

난소절제 흰쥐에 있어 칼슘과 보론 섭취수준이 칼슘 평형상태에 미치는 영향

최미경^{1*} · 김미현² · 강명화³

¹청운대학교 식품영양학과

²삼척대학교 식품영양학과

³호서대학교 식품영양학과

Effect of Calcium and Boron Intakes on Calcium Balance Status in Ovariectomized Rats

Mi-Kyeong Choi^{1*}, Mi-Hyun Kim² and Myung-Hwa Kang³

¹Dept. of Human Nutrition & Food Science, Chungwoon University, Chungnam 350-701, Korea

²Dept. of Food & Nutrition, Samcheok National University, Samcheok 245-711, Korea

³Dept. of Food Science & Nutrition, Hoseo University, Chungnam 336-796, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of calcium and boron intakes on calcium utilization in ovariectomized (OVX) rats. Rats were divided into 9 groups and fed diets containing various levels of calcium (0.1%, 0.5%, 1.5%) and boron (0.5 ppm, 50 ppm, 100 ppm) for 4 weeks. The half of rats in each group were ovariectomized and the others were sham-operated. Rats were fed same diets for 8 weeks after operation. Feed intake and weight gain were significantly increased as the dietary calcium was increased and those of OVX group were higher than in sham-operated group. Feed efficiency ratio was significantly higher in OVX group than that in sham-operated one. With boron supplementation, serum calcium level was significantly increased in low-calcium group, but decreased in adequate/high-calcium group. In calcium balance, calcium intake was significantly increased with increasing levels of calcium and boron and higher in OVX group than that in sham-operated one. With increasing calcium intake, fecal and urinary calcium excretions were significantly increased. Urinary calcium excretion was significantly decreased with increment of boron intake. Apparent calcium absorption of adequate-calcium OVX group was the highest among the groups. Daily calcium retention was significantly increased as the dietary calcium was increased and that of high-calcium OVX group was higher than high-calcium sham-operated group. According to these results, the boron supplementation increased the calcium intake and decreased the urinary calcium excretion. Therefore, it could be suggested that the boron supplementation may be complementary to calcium nutrition and useful for bone health.

Key words: calcium, boron supplementation, calcium balance, ovariectomized rats

서 론

칼슘은 인체에 가장 많은 무기질로서 체내량의 약 99%가 뼈에 존재하여 뼈의 영양에 있어 매우 중요한 역할을 하며, 그밖에 혈액응고, 근육의 수축과 이완, 신경의 흥분과 자극 전달, 효소의 활성화 등의 다양한 생리작용을 한다(1). 칼슘 대사는 연령에 따라 차이가 있어 노년기에 이르면 칼슘의 배설량이 증가하며 이를 보충하기 위해 뼈의 손실이 일어나 심하면 골다공증이 유발될 수 있다. 특히 폐경기 이후의 여성은 에스트로겐 분비감소로 뼈의 손실속도가 빨라 골다공증의 위험이 매우 높다(2).

그 동안의 국민건강영양조사에서 칼슘은 항상 권장량에 미달하는 영양소로 보고되었다. 풍족한 식생활과 식생활 패

턴의 서구화에도 불구하고 최근에 실시된 조사에서도 권장량의 71%로 섭취가 가장 부족한 영양소로 평가되었다(3). 칼슘 영양의 중요성에도 불구하고 그 섭취량이 부족한 우리나라에서 칼슘의 섭취와 이용을 증진시키기 위한 연구는 매우 의미가 있으며, 그에 따라 칼슘의 섭취와 이용실태에 관한 연구, 칼슘의 흡수와 이용을 증진시키거나 저하시키는 인자에 관한 연구들이 지속적으로 이루어지고 있다(4-6).

보론(Boron; B)은 1920년대 초 식물의 성장에 필수적인 미량 무기질로 보고되었다(7). 그 후 동물에게 있어 보론의 필요성이 논의되어오다가 비타민 D가 결핍된 닭에게 보론을 보충시켰을 때 성장과 골격의 기능이 강화되었다는 Hunt와 Nielsen의 연구(8)에 의해 동물영양에서도 보론의 필요성이 입증되었다. 이후 인체실험을 통해서도 보론의 무기질

*Corresponding author. E-mail: mkchoi@chungwoon.ac.kr
Phone: 82-41-630-3240, Fax: 82-41-630-3240

대사와의 관련성, 골격영양을 위한 역할 등이 규명되고 있다. Nielsen 등(9)은 폐경 후 여성에게 보론 부족식이 후 하루 3 mg의 보론을 보충했을 때 혈장 에스트로겐과 그의 전구체인 테스토스테론이 유의하게 증가하였고, 그에 따라 칼슘의 소변 중 배설량이 유의하게 감소하였다고 보고하였다. 최근 Choi 등(10)의 연구에서는 흰쥐에게 보론을 보충했을 때 혈청 osteocalcin이 유의하게 증가하였다고 한다. 이와 같이 동물과 인체실험을 통해 보론은 칼슘, 마그네슘, 비타민 D와 상호작용하면서 뼈의 무기질화와 그 구조에 중요한 역할을 하는 것으로 제시되고 있다. 아직까지 보론의 대사 기전은 정확하게 밝혀지지 않았지만 스테로이드 호르몬 관련 작용으로 수산화(hydroxylation)와 환원(reduction) 반응을 촉진하는 것으로 추정되고 있다(11).

