 같이 본 실험에서도 칼슘의 과다 섭취에 의하여 위에 보고된 기전으로 마그네슘의 이용이 감소한 것으로 사료된다.

Chapman & Campbell(1957)은 흰쥐의 식이 내 칼슘의 섭취 수준이 높을수록 소장에서 장 점막의 철 흡수를 떨어뜨리고 그로 인하여 철의 보유율이 감소한다고 하였다. 쥐를 대상으로 한 Wienk 등(1996)의 연구 외에 사람을 대상으로 한 Hallberg 등(1991)의 연구에서도 고칼슘 섭취로 철의 이용성이 감소되는 결과를 보였다. 또한, Nam 등(1998)의 연구에서는 고단백 저칼슘식이를 먹었을 때보다 고단백 고칼슘 식이를 먹었을

때 대변으로 손실되는 철분의 양이 40% 정도 증가되어 철분의 흡수가 저해되었다고 하였다. 위의 내용으로 보아 식이 내 칼슘의 섭취 수준은 철의 흡수 정도를 결정하는 중요한 요소가 될 수 있으며, 본 실험의 결과도 칼슘을 과다 섭취하는 것은 철의 흡수를 방해하여 배설되는 철분의 양이 증가하고, 이에 따라 체내 철의 보유량이 감소한다는 것을 입증하는 결과로 볼 수 있다. 그러나 Lori & Bess(1992)의 연구에서 하루에 1,000 mg의 칼슘 보충제를 섭취했을 경우, 철의 저장을 감소시키지 않았다는 결과와 하루에 섭취하는 칼슘의 양이 280~1,281 mg으로 범위가 넓어도 비혈형 철분이 흡수되는 데에는 칼슘의 섭취량이 어떠한 영향도 미치지 못했다는 Reddy & Cook(1997)의 연구결과로 보아 칼슘의 섭취 형태와 철분의 종류에 따른 흡수율에 미치는 영향은 향후 규명되리라 여겨진다.

아연의 흡수 감소는 식이 내 칼슘 수준이 증가함에 따라 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Festa 등 1985). 본 연구에서는 칼슘 보충이 장 내강에서의 아연 손실을 증가시켜 결국 아연의 흡수가 감소된다는 Wood & Zheng(1997)의 연구처럼 칼슘의 섭취 수준과 아연의 흡수율이 반비례하는 결과를 얻을 수 있었다. 사람을 대상으로 한 Nam 등(1998)의 연구에서도 고칼슘식이는 아연의 흡수량 및 평형을 낮춘다고 하였고, Dursun & Aydoğan(1994)의 연구에서도 고칼슘을 섭취했을 때 아연의 보유량이 유의하게 감소한 결과를 볼 수 있었다. 소변 내 아연의 양을 보면 사람을 대상으로 고칼슘 섭취를 했을 경우, Wood & Zheng(1997)의 결과와 같이 소변 내 아연은 식이에 의해 영향을 받지 않았다. 또한, 칼슘보충제로서 calcium carbonate의 흡수는 대조군과 비교하여 아연의 흡수를 유의하게 감소시켰다. 그러므로 식이나 보충제를 통한 칼슘의 섭취는 아연과 상호 경쟁적으로 작용하기 때문에 다량의 칼슘을 섭취했을 때, 아연의 흡수를 감소시키는 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 또한 칼슘과 아연은 흡수기전이 같아 경쟁적으로 흡수하지만 몇몇의 연구들(Alpers 등 1972; Song & Adham 1978)은 비타민 D와 zinc-binding ligand를 형성하는 프로스타글란딘 E와 같은 장에서 칼슘의 흡수를 돕는 다른 생화학물질에 의해 흡수율이 달라질 수 있다고 제안하였다. 하지만 본 연구에서 아연의 흡수율을 볼 때, 대조군의 5배의 비타민 D를 준 HD군과 대조군의 1/100배의 비타민 D를 준 LD군에서 차이가 없는 결과가 나온 것으로 보아, 비타민 D의 섭취 수준이 아연의 흡수에 도움을 주지 못한 것으로 사료된다.

구리는 체내에 흡수되는 과정에서 구리와 같은 2가 이온인 철분, 아연, 칼슘, 마그네슘, 망간 등의 무기질과 서로 영향을 준다(Mertz W 1986). 또한 사람을 대상으로 한 Choi 등(2001)의 연구를 보면, 대변 내 구리의 배설은 정상칼슘을 섭취했을 때보다 고칼슘 식사 시에 유의하게 증가함으로써 구

리의 외견적 흡수율과 체내 보유량이 유의하게 감소하였음을 알 수 있다. 본 연구에서 식이 내 구리 섭취량, 대변과 소변 내 구리의 배설량을 이용하여 산출한 구리의 흡수율과 보유량을 보면 칼슘과 비타민 D의 섭취 수준을 다르게 한 식이를 제공하였을 때 칼슘에만 영향을 받아 HC군에서 LC군보다 대변 내 구리의 배설이 유의하게 증가하였고, 이는 위의 연구들과 같은 결과가 나타난 것으로 보인다.

