

## 골다공증 실험모델 흰쥐의 칼슘대사에 대한 소뼈회분과 인산칼슘의 섭취 효과

이 연 숙 · 오 주 환

서울대학교 농업생명과학대학 농가정학과

### Effects of Bovine Bone Ash and Calcium Phosphate on Calcium Metabolism in Postmenopausal Osteoporosis Model Rats

Lee, Yeon Sook · O, Ju Hwan

Department of Home Economics, College of Agriculture & Life Sciences,  
Seoul National University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

The model rats with postmenopausal osteoporosis were comparatively observed with regard to the effects of bovine bone ash and calcium phosphate on calcium metabolism. The modeling design involved the five week-old female SD-strain rats ovariectomized and fed a low-Ca diet(20% casein, 0.06% Ca and 0.38% P) for three weeks. The rats were divided into five groups, one of which was fed the low-Ca diet(basal), and the rest of which were fed four kinds of Ca-supplemental diets(20% protein, 1.06% Ca and 0.8% P) for three weeks. The Ca-supplemental diets contained two kinds of Ca sources, bovine bone ash(BBA) or calcium phosphate, tribasic  $[Ca_3(PO_4)_2]$  and two kinds of protein sources, casein or isolated soy protein(ISP). The model rats of postmenopausal osteoporosis fed basal diet showed a significant decrease in Ca utilization in reference to serum Ca concentration, breaking force of bone, Ca and P contents of bone, and Ca absorption and retention. However, the supply of Ca for three weeks demonstrated the improved utilization of Ca. One step further, BBA was more effective than calcium phosphate in improving Ca utilization in ISP-fed groups. On the other hand, no significant difference was seen in casein-fed groups. It is to conclude that BBA could be more effective in accelerating Ca utilization under vulnerable dietary or physiological conditions such as vegetable protein intake and osteoporosis.

**KEY WORDS** : Ca metabolism · postmenopausal osteoporosis · bovine bone ash · calcium phosphate.

## 서 론

근래 세계 각국에서는 식이 칼슘 섭취 부족으로 인한 영양문제를 성장기 및 성인기 이후의 골격질환 뿐 아니라, 순환기계질환, 대장질환 등 각종 성인병과 관련지어 칼슘영양의 중요성이 새삼 강조되고 있다<sup>1-2)</sup>. 많은 연구자들이 노령화에 따라 빈발하는 골다공증의 발병요인으로서 폐경기 이후의 여성, 골다공증 환자 및 골다공증 실험모델 동물을 대상으로 칼슘 섭취, 칼슘 대사 및 관련인에 관해서 집중적으로 검토하여 왔다. 그 결과 골다공증의 예방과 치료에 있어서 지속적인 고충분량의 칼슘 섭취가 필수요건임에 일치하고 있으며, 우리나라를 비롯한 많은 나라에서 칼슘 섭취량이 권장량에 미흡한 것으로 보고되고 있음에도 불구하고, 더 많은 칼슘을 섭취할 것을 제안하고 있다<sup>3)</sup>. 이에 체내이용성이 높은 칼슘 급원식품, 칼슘 강화식품, 칼슘 보충제(Ca supplement) 및 칼슘 이용성 증진물질 등 칼슘의 양적·질적 섭취방안에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다<sup>3-12)</sup>.

일반적으로 식품 중 칼슘 급원으로서의 가치는 그 함량 뿐 아니라 체내 이용성에 의해서 평가되고 있다. 칼슘의 체내 이용성은 칼슘염의 형태 뿐 아니라 동물의 체내 요구도, 연령, 신체생리상태 및 단백질, 인산, 수산, 피틴산, 섬유소, 지방 등 여러가지 식이 인자에 의해서 다양하게 영향을 받는다<sup>1)</sup>. 최근 각국에서 화학 형태가 다른 여러가지 칼슘염을 주체로 하거나 소뼈분말(bone meal), 난각분말(egg shell), 굴피분말(oyster shell) 등을 주체로 한 칼슘 강화식품, 칼슘 보충제 및 체내 칼슘 이용성 증진 물질들이 개발되어 시판되고 있다. 이들 칼슘 공급원에 대한 유효성과 영양효과가 정상, 골다공증 모델 동물, Vit. D 결핍 동물을 이용하여 다양하게 비교·검토되어 왔다<sup>4-8)11)</sup>. 본 연구자들도 이미 정상 또는 칼슘 결핍 흰쥐를 이용하여 소뼈 회분과 소뼈 분말의 칼슘급원으로서 유효성을 보고한 바 있다<sup>9)</sup>. 체내 칼슘 이용성은 식이단백질 종류에 따라서도 영향을 받는다<sup>14)</sup>.