AIN-93(12)에서 실험동물의 성장과 유지를 위해 보다 균형 잡힌 식이로서 다양한 영양소가 추가되었는데, 보론도 영양성이 규명되면서 새롭게 추가된 영양소 중의 하나이다. 또한 미국(13), 핀란드(14), 독일(15) 등의 일부 국가에서는 식품 중 보론 함량을 분석하고 일상식사를 통한 섭취수준을 평가하는 등 인체의 보론 영양을 위한 연구가 점차 증가하고 있다. 그러나 우리나라는 보론에 대한 연구는 물론 관심조차 부족한 실정이다. 우리나라는 노인인구의 증가에 따라 골다공증과 같은 골격질환자가 증가하고 있고 국민 식생활 평가에서 칼슘섭취의 부족이 좀처럼 해결되지 못하고 있으며, 보론이 식물성 식품에 풍부하다는 연구결과(13,14)를 고려할 때 식물성 식품을 많이 섭취하는 우리나라에서 칼슘과 보론과의 관계를 규명하는 연구는 매우 필요하다고 생각한다.

따라서 본 연구에서는 흰쥐를 대상으로 칼슘과 보론의 섭취수준을 달리하여 4주간 사육한 후 난소절제군과 비절제군으로 나눠 다시 8주간 사육하여 칼슘과 보론의 섭취수준이 칼슘평형에 미치는 영향을 살펴보았다.

재료 및 방법

실험동물

실험동물은 체중 약 150 g의 6주령 Sprague Dawley종 암컷 흰쥐(대한바이오링크, 충북)를 이용하였다. 180마리의 실험동물을 임의배치법으로 9군으로 나눠 저, 적정, 고의 칼슘과 적정, 고, 과다의 보론 수준으로 조합한 실험식으로 4주간 사육하였다. 각 군별 체중에 따라 난괴법에 의해 받은 난소절제수술을 하였고 나머지 받은 대조군으로서 sham-operation을 실시한 후 다시 각 군당 10마리씩 해당 실험식으로 8주간 사육하였다.

실험식사와 탈이온수는 자유 급여하였다. 사육 및 실험에 사용한 모든 기구들은 무기질의 오염을 방지하기 위하여 EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid) 용액에, 초자기구 일 경우에는 질산원액에 24시간 이상 담갔다 탈이온수로

3번 이상 세척하고 건조기에서 습기를 제거한 다음에 사용하였다. 사육실의 환경은 온도 24±2°C, 상대습도 60±5%로 유지하였고, 명암은 12시간 주기로 조절하였다.

실험식이

실험식은 정제식이로서 조성은 AIN-93(12)을 참고로 하였으며, 배합 구성은 Table 1과 같다. 실험식이 조성 중 무기질은 칼슘, 인, 보론을 제외한 혼합물을 조제하여 사용하였으며, 칼슘은 저(0.1%), 정상(0.5%), 고(1.5%)의 3수준, 보론은 정상(0.5 ppm), 고(50 ppm), 과다(100 ppm)의 3수준으로 하였다. 칼슘 급원으로는 인의 함량을 조정하기 위하여 CaHPO₄·2H₂O와 CaCO₃를 사용하였으며, 칼슘과 인의 함량 비율은 약 1.67:1로 하였고 저칼슘식이에서는 인의 결핍을 배제하기 위하여 인의 함량을 0.3%로 하였다. 보론은 보론 결정체(boron crystalline, Aldrich, San Francisco)를 분말로 하여 사용하였다.

실험동물의 희생 및 시료 채취

식이섭취량과 체중은 매주 1회 일정 시각에 측정하였으며, 식이섭취량에 대한 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 허실량도 측정하여 보정하였다. 12주간의 사육 종료 전 3일 동안 실험동물을 대사장에 옮겨 소변과 대변을 채취하였다. 채취한 대변과 소변은 총량을 측정하고 소변은 원심분리하여 상등액을 분리하였다. 사육 종료 후 12시간을 절식시키고 ethyl ether로 마취시킨 후 heart puncture에 의해 혈액을 채취하여 혈청을 분리하였다. 모든 시료는 분석할 때까지 -70°C에서 보관하였다.