크롬의 흡수는 식이 중 아연의 섭취 수준과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다. Park HM(1998)의 연구에서 정상 쥐에게 아연 공급 수준을 증가시켰을 때 혈청 크롬 농도가 감소하는 결과가 나타났다. 이와 관련하여 다른 연구들에서는 아연의 공급에 따라 인슐린의 생성, 분비가 활성화되고, 근육과 지방세포에서 당의 이용이 활성화됨에 따라 인슐린과 인슐린 수용체 사이의 다리 역할을 크롬이 담당하기 때문에, 아연의 공급 수준과 혈청 크롬 농도는 반비례한다고 하였다(Mertz 등 1974; Ezaki O 1989). 아연의 수준을 일정하게 하고 칼슘 섭취 수준을 다르게 한 본 연구에서는 LC군에서 아연과 크롬의 흡수율 및 보유량이 증가하였으며, 반면 HC군에서는 CON군 보다 감소한 흡수율 및 보유량의 결과가 나타났다.

본 연구 결과, 칼슘의 섭취 수준에 따라 기타 무기질의 흡수율과 보유량에 유의한 차이가 나타났다. 저칼슘군에서는 분석한 모든 무기질의 흡수율과 보유량이 정상군과 고칼슘군보다 증가하였지만, 소변으로의 인과 마그네슘의 배설량이 증가하여 저칼슘 섭취로 인한 PTH 증가와 뼈 대사의 이화작용으로 인한 결과로 여겨지므로, 뼈 건강과 PTH의 항진을 예방하기 위하여 칼슘의 충분한 섭취가 이루어져야 할 것이다. 또한 고칼슘군에서 철분, 아연, 구리, 크롬 등의 미량 영양소의 흡수율과 보유량이 유의하게 감소하는 결과가 나타났으므로, 과잉의 칼슘 섭취보다는 적정 수준의 칼슘 섭취가 무기질 대사에 무엇보다도 중요하다고 사료된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 탈지분유와 유청칼슘을 이용하여 식이 내 칼슘과 비타민 D의 함유량에 차이를 주고 이 식이 섭취가 흰 쥐의 무기질대사에 미치는 영향을 알아보았다. 생후 5주된 Sprague-Dawley Rat 수컷 42마리를 난괴법을 이용하였으며, 적정 Ca-적정 vit. D인 대조군(0.5% Ca, vit. D 1,000 IU)과 저칼슘군(0.25% Ca)과 고칼슘군(1.0% Ca)에서 각각 vit. D의 수준을 10 IU, 1,000 IU, 5,000 IU로 달리하여 총 7군으로 나누었다. 실험동물들의 식이, 대변 및 소변을 분석하고, 그에 따라 다량무기질인 Ca, P, Mg과 미량무기질인 Fe, Zn, Cu, Cr의 대사 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 식이 섭취량은 각 군별 유의한 차이가 없었으며, 칼슘과

비타민 D에 의한 영향도 없었다. 칼슘의 섭취 수준이 높을수록 체중($p<0.01$), 체중증가량($p<0.01$), 식이효율($p<0.05$)이 유의하게 감소하는 결과를 나타냈다.

2. 무기질의 배설량을 비교한 결과, 칼슘의 섭취 수준이 증가할수록 대변 내 칼슘($p<0.001$), 인($p<0.001$), 마그네슘($p<0.001$), 철($p<0.001$), 아연($p<0.001$) 그리고 구리($p<0.001$)의 배설량이 증가하였고, 소변 내 칼슘($p<0.001$), 철($p<0.01$), 아연($p<0.001$), 구리($p<0.01$) 그리고 크롬($p<0.01$)의 배설량이 증가하였다. 그러나 소변 내 인과 마그네슘의 배설량은 감소하였다($p<0.001$). 또한, 비타민 D의 섭취 수준이 증가할수록 소변 내 칼슘($p<0.001$)과 철분($p<0.001$)의 배설량이 증가하였다.

3. 칼슘의 섭취 수준이 증가함에 따라 칼슘, 인, 마그네슘, 철분, 아연, 구리, 크롬의 흡수율은 유의하게 감소하는 결과를 나타냈다($p<0.001$). 인과 마그네슘의 흡수율은 HC군에서는 비타민 D의 섭취 수준이 증가할수록 유의하게 감소하는 결과를 나타냈다($p<0.05$). 식이 내 비타민 D의 섭취 수준은 아연, 구리, 크롬의 흡수에 영향을 주지 않았다.