따라서 본 연구에서는 칼슘공급원으로서 소뼈회분의 유효성을 보다 명확하게 하기 위해서, 난소절제 및 칼슘 결핍 식이의 급여로 설정된 폐경 후 골다공증 실험모델 흰쥐를 이용하여 체내 칼슘대사 및 이용성에 대한 소뼈 회분과 인산칼슘의 섭취효과를 식이 단백질 종류별로 평

가 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험동물 및 식이

체중 약 110g의 5주령 Sprague-Dawley종 암컷 흰쥐(서울대학교 실험 동물사육장)를 환경 조절된 실험동물 사육실(온도 22±2°C, 상대습도 65±5%, 조명 6:00 am~6:00 pm)에서 stainless-steel wire cage에 한마리씩 분리 사육하였다. 모든 실험식이와 탈이온수를 자유섭취 방법(ad libitum)으로 급여하였으며, 대사 cage와 사육에 사용된 모든 기구는 무기질 오염방지를 위해 0.4% EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid)로 씻은 후 탈이온수로 행구어 사용하였다.

실험에 이용된 모든 흰쥐는 이미 보고<sup>12)</sup>한대로 양쪽 난소를 절제한 후(ovariectomy:OVX), 3주간 칼슘 결핍식이를 급여하므로써 폐경후 골다공증 실험모델로 설정하였다. 이들 골다공증 실험모델 흰쥐를 가지고 식이 단백질 종류별로 소뼈 칼슘의 체내이용성을 평가하기 위해서 동물을 5군으로 나누었으며, 체중에 따라 완전임의 배치하였다. 1군에게는 그대로 계속 칼슘 결핍식이를(Basal), 다른 4군에게는 단백질 급원으로서 2종류, 카제인(casein)과 대두단백질(isolated soy protein, ISP)을, 칼슘급원으로서 2종류, 제 3인산칼슘(Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)과 소뼈회분(bovine bone ash, BBA)을 각각 함유한 4종의 칼슘보충식이를 3주간 더 급여하였다. 실험에 사용된 식이의 조성은 Table 1과 같다.

칼슘 결핍식이는 카제인 20%, 칼슘 0.06%, 인 0.38%를 함유하였으며, 칼슘 보충식이는 20% 단백질과 흰쥐의 칼슘과 인의 요구량의 약 2배에 해당하는 충분량의 칼슘(1.06%)과 인(0.80%)을 함유하였다. 실험식이의 원료로는 정제된 카제인(Casein:매일유업(주) 서울)과 대두단백질(ISP, PP500E, Ralston Purina Inter Co.) 옥수수전분(미원식품(주) 서울), Harper pattern(1965)을 기준으로 조제된 비타민 혼합물(Oriental 효모공업(주) 동경) 및 미네랄 혼합물(칼슘과 인은 비혼합)을 사용하였다. 칼슘급원으로 소뼈회분(Ca 39.78%, P 18.28%를 함유한 bovine bone ash:풀무원식품(주))과 3인산칼슘(Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)을 사용하였

골다공증 흰쥐의 칼슘대사에 대한 소뼈회분의 섭취 효과

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

Protein source ingredients	Casein			Soy protein	
	Basal <sup>1)</sup>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	BBA	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	BBA
Starch	662.0	639.2	639.4	639.2	639.4
Casein	200	200	200	—	—
Soy protein	—	—	—	200	200
Corn oil	50	50	50	50	50
Fiber	8	8	8	8	8
Choline Cl	2	2	2	2	2
Vit. Mix. <sup>3)</sup>	10	10	10	10	10
Min. Mix. <sup>4)</sup>	40	40	40	40	40
(Ca & P free)					
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	18	15	15	15	15
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>5)</sup>	—	25.8	—	25.8	—
BBA <sup>6)</sup>	—	—	25.6	—	25.6
PEG <sup>7)</sup>	10	10	10	10	10

1) Basal diet contained 20% casein, 0.06% Ca and 0.38% P

2) Ca supplemental diets contained 1.06% Ca and 0.80% P

3) Vitamin mixture:(IU/g mix.) Vitamin A palmitate, 2500;Cholecalciferol, 200;(mg/g mix.) Thiamin HNO<sub>3</sub>, 1;Riboflavin, 1.5;Niacin, 10;Pyridoxine HCl, 1;Folic acid, 0.5;Vitamin K<sub>3</sub>, 1;Vitamin B<sub>12</sub>, 0.001;Ascorbic acid, 33.7;Calcium pantothenate, 5;Di-1-tocopherol, 1;Biotin, 0.4.