시료의 분석

혈청, 소변과 대변은 일정량을 취해 microwave digestion

Table 1. Composition of experimental diets (g/kg)

Ingredients	Low	Adequate	High
	Ca ¹⁾	Ca	Ca
Corn starch	517.1504	507.2597	475.3273
Casein	200.0000	200.0000	200.0000
Sucrose	100.0000	100.0000	100.0000
Soybean oil	70.0000	70.0000	70.0000
Cellulose	50.0000	50.0000	50.0000
Mineral mixture (Ca/P/B free) ²⁾	35.0000	35.0000	35.0000
Vitamin mixture ³⁾	10.0000	10.0000	10.0000
L-Cystine	3.0000	3.0000	3.0000
Choline bitartrate	2.5000	2.5000	2.5000
T-butylhydroquinone	0.0140	0.0140	0.0140
Calcium phosphate	3.4000	6.8770	33.3040
Calcium carbonate	0.0000	7.4200	12.9254
Potassium phosphate	2.7156	0.0000	0.0000
Potassium citrate	6.2200	7.9293	7.9293
Adequate	0.0005	0.0005	0.0005
Boron High	0.05	0.05	0.05
Very high	0.1	0.1	0.1

¹⁾Low Ca: 0.1% Ca, 0.3% P; Adequate Ca: 0.5% Ca, 0.3% P; High Ca: 1.5% Ca, 0.9% P.

²⁾AIN-93 mineral mixture (Ca/P/B free).

³⁾AIN-93 vitamin mixture.

system(Ethos touch control, Milestone Inc, Italy)으로 분해하여 검액으로 만든 뒤 ICP spectrometer(Atomscan advantage axial sequential plasma spectrometer, Thermo Jarrell Ash, USA)를 이용하여 칼슘의 정량분석을 실시하였다. 칼슘 섭취량과 분석한 소변과 대변의 칼슘 배설량을 이용하여 결보기 흡수율($[(\text{칼슘 섭취량} - \text{대변 중 칼슘 배설량}) / \text{칼슘 섭취량}] \times 100$)과 1일 보유량($\text{칼슘 섭취량} - \text{대변 중 칼슘 배설량} - \text{소변 중 칼슘 배설량}$)을 산출하였다.

통계분석

본 연구를 통해 얻어진 모든 결과는 SAS program을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였다. 칼슘과 보론의 섭취수준 및 난소절제 유무가 종속변수에 미친 영향은 $3 \times 3 \times 2$ ANOVA test를 실시하였고, 유의한 영향이 나타났을 때 각 군별 차이는 Duncan's multiple range test로 $\alpha = 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율

칼슘과 보론의 섭취수준에 따른 사료섭취량, 체중증가량, 사료효율에 대한 결과는 Table 2와 같다. 사료섭취량은 칼슘, 보론, 난소절제, 칼슘과 보론, 칼슘과 난소절제 상호작용($p < 0.001$, $p < 0.01$, $p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.001$)의 유의한 영향을 받아 칼슘 섭취량이 높을수록, 난소절제군이 비절제군보다 높았다. 체중증가량은 칼슘, 난소절제, 칼슘과 난소절제 상호작용($p < 0.05$, $p < 0.001$, $p < 0.05$)의 유의한 영향을 받아 사료섭취량과 같은 경향을 보였다. 사료효율은 난소절제($p < 0.001$)의 유의한 영향을 받아 난소절제군이 비절제군보다 높았다.

칼슘의 섭취수준이 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율에 미치는 영향은 많은 이견을 보이고 있지만, 다수의 연구

Table 2. Feed intake, body weight gain, and feed efficiency ratio of the experimental groups