4. 체내 무기질의 보유량은 칼슘의 섭취량이 증가함에 따라 칼슘의 보유량은 유의하게 증가하였으며($p<0.001$), 인, 마그네슘, 철분, 아연, 구리, 크롬 등 무기질의 보유량은 칼슘의 섭취량이 증가함에 따라 유의하게 감소하였다($p<0.001$). 반면, 비타민 D 섭취 수준은 무기질의 보유량에 유의한 영향을 주지 않았다.

칼슘의 섭취 수준에 따른 다량 및 미량 무기질 대사를 비교 분석한 결과, 성장기 동안 칼슘보충제 등으로 칼슘을 과잉 섭취할 경우 다른 무기질들의 이용성에 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 칼슘을 다량으로 섭취 할 경우엔 장내 무기질간의 경쟁으로 미량영양소의 경우 흡수가 저하될 수 있으므로 적절한 양의 칼슘을 섭취하여야 할 것으로 사료된다. 또한, 이상의 결과를 보면 비타민 D의 섭취 수준에 따른 여러 무기질 대사의 결과에서 유의한 차이가 없었으므로 이에 따른 폭넓고 다각적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

References

- Alpers DH, Lee SW, Avioli LV. 1972. Identification of two calcium-binding proteins in human small intestine: A preliminary report. *Gastroenterology* 62:559-564
- Avioli LV. 1988. Calcium and Phosphorus. *Modern Nutrition Health and Disease*. 7th ed. pp.142-158. Lea & Febiger
- Barton JC, Conrad ME, Parmley RT. 1983. Calcium inhibition of inorganic iron absorption in rats. *Gastroenterology* 84: 90-101
- Benson JD, Emery RS, Thomas JW. 1969. Effects of previous

- calcium intakes on adaptation to low and high calcium diets in rats. *J Nutr* 97:53-60
- Brink EJ, Beynen AC, Dekker PR, van Beresteijn EC, van der Meer R. 1992. Interaction of calcium and phosphate decreases ileal magnesium solubility and apparent magnesium absorption in rats. *J Nutr* 122:580-586
- Chang SO, Kim GD, Lee SH. 2004. The effect of excess calcium on the iron bioavailability and bone growth of marginally iron deficient rats. *Korean J Nutr* 37:645-654
- Chang SO. 1998. Current status of nutrition fortification in processed foods and nutrition labelling. *J Korean Diet Assoc* 4:160-167
- Chapman DG, Campbell JA. 1957. Effect of calcium and phosphorus salts in the utilization of iron by anemic rats. *Br J Nutr* 11:127-133
- Choi BY, Nam HK, Hwang YJ, Kim SH. 2001. Effect of high calcium diet on the zinc and copper balance in Korean female adolescents. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30:894-899
- Choi MJ, Kang YJ. 2006. Effects of vitamin D supplementation on bone mineral density in growing rats. *J East Asian Soc Dietary Life* 16:292-298
- Clemens TL, Adams JS, Henderson SL, Holick MF. 1982. Increased skin pigment reduces the capacity of skin to synthesize vitamin D₃. *Lancet* 1:74-76
- Cockell KA, L'Abbé MR, Belonje B. 2002. The concentrations and ratio of dietary calcium and phosphorus influence development of nephrocalcinosis in female rats. *J Nutr* 132:252-256
- Dursun N, Aydoğan S. 1994. Comparative effects of calcium deficiency and supplements on the intestinal absorption of zinc in rats. *Jpn J Physiol* 44:157-166
- Ezaki O. 1989. IIB group metal ions (Zn²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺) stimulate glucose transport activity by post-insulin receptor kinase mechanism in rat adipocytes. *J Biol Chem* 264:16118-16122
- Festa MD, Anderson HL, Dowdy RP, Eilersieck MR. 1985. Effect of zinc intake on copper excretion and retention in men. *Am J Clin Nutr* 41:285-292
- Gleerup A, Rossander-Hulthén L, Gramatkovski E, Hallberg L. 1995. Iron absorption from the whole diet: Comparison of the effect of two different distributions of daily calcium intake. *Am J Clin Nutr* 61:97-104
- Hallberg L, Brune M, Erlandsson M, Sandberg AS, Rossander-Hultén L. 1991. Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in human. *Am J Clin Nutr* 53:112-119
- Hoek AC, Lemmens AG, Mullink JW, Beynen AC. 1988. Influence of dietary Ca : P ratio in mineral excretion and nephrocalcinosis in female rats. *J Nutr* 118:1210-1216
- Im JG, Kim SH, Lee G, Joung H, Park M. 2013. Inadequate calcium intake is highly prevalent in Korean children and adolescents: the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) 2007-2010. *Public Health Nutr* doi:10.1017/S1368980013002826
- Im JN. 1986. Analysis of inorganic elements in food. The rural development administration. *Food and Nutrition* 7:42-46
- Kaup SM, Behling AR, Choquette L, Greger JL. 1990. Calcium and magnesium utilization in rats: effect of dietary butterfat and calcium and of age. *J Nutr* 120:266-273
- Kim MH, Im BS. 1998. The effect of the ethanol and zinc on mineral contents in serum and urine of rats. *Journal of Resource Science* 6:351-370
- Kim SH, Han JH, Kim WY. 2010. Consumption of health functional foods by elementary schoolchildren in Korea. *Korean J Nutr* 43:161-170
- Kim SH, Yoo CH, Kim SH, Lee SS, Jung JE, Kang MH, Kim YH, Kim WK. 2006. Nutrition. pp.255-260. Shinkwang publisher
- Korea Centers for Disease Control and Prevention. 2011. Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V-1) pp.317-318
- Kwon OR, Kim MK. 1988. Effects of dietary Ca levels and kinds of lipids on the lipid metabolism in the rats. *Korean J Nutr* 21:324-332
- Lee JH, Moon SJ, Huh KB. 1993. Influence of phytate and low dietary calcium on calcium, phosphate and zinc metabolism by growing rats. *Korean J Nutr* 26:145-155
- Li YC, Qiao G, Uskokovic M, Xiang W, Zheng W, Kong J. 2004. Vitamin D: A negative endocrine regulator of the renin-angiotensin system and blood pressure. *J Steroid Biochem Mol Biol* 89-90:387-392
- Lori JS, Bess DH. 1992. Calcium supplementation and plasma ferritin concentrations in premenopausal women. *Am J Clin Nutr* 56:1045-1048
- Mertz W, Toepfer EW, Roginski EE, Polansky MM. 1974. Present knowledge of the role of chromium. *Fed Proc* 33:2275-2280
- Mertz W. 1986. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 5th ed. pp.3-22. Lightning Source Inc