4) Calcium and phosphate-free Min. Mix.:(g/kg mix.) NaCl, 250.6;MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 99.8;Fe-citrate, 6.23;CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 1.56;MnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 1.21;ZnCl<sub>2</sub>, 0.2;KI, 0.005;(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo · 7O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 0.025;and sucrose, 640.37

5) Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> Contained 38.76% Ca and 19.97% P

6) BBA:Bovine Bone Ash contained 39.78% Ca and 18.28% P

7) Polyethylene glycol # 4000

으며, 인은 식이 중 동량이 되도록 인산칼륨(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)으로 보정되었다.

## 2. 시료수집 및 분석방법

### 1) 시료 수집

#### (1) 혈 액

실험동물을 시료 채취 전 하룻밤 절식시킨 후, ethyl ether로 마취한 후 경동맥혈을 채취하였다. 채취한 혈액은 냉장고(4℃)에서 하룻밤 동안 방치한 후, 3,000rpm에서 20분간 원심분리(Sorvall, GLC-2B)하여 혈청을 얻었으며 분석 전까지 냉동 보관하였다.

#### (2) 간, 신장 및 뼈(femur)조직

혈액 채취 후 즉시 간, 신장 및 대퇴골을 각각 적출하였다. 간과 신장조직은 부착되어 있는 지방이나 근육을 깨끗이 제거한 후 냉장 생리식염수(0.9% NaCl 용액)로 세척하여 혈액을 제거한 다음 여과지로 물기를 닦고 무게를 측정하였다. 뼈조직은 부착되어 있는 근육, 지방,

인대 등을 전부 제거한 후 무게와 길이를 측정한 후, 강도(breaking force)를 측정하였다. 모든 시료는 회화 처리 전까지 냉동 보관하였다.

### (3) 변, 뇨

변과 뇨는 실험식이 급여기간 중 실험 종료전 4일간 stainless steel metabolic cage에서 수집하였으며, 변은 그대로 뇨는 여과지에 거른 후 총량을 측정하여 분석할 때까지 냉동 보관하였다.

### 2) 시료분석

#### (1) 혈액, 조직, 변 및 뇨중의 칼슘과 인 함량

혈청은 TCA(trichloroacetic acid)용액으로 제단백한 후, LaCl<sub>2</sub> 용액으로 회석하여 원자흡광광도계(Atomic absorption spectrophotometer:Hitachi Z-6000)로 422.7nm에서 칼슘을 측정하였다. 간, 신장과 뼈는 105±10℃ 건조기에서 12시간동안 예비 건조시킨 후, 550~600℃ 회화로에서 6~8시간 회화하여 얻은 회

분을 HCl(1N) 용액으로 용해한 후, LaCl<sub>2</sub> 용액으로 희석하여 원자흡광광도계로 칼슘을 정량하였다. 뼈의 인은 칼슘 측정시와 동일한 전처리로 회화한 후 탈이온수로 희석하여 Fisk-Subbarow Method<sup>15)</sup>(Spectrophotometer: Shimadzu UV-200S)로 정량하였다. 변 중의 칼슘은 뼈조적과 거의 동일한 방법으로, 뇨의 칼슘은 혈액의 분석과 거의 동일한 방법으로 정량하였다.

(2) 뼈의 강도 측정

뼈의 강도는 Instron(Instron Universal Testing Instrument, Model 1000)을 이용하여 길이의 일정 부위에서 측정했다.

3. 통계처리

실험의 결과는 SAS program을 이용하여 각 실험군마다 평균과 표준편차를 계산하였고, 군간의 차이를  $p < 0.05$  수준에서 ANOVA test 후 Duncan's multiple range test에 의해 검증하였다.