Groups			Feed intake	Body weight gain	FER ¹⁾
	Ca (%)	B (ppm)	g/day	g/wk	
Sham operation	0.1	0.5	12.19 ± 0.18 ²⁾³⁾	3.80 ± 1.46 ^d	0.04 ± 0.02 ^b
	0.1	50	12.34 ± 0.17 ^j	5.06 ± 2.41 ^d	0.06 ± 0.02 ^b
	0.1	100	11.22 ± 1.05 ^k	4.09 ± 2.00 ^d	0.05 ± 0.02 ^b
	0.5	0.5	12.66 ± 0.08 ^{ij}	4.01 ± 1.35 ^d	0.05 ± 0.02 ^b
	0.5	50	12.91 ± 0.28 ⁱ	4.73 ± 0.85 ^d	0.05 ± 0.01 ^b
	0.5	100	13.17 ± 0.63 ^{hi}	5.19 ± 1.45 ^d	0.06 ± 0.02 ^b
	1.5	0.5	13.64 ± 0.23 ^{ah}	4.40 ± 1.01 ^d	0.05 ± 0.01 ^b
	1.5	50	13.93 ± 0.49 ^{fg}	4.34 ± 1.11 ^d	0.04 ± 0.01 ^b
	1.5	100	14.11 ± 0.15 ^{fg}	4.75 ± 1.44 ^d	0.05 ± 0.01 ^b
Ovariectomy	0.1	0.5	14.35 ± 0.65 ^{ef}	10.38 ± 4.51 ^c	0.10 ± 0.05 ^a
	0.1	50	14.75 ± 0.79 ^{de}	12.28 ± 3.63 ^{abc}	0.12 ± 0.04 ^a
	0.1	100	14.67 ± 0.43 ^{de}	11.45 ± 4.46 ^{bc}	0.11 ± 0.04 ^a
	0.5	0.5	15.07 ± 0.36 ^{cd}	12.95 ± 2.56 ^{abc}	0.12 ± 0.03 ^a
	0.5	50	14.73 ± 0.63 ^{de}	12.69 ± 4.20 ^{abc}	0.12 ± 0.04 ^a
	0.5	100	15.35 ± 0.86 ^c	12.39 ± 2.44 ^{abc}	0.12 ± 0.02 ^a
	1.5	0.5	15.94 ± 0.32 ^b	13.34 ± 2.69 ^{ab}	0.12 ± 0.02 ^a
	1.5	50	16.51 ± 0.50 ^a	14.61 ± 2.37 ^a	0.13 ± 0.01 ^a
	1.5	100	16.47 ± 0.71 ^a	13.97 ± 2.17 ^{ab}	0.12 ± 0.02 ^a
Significance			p < 0.001	p < 0.001	p < 0.001
Ca			p < 0.001	p < 0.05	N.S.
B			p < 0.01	N.S.	N.S.
Operation			p < 0.001	p < 0.001	p < 0.001
Ca × B			p < 0.001	N.S.	N.S.
Ca × Operation			p < 0.001	p < 0.05	N.S.
B × Operation			N.S. ⁴⁾	N.S.	N.S.
Ca × B × Operation			N.S.	N.S.	N.S.

¹⁾ Feed efficiency ratio = Feed intake (g) / Body weight gain (g).

²⁾ Values are mean ± SD of 10 rats per group.

³⁾ Values with different superscripts within a column are significantly different at $\alpha = 0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ Not significant.

(16,17)에서 저칼슘 섭취는 체중 감소를, 칼슘 보충은 식이섭취량 증가에 따라 체중 증가를 초래한다고 보고하고 있다. 본 연구에서도 칼슘섭취가 증가하면서 식이섭취 증가에 따른 체중 증가를 보여 위의 연구들과 일치하였다. 난소절제의 영향에 대해서는 에스트로겐 분비저하로 식이섭취량은 변화 없이 체중만 증가한다는 보고(18,19)가 있는 반면, Kalu 등(20)은 난소절제 시 과식하여 체중이 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서는 난소절제에 따라 식이섭취량과 체중증가량이 모두 증가하였을 뿐만 아니라 식이효율도 증가하여 에스트로겐 분비 감소로 인한 체지방 축적과 함께 식이섭취도 증가하여 체중이 증가한 것으로 해석된다.

혈청 칼슘 농도

칼슘과 보론의 섭취수준에 따른 혈청 칼슘 농도에 대한 결과는 Fig. 1과 같다. 혈청 칼슘 함량은 칼슘, 칼슘과 보론, 칼슘과 보론과 난소절제 상호작용($p < 0.01$, $p < 0.001$, $p < 0.001$)의 유의한 영향을 받아 적정칼슘의 경우 난소절제와 비절제군 모두 보론 보충에 따라 유의하게 감소하였다.

혈중 칼슘의 항상성 유지는 정적인 상태가 아니라 끊임없는 내·외적 변화에 대응하는 동적상태로 알려져 있다. 다양한 연구에서 많은 내·외적 요인에 따른 혈중 칼슘농도의 변화를 관찰한 결과 대조군과 유의한 차이가 없었다는 것(21,22)과 유의한 차이가 있었다는 것(23,24)으로 양분되고 있지만, 이들 대부분이 정상범위에서 크게 벗어나지는 않고 있다. 연령이 증가하면서 체내 칼슘대사는 많은 변화를 초래하게 되는데, 특히 여성에 있어 폐경이라는 생리적인 변화는 연령 증가에 따른 칼슘대사의 변화를 더욱 가중시키게 된다. 폐경 후에는 에스트로겐 분비가 감소하고 부갑상선 호르몬에 대한 골격의 반응도가 증가하여 골의 재흡수가 일어나며 칼시토닌의 분비는 증가되어 $1,25(OH)_2D_3$ 의 생산량이 감소하여, 그 결과 칼슘의 흡수율은 감소하고 배설량은 증가하게