- Miura T, Matsuzaki H, Suzuki K, Goto S. 1999. Long-term high intake of calcium reduces magnesium utilization in rats. *Nutrition Research* 9:1363-1369
- Nam KS, Kim KW, Koo JO, Choi HM. 1998. Effects of dietary protein and calcium levels on iron and zinc balance in young Korean women. *Korean J Community Nutr* 3:218-227
- Park HM. 1998. Effect of dietary zinc on carbohydrate metabolism, magnesium and chromium contents in the obese rats induced by diet. Master, Sookmyung Women's Univ. Seoul. South Korea
- Pike PL, Brown ML. 1984. Minerals and water. In *Nutrition: An Integrated Approach*. pp.166-198 John Wiley & Sons
- Reddy MB, Cook JD. 1997. Effect of calcium intake on nonheme-iron absorption from a complete diet. *Am J Clin Nutr* 65: 1820-1825
- Roughead ZK, Zito CA, Hunt JR. 2005. Inhibitory effects of dietary calcium on the initial uptake and subsequent retention of heme and nonheme iron in humans: Comparisons using an intestinal lavage method. *Am J Clin Nutr* 82:589-597
- Shi H, DiRienzo D, Zemel MB. 2001. Effects of dietary calcium on adipocyte lipid metabolism and body weight regulation in energy restricted aP2-agouti transgenic mice. *FASAB J* 15:291-293
- Song MK, Adham NF. 1978. Role of prostaglandin E2 in zinc absorption in the rat. *Am J Physiol* 234:99-105
- Sung CJ. 1996. Effect of dietary calcium levels on iron utilization in female rat. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25: 1016-1023
- The Korean Nutrition Society (KNS). 2010. Dietary Reference Intakes for Koreans. First revision. pp. 350
- Wienk KJ, Marx JJ, Lemmens AG, Brink EJ, Van Der Meer R, Beynen AC. 1996. Mechanism underlying the inhibitory effect of high calcium carbonate intake on iron bioavailability from ferrous sulphate in anaemic rats. *Br J Nutr* 75:109-120
- Wood RJ, Zheng JJ. 1997. High dietary calcium intakes reduce zinc absorption and balance in humans. *Am J Clin Nutr* 65:1803-1809

접 수 : 2014년 5월 28일
 최종수정 : 2014년 7월 21일
 채 택 : 2014년 8월 6일