실험결과

1. 성장과 식이섭취량

골다공증 모델 흰쥐에 있어서 단백질 종류별 칼슘급원에 따른 체중의 변화와 식이 섭취량은 Table 2와 같다. 골다공증 모델 흰쥐에 있어서 칼슘결핍식을 3주간 동안 계속 급여한 Basal군에서는 체중이 유의적으로 감소되었으나, 이때 칼슘을 충분량 함유한 실험식을 3주간 급여한 모든 실험 군에서 식이섭취량과 체중이 유의적으로 증가되었다. 특히, 대두단백질 섭취군에서는 증체량

에 대한 소뼈회분의 섭취효과가 인산칼슘에 비해 유의적으로 높았다( $p < 0.05$ ). 한편 대두단백질과 인산칼슘을 조합한 실험군에서 가장 높은 식이섭취량을 보였으나 증체량은 유의적으로 낮게 나타나므로서, 낮은 사료효율을 보였다.

2. 혈청과 조직의 칼슘함량

골다공증 모델 흰쥐에 있어서 단백질 종류별 칼슘급원에 따른 혈청, 간 및 신장조직의 칼슘함량은 Table 3에 제시하였다. Basal군의 경우, 혈중 칼슘농도는 정상 수준 미만으로 매우 낮은 값을 보였다. 그러나 칼슘 보충식을 3주간 급여했을 경우 혈중 칼슘 농도가 회복되기는 하였으나 정상 수준(7.2~13.9mg/dl)<sup>16)</sup>까지 미치지 못하는 하였으며, 이때 칼슘의 종류에 따른 유의차는 없었다. 이는 혈청중의 칼슘농도 저하가 충분한 기간동안(적어도 4주 이상정도)의 칼슘 급여에 의해서 회복될 수 있다고 하는 기존 연구결과<sup>8)12)</sup>에 비추어볼 때, 본실험에서도 난소절제 동물에서 더욱 장기간 동안 충분량의 칼슘을 급여한다면 혈청 칼슘 농도는 정상수준으로 회복 될 수 있다고 본다. 골다공증 실험모델의 간과 신장조직의 칼슘함량을 보면, 인산칼슘을 섭취한 군의 조직에서 칼슘함량이 유의적으로 높았으며( $p < 0.05$ ), 이러한 경향은 단백질 급원에 따라 차이가 있었다. 즉 카제인 섭취군에서는 유의적인 차이가 없었으나 대두단백질 섭취군에서는 통계적 유의성이 나타났다. 이는 정상 실험동물에서도 인산칼슘 섭취에 따라 신장조직에 칼슘이 축적된다는 보고와도 일치하였다<sup>7)</sup>.

Table 2. Daily food intake and weight gain in postmenopausal osteoporosis model rats fed experimental diets

	Final body weight(g)	Daily food intake(g)	Daily weight gain(g)
Basal	161.2 ± 16.2 <sup>c1)</sup>	9.6 ± 1.8 <sup>d</sup>	-0.9 ± 0.5 <sup>c</sup>
Casein			
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	214.4 ± 24.2 <sup>ab2)</sup>	13.1 ± 2.8 <sup>bc</sup>	1.0 ± 0.9 <sup>ab</sup>
BBA	222.2 ± 9.3 <sup>ab</sup>	11.6 ± 1.4 <sup>c</sup>	1.3 ± 0.5 <sup>ab</sup>
ISP			
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	211.2 ± 17.0 <sup>b</sup>	15.6 ± 0.7 <sup>a</sup>	0.7 ± 0.3 <sup>b</sup>
BBA	233.0 ± 18.2 <sup>a</sup>	14.8 ± 1.9 <sup>ab</sup>	1.6 ± 0.8 <sup>a</sup>

1) Mean ± SD of 6 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at  $p < 0.05$

골다공증 흰쥐의 칼슘대사에 대한 소뼈회분의 섭취 효과

3. 뼈의 중량과 강도

대퇴골(femur)의 중량, 길이 및 강도를 Table 4에 제시하였다. 뼈의 중량, 길이, 강도에 있어서 Basal군에서 유의적으로 낮은 값을 나타냈으며, 칼슘보충식을 섭취한 실험군에서 증가 효과를 보였다. 칼슘급원별로 보았을 때, 소뼈회분 섭취에 따라 중량과 길이에서는 차이가 없었으나 뼈의 강도에서는 유의적으로 높게 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 즉, 뼈의 강도에 있어서는 단백질 급원에 따른 차이를 보여 카제인 섭취군에서는 인산칼슘 섭취군과 소뼈회분 섭취군 사이에 유의차가 보이지 않았지만, 대두단백질 섭취군에서는 소뼈회분 섭취군에서 인산칼슘 섭취군에 비해 유의적으로 높았다( $p < 0.05$ ).