된다. 따라서 폐경에 따라 혈중 칼슘농도는 다소 감소하지만 아주 작은 범위에서 항상성을 조절하여 성인의 경우에는 9~11 mg/dL로 항상 일정한 수준을 유지하며 어린이는 성인보다 다소 높고 폐경 후에는 다소 낮은 수준을 유지하고 있다(25). 본 연구에서도 혈청 칼슘 농도는 9.81~14.97 mg/dL 범위에서 각 군별 비교적 큰 차이를 보이지 않았으나, 난소비절제군의 저칼슘식이에서는 보론 보충군이 보론 정상군에 비하여 혈청 칼슘농도가 높았으며, 정상칼슘식이에서는 보론 정상군이 고 또는 과다 보충군보다 높았다. 이러한 결과를 통하여 칼슘의 섭취수준에 따라 보론의 보충이 혈청 칼슘농도의 유지에 미치는 영향이 다를 수 있었다.

칼슘 평형

칼슘과 보론의 섭취수준에 따른 칼슘의 평형상태를 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 칼슘 섭취량은 칼슘, 보론, 난소절제, 칼슘과 난소절제, 보론과 난소절제 상호작용($p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.001$)의 유의한 영향을 받아 칼슘과 보론 섭취량이 높고 난소절제를 한 경우 높은 것으로 나타났다. 대변 중 칼슘 배설량은 칼슘($p < 0.001$)의 유의한 영향을 받아 칼슘 섭취량이 증가할수록 높았다. 소변 중 칼슘 배설량은 칼슘, 보론($p < 0.01$, $p < 0.05$)의 유의한 영향을 받아 칼슘 섭취량이 높을수록 증가한 반면, 보론 보충에 따라서는 감소하였다. 또한 소변 중 칼슘 배설량은 보론과 난소절제 상호작용의 영향을 받아($p < 0.05$) 적정 보론의 경우 난소비절제군이 절제군보다 높았지만 고보론 보충 시에는 난소비절제군이 절제군보다 낮았다. 칼슘 섭취량과 대변 중 배설량을 고려하여 산출한 결보기 흡수율은 칼슘, 난소절제($p < 0.001$, $p < 0.001$)의 유의한 영향을 받아 난소절제와 비절제군 모두 칼슘 적정군이 가장 높았고, 난소절제군은 비절제군보다 높았다. 칼슘 보유량은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 칼슘, 칼슘과 보론, 칼슘과 난소절제 상호작용($p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.001$)의 유의한 영향을 받아 칼슘 섭취량이 높을수록 많았으며 고칼슘군에서 난소절제군이 비절제군보다 높았다.

연령에 따른 칼슘 평형에 대한 연구는 비교적 많이 이루어지고 있으며, 이 연구들을 종합해보면 연령이 증가하면서 칼슘의 흡수율은 저하되고 칼슘 섭취량에 따른 적응능력은 감소하는데 특히, 폐경 이후의 여성에서 칼슘 흡수율이 현저히 저하된다고 한다. Weaver 등(26)은 청소년과 성인을 대상으로 3주간 칼슘 평형실험을 실시했을 때 청소년이 성인보다 소변과 대변으로의 칼슘 배설량이 낮고 보유량은 높아 성장의 요구에 맞춰 보다 효율적인 칼슘의 흡수와 보유가 이루어진다고 하였다. 본 연구에서 난소절제군의 대변과 소변 중 칼슘 배설량은 비절제군보다 증가하는 경향을 보였으나 유의한 차이는 없었다. 그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 난소절제군의 식이섭취량이 비절제군보다 높았기 때문에 난소절제군의 칼슘 섭취량이 높았으며, 그로 인해 칼슘의 결보기 흡수율과 보유량이 비절제군보다 유의하게 높은 것

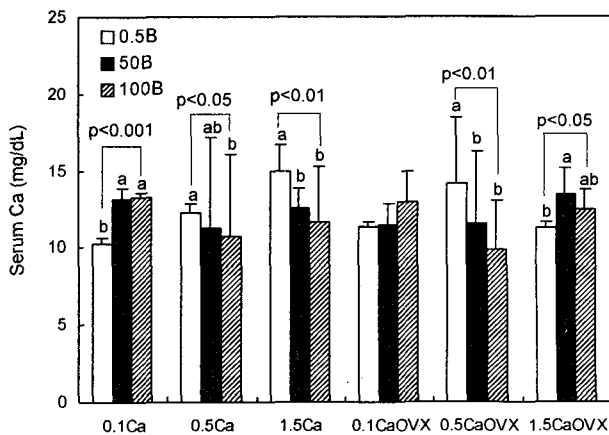


Fig. 1. Serum calcium level of the experimental groups. Values are mean \pm SD of 10 rats per group. Different superscripts within calcium group are significantly different at $\alpha = 0.05$. 0.1Ca: 0.1% Ca, 0.5Ca: 0.5% Ca, 1.5Ca: 1.5% Ca, 0.5B: 0.5 ppm B, 50B: 50 ppm B, 100B: 100 ppm B.

Table 3. Calcium balance of the experimental groups

Groups			Intake	Fecal excretion	Urinary excretion	Apparent absorption ¹⁾
	Ca (%)	B (ppm)	mg/day	mg/day	mg/day	%
Sham operation	0.1	0.5	12.20±0.18 ²⁾⁽³⁾	6.35±1.72 ^c	0.60±0.34 ^{ab}	49.16±15.44 ^{def}
	0.1	50	12.34±0.17 ^a	6.59±0.93 ^c	0.33±0.18 ^b	51.87±19.34 ^{def}
	0.1	100	11.22±1.05 ^a	5.57±1.65 ^c	0.42±0.52 ^b	45.33±21.81 ^f
	0.5	0.5	63.28±0.41 ^f	20.66±7.80 ^{bc}	0.60±0.46 ^{ab}	63.27±2.65 ^{abcd}
	0.5	50	64.53±1.42 ^f	21.85±4.01 ^{bc}	0.44±0.36 ^b	62.82±2.07 ^{abcd}
	0.5	100	65.83±3.14 ^f	19.00±4.24 ^{bc}	0.49±0.47 ^b	66.42±4.27 ^{abc}
	1.5	0.5	204.53±3.51 ^d	107.57±21.99 ^a	1.05±0.86 ^a	43.43±6.62 ^f
	1.5	50	208.99±7.38 ^c	107.16±36.57 ^a	0.40±0.17 ^b	47.61±14.80 ^{ef}
	1.5	100	211.71±2.21 ^c	121.18±19.73 ^a	0.69±0.39 ^{ab}	44.38±13.40 ^f
Ovariectomy	0.1	0.5	14.35±0.65 ^a	6.18±1.83 ^c	0.34±0.09 ^b	55.57±14.49 ^{cdef}
	0.1	50	14.75±0.79 ^a	5.62±2.09 ^c	0.40±0.20 ^b	54.72±8.15 ^{cdef}
	0.1	100	14.67±0.43 ^a	6.15±2.36 ^c	0.35±0.08 ^b	61.59±12.31 ^{abcde}
	0.5	0.5	75.37±1.80 ^c	23.21±1.60 ^{bc}	0.52±0.23 ^b	72.72±10.21 ^a
	0.5	50	73.67±3.13 ^c	24.02±1.35 ^b	0.60±0.48 ^{ab}	70.28±6.06 ^{ab}
	0.5	100	76.76±4.28 ^c	22.18±2.68 ^{bc}	0.46±0.41 ^b	75.43±5.80 ^a
	1.5	0.5	239.04±4.82 ^b	116.07±14.55 ^a	1.03±0.62 ^a	54.97±8.96 ^{cdef}
	1.5	50	247.58±7.58 ^a	109.17±30.13 ^a	0.78±0.51 ^{ab}	56.90±14.66 ^{bcdef}
	1.5	100	247.11±10.72 ^a	118.02±28.33 ^a	0.34±0.26 ^b	50.85±8.99 ^{def}
Significance			p<0.001	p<0.001	p<0.01	p<0.001
Ca			p<0.001	p<0.001	p<0.01	p<0.001
B			p<0.001	N.S.	p<0.05	N.S.
Operation			p<0.001	N.S.	N.S.	p<0.001
Ca×B			N.S. ⁴⁾	N.S.	N.S.	N.S.
Ca×Operation			p<0.001	N.S.	N.S.	N.S.
B×Operation			p<0.001	N.S.	p<0.05	N.S.
Ca×B×Operation			N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

¹⁾ Apparent absorption (%) = [(intake - fecal excretion) / intake] × 100.

²⁾ Values are mean ± SD of 10 rats per group.

³⁾ Values with different superscripts within a column are significantly different at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ Not significant.

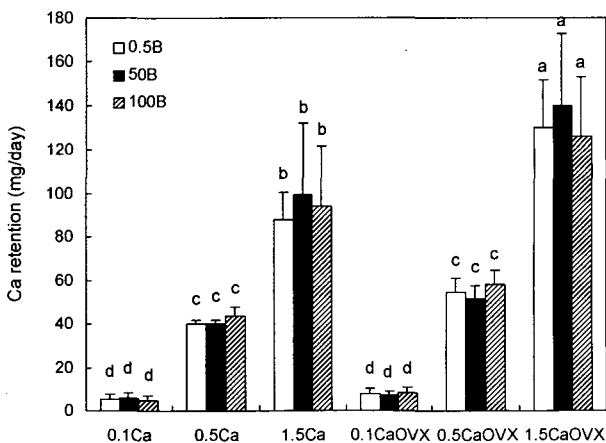


Fig. 2. Calcium retention of the experimental groups. Values are mean ± SD of 10 rats per group. Different superscripts within total group are significantly different at α=0.05. Retention = intake - fecal excretion - urinary excretion. 0.1Ca: 0.1% Ca, 0.5Ca: 0.5% Ca, 1.5Ca: 1.5% Ca, 0.5B: 0.5 ppm B, 50B: 50 ppm B, 100B: 100 ppm B.