4. 뼈 중 조회분, 칼슘과 인 함량

대퇴골의 회분, 칼슘 및 인 함량은 Table 5와 같다.

칼슘결핍식을 섭취한 Basal군의 경우, 뼈중 조회분, 칼슘, 인함량이 매우 낮은 값을 보였으며 Ca:P의 비도 정상수준 이하로 낮게 나타났다. 반면 칼슘보충식을 급여한 경우 뼈중 회분, 칼슘 및 인 함량이 크게 향상되었다. 칼슘 급원별로 섭취 효과를 보면 카제인 섭취군에서는 칼슘급원간에 차이가 없었으나, 대두단백질 섭취군에서는 인산칼슘을 섭취한 군보다 소뼈회분을 섭취한 군이 뼈의 조회분 및 칼슘함량과 Ca:P비가 유의적으로 증가되었다. 또한 Ca:P비의 경우, 두 가지 칼슘급원 모두 정상적인 수준인 2:1 정도를 유지하였다.

5. 칼슘의 체내 보유량 및 소화흡수량

칼슘섭취량, 변중 칼슘 배설량, 뇨중 칼슘 배설량, 칼슘 보유량[보유량 = 섭취량 - (변중 배설량 + 뇨중 배설량)] 및 칼슘 흡수량[흡수량 = 섭취량 - 변중 배설량]은

Table 3. Contents of calcium in serum, liver and kidney of postmenopausal osteoporosis model rats fed experimental diets

	Serum Ca (mg/100ml)	Liver ( $\mu$ g/g)	Kidney (mg/g)
Basal	5.00 $\pm$ 0.59 <sup>b1)</sup>	9.66 $\pm$ 7.68 <sup>b</sup>	0.36 $\pm$ 0.73 <sup>b</sup>
Casein			
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	6.14 $\pm$ 0.37 <sup>a2)</sup>	19.67 $\pm$ 4.84 <sup>a</sup>	0.73 $\pm$ 0.30 <sup>ab</sup>
BBA	6.26 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	15.03 $\pm$ 4.40 <sup>ab</sup>	0.74 $\pm$ 0.43 <sup>ab</sup>
ISP			
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	5.49 $\pm$ 1.26 <sup>ab</sup>	19.78 $\pm$ 7.24 <sup>a</sup>	0.82 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>
BBA	6.12 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	11.09 $\pm$ 3.33 <sup>b</sup>	0.40 $\pm$ 0.30 <sup>b</sup>

1) Mean  $\pm$  SD of 6 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at  $p < 0.05$

Table 4. Wet weight, length and breaking force of femur in postmenopausal osteoporosis model rats fed experimental diets

	Wet wt. <sup>3)</sup> (g)	Length <sup>4)</sup> (cm)	Breaking force (kg/g wet)
Basal	1.06 $\pm$ 0.14 <sup>c1)</sup>	3.11 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	10.05 $\pm$ 3.14 <sup>c</sup>
Casein			
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.42 $\pm$ 0.13 <sup>b2)</sup>	3.24 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	17.26 $\pm$ 3.50 <sup>b</sup>
BBA	1.49 $\pm$ 0.07 <sup>ab</sup>	3.24 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	18.39 $\pm$ 2.00 <sup>ab</sup>
ISP			
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.51 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	3.20 $\pm$ 0.11 <sup>ab</sup>	17.75 $\pm$ 2.87 <sup>b</sup>
BBA	1.54 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	3.23 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	22.05 $\pm$ 3.56 <sup>a</sup>

1) Mean  $\pm$  SD of 6 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at  $p < 0.05$

3) Total weight of left and right femur

4) Mean length of left and right femur

Table 6에 제시하였다. Basal군은 칼슘의 보유량이 음(-)의 값을 보였으며, 흡수량도 매우 적었다. 칼슘 보충 식이에 따라 칼슘급원에 따른 1일 칼슘 섭취량은 유의적인 차이가 없었다. 그러나 변종 칼슘 배설량의 경우 인산 칼슘 섭취군이 소뼈회분 섭취군보다 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 또한 카제인 섭취군에서 칼슘의 종류에 따라 보유량 및 흡수량에 유의차가 존재하지 않았으나 대두단백질 섭취군에서는 소뼈회분 섭취군에서 칼슘보유량과 흡수량이 유의적으로 높은 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