으로 나타났다.

보론이 칼슘, 마그네슘, 인, 칼륨 등의 무기질과 상호작용을 한다는 보고들이 사람을 포함하여 다양한 동물모델을 통해 제시되고 있다. Nielsen 등(9)은 폐경후 여성에게 마그네슘과 보론 섭취수준을 달리했을 때 저마그네슘 섭취군에서 보론 보충에 따라 소변 중 칼슘과 마그네슘 배설이 유의하게 감소하였으며 혈장의 estradiol과 testosterone 농도는 증가하였다고 한다. Hegsted 등(27)은 비타민 D 부족 식이에 보론을 보충해주었을 때 칼슘, 마그네슘, 인의 흡수와 평형이 증가된 반면, 혈중 무기질 농도는 차이가 없어 이와 같은 무기질이 골격에 침착되는 효과를 예측할 수 있다고 보고하였다. Beattie와 Peace(28)는 폐경후 여성에게 저보론 식사를 제공한 후 보론을 보충했을 때 소변 중 칼슘과 무기질 배설에는 유의한 차이가 없었으나 칼슘평형은 증가하여 보론 보충은 칼슘 흡수 촉진을 유도한다고 하였다. 본 연구에서는 보론 보충에 따라 소변 중 칼슘 배설은 유의하게 감소하였으나 대변 중 칼슘 배설과 칼슘평형이 유의한 차이를

보이지 않은 결과를 통해 보론 보충이 칼슘의 흡수촉진에 관여하는 것이 아니라 골형성과 같은 체내 칼슘대사를 촉진하여 체외 배설이 감소한 것으로 사료된다.

요 약

우리나라는 노인인구의 증가에 따라 골다공증과 같은 골격질환자가 증가하고 있으며 국민 식생활 평가에서 칼슘섭취의 부족이 좀처럼 해결되지 못하고 있다. 보론이 식물성 식품에 풍부하다는 연구결과를 고려할 때 식물성 식품을 많이 섭취하는 우리나라에서 칼슘과 보론과의 관계를 규명하는 연구는 매우 필요하다고 생각한다. 따라서 본 연구에서 흰쥐를 대상으로 칼슘과 보론의 섭취수준을 달리하여 4주간 사육한 후 난소절제군과 비절제군으로 나눠 다시 8주간 사육하여 칼슘과 보론의 섭취수준이 칼슘평형에 미치는 영향을 살펴보았다. 사료섭취량과 체중증가량은 칼슘 섭취량이 높을수록, 난소절제군이 비절제군보다 높았다. 사료효율은 난소절제군이 비절제군보다 높았다. 혈청 중 칼슘 함량은 보론 보충에 따라 저칼슘군에서는 증가하였으나 적정과 고칼슘군에서는 감소하였다. 칼슘평형에서 칼슘 섭취량은 칼슘과 보론 섭취량이 높고 난소 절제와 비절제군 모두 칼슘 섭취량이 증가할수록 높았으며, 소변 중 배설량은 칼슘 섭취량이 높을수록 증가한 반면, 보론 보충에 따라서는 감소하였다. 칼슘의 걸보기 흡수율은 칼슘 적정군과 난소절제군이 다른 군보다 높았으며, 칼슘 보유량은 칼슘 섭취량이 증가할수록 고칼슘군에서 난소절제군이 비절제군보다 높았다. 이상의 연구결과를 종합할 때 칼슘의 섭취량이 증가할수록 대변 중 칼슘 배설량이 증가하였지만 칼슘 보유량은 증가하였고 칼슘의 걸보기 흡수율은 적정 칼슘군이 가장 높았다. 보론의 보충에 따라 칼슘의 걸보기 흡수율과 보유량은 유의한 변화가 없었지만 칼슘 섭취량은 증가하고 소변 중 칼슘 배설량은 감소하여 보론은 칼슘만큼 뚜렷한 영향은 아니지만, 체내의 칼슘이용을 촉진하고 배설을 감소시킴으로써 골격건강에 유용한 작용을 하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(No. RO4-2002-000-00032-0) 지원으로 수행되었음.

문 헌

1. Nordin BEC. 1998. *Calcium in human biology*. Springer-Verlag, Heidelberg.
2. Epstein S, Bryce G, Hinman JW, Miller ON, Riggs BL, Hui SL, Johnston CC. 1986. The influence of age on bone mineral regulating hormones. *Bone* 7: 421-425.

3. Ministry of Health and Welfare. 2002. *Report on 2001 National Health and Nutrition Survey-Nutrition Survey (I)*. Ministry of Health and Welfare, Seoul.
4. Matkovic V, Fontana D, Tominac C, Goel P, Chestnut III CH. 1990. Factors that influence peak bone mass formation: a study of calcium balance and the inheritance of bone mass in adolescent females. *Am J Clin Nutr* 52: 878-888.
5. Bronner F. 1993. Nutrients bioavailability, with special reference to calcium. *J Nutr* 123: 797-802.
6. O'Loughlin PD, Morris HA. 1994. Oophorectomy in young rats impairs calcium balance by increasing intestinal calcium secretion. *J Nutr* 124: 726-731.
7. Warrington K. 1923. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann Bot* 37: 629-672.
8. Hunt CD, Nielsen FH. 1987. Interactions among dietary boron, magnesium, and cholecalciferol in the chick. *Proc ND Acad Sci* 41: 50.
9. Nielsen FH, Hunt CD, Mullen LM, Hunt JR. 1987. Effect of dietary boron on mineral, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women. *FASEB J* 1: 394-397.
10. Choi MK, Kim MH, Kang MH. 2005. The effect of boron supplementation on bone strength in ovariectomized rats fed with diets containing different calcium levels. *Food Sci Biotechnol* 14: 242-248.
11. Volpe SL, Taper LJ, Meacham S. 1993. The relationship between boron and magnesium status and bone mineral density in human: a review. *Magnes Res* 6: 291-296.
12. Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC. 1991. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr* 123: 1939-1951.
13. Hunt CD, Shuler TR, Mullen LM. 1991. Concentration of boron and other elements in human foods and personal-care products. *J Am Diet Assoc* 91: 558-568.
14. Koivistoinen P. 1980. Mineral element composition of Finnish foods. *Acta Agric Scand* 22: 7-165.
15. Souci SW, Fachmann W, Kraut H. 1994. *Food composition and nutrition tables*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
16. Vipperman PE, Preston RL, Kintner LD, Pfander WH. 1969. Role of calcium in the nutritional etiology of a metabolic disorder in ruminants fed a high grain ration. *J Nutr* 97: 449-462.
17. Foley MK, Galloway ST, Luhman CM, Faidley TD, Beitz DC. 1990. Influence of dietary calcium and cholecalciferol on composition of plasma lipids in young pigs. *J Nutr* 120: 45-51.
18. Lee YS, Kim EM. 2001. Effect of ovariectomy and calcium intake on femur and lumbar compositions and bone related factors in adults rats. *Kor J Nutr* 34: 532-540.
19. O'Loughlin PD, Morris HA. 2003. Oophorectomy acutely increases calcium excretion in adult rats. *J Nutr* 133: 2277-2280.
20. Kalu DN, Liu CC, Hardin RR, Hollis BW. 1989. The aged rat model of ovarian hormone deficiency bone loss. *Endocrinology* 124: 7-16.
21. Barger-Lux MJ, Heaney RP, Stegman MR. 1990. Effects of moderate caffeine intakes on the calcium economy of premenopausal women. *Am J Clin Nutr* 52: 722-725.
22. Hämäläinen MM. 1994. Bone repair in calcium deficient rats: comparison of xylitol+calcium carbonate with calcium carbonate, calcium lactate and calcium citrate on the repletion of calcium. *J Nutr* 124: 874-881.

23. Roland DA, Sloan DR, Wilson HR, Harms RH. 1974. Relationship of calcium to reproductive abnormalities in the laying hen. *J Nutr* 104: 1079-1085.
24. Thornton PA. 1976. Hypocalcemic development in high and low calcium-adapted chicks during acute calcium deficiency. *Int J Vitam Nutr Res* 46: 87-95.
25. Nordin BEC. 1988. *Calcium in human biology*. Springer-Verlag, Heidelberg.
26. Weaver CM, Peacock M, Johnston CC. 1999. Adolescent nutrition in the prevention postmenopausal osteoporosis. *J Clin Endocrinol Metab* 84: 1839-1843.
27. Hegsted M, Keenam MJ, Wozniak SP. 1991. Effect of boron on vitamin D deficient rats. *Biol Trace Elem Res* 28: 243-255.
28. Beattie JH, Peace HS. 1993. The influence of a low-boron diet and boron supplementation on bone, major mineral and sex steroid metabolism in postmenopausal women. *Brit J Nutr* 69: 871-884.

(2005년 11월 2일 접수; 2006년 1월 4일 채택)