## 고 찰

노령화에 따라 발생빈도가 높은 골다공증과 골절 문제는 노령화 사회에 대비해서 중요한 보건문제로 다루어지

고 있다<sup>1-3)</sup>. 특히 폐경 후 여성에게 그 발생빈도가 높기 때문에, 여러 연구자들은 암컷 실험동물을 난소절제로 폐경을 유도한 후 저 칼슘식을 3주간 이상 급여함으로써 폐경 후 골다공증에 유사한 실험모델을 설정하여 여러가지 발병요인에 대하여 검토하여 왔다<sup>8)12)</sup>. 지금까지 대부분의 연구결과에서 난소절제 및 저칼슘 식이의 섭취로 유발된 폐경 후 골다공증 모델 흰쥐의 특징으로 혈청 칼슘농도 뿐 아니라 골격의 칼슘대사와 밀접한 관계가 있는 뼈의 무게와 길이, 강도, 칼슘 함량 및 Ca:P비 등이 유의적으로 감소함을 보고하였으며<sup>8)12)17-18)</sup>, 본 연구 결과에서도 같은 경향을 보였다. 본 연구자들은 이미 난소절제 후 4주간의 칼슘 결핍 식이 급여로 설정된 골다공증 모델 흰쥐의 칼슘대사와 칼슘의 양적 급여 수준의 영향에 대해서 검토·보고한 바 있다<sup>12)</sup>.

본 연구에서는 기존 연구를 토대로 난소절제 후 3주간

**Table 5.** Contents of ash, calcium and phosphorus of femur in postmenopausal osteoporosis model rats fed experimental diets

	Ash (mg/g)	Ca (mg/g)	P (mg/g)	Ca:P
Basal	183.8 ± 21.4 <sup>c1)</sup>	26.2 ± 13.0 <sup>d</sup>	28.9 ± 3.0 <sup>b</sup>	0.9 ± 0.4 <sup>c</sup>
Casein				
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	271.5 ± 19.0 <sup>ab2)</sup>	75.9 ± 11.6 <sup>bc</sup>	38.3 ± 3.8 <sup>a</sup>	2.0 ± 0.4 <sup>b</sup>
BBA	285.1 ± 30.6 <sup>ab</sup>	79.1 ± 12.7 <sup>abc</sup>	37.8 ± 2.9 <sup>a</sup>	2.1 ± 0.2 <sup>ab</sup>
ISP				
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	264.4 ± 25.0 <sup>b</sup>	68.8 ± 2.7 <sup>c</sup>	39.5 ± 3.8 <sup>a</sup>	1.8 ± 0.2 <sup>b</sup>
BBA	297.5 ± 18.7 <sup>a</sup>	91.0 ± 5.5 <sup>a</sup>	38.6 ± 5.5 <sup>a</sup>	2.4 ± 0.2 <sup>a</sup>

1) Mean ± SD of 6 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at  $p < 0.05$

**Table 6.** Daily Ca intake, fecal and urinary Ca excretion, Ca retention and apparent absorption in postmenopausal osteoporosis model rats fed experimental diets

	Ca Intake (mg/d)	Fecal Ca Excretion (mg/d)	Urinary Ca Excretion (mg/d)	Ca Retention <sup>3)</sup> (mg/d)	Apparent Absorp. Ca <sup>4)</sup> (mg/d)
Basal	4.95 ± 0.91 <sup>c1)</sup>	5.80 ± 0.49 <sup>c</sup>	0.05 ± 0.02 <sup>c</sup>	-0.90 ± 0.91 <sup>d</sup>	4.37 ± 0.91 <sup>d</sup>
Casein					
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	115.51 ± 29.43 <sup>b2)</sup>	58.50 ± 28.57 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.35 <sup>a</sup>	56.53 ± 29.43 <sup>c</sup>	57.01 ± 29.43 <sup>c</sup>
BBA	105.24 ± 12.60 <sup>b</sup>	35.11 ± 17.32 <sup>ab</sup>	0.48 ± 0.34 <sup>a</sup>	69.65 ± 12.60 <sup>c</sup>	70.13 ± 12.60 <sup>bc</sup>
ISP					
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	141.94 ± 6.49 <sup>a</sup>	63.68 ± 44.31 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.29 <sup>a</sup>	77.87 ± 6.40 <sup>b</sup>	78.26 ± 6.40 <sup>bc</sup>
BBA	134.67 ± 17.40 <sup>a</sup>	37.64 ± 18.18 <sup>ab</sup>	0.17 ± 0.07 <sup>bc</sup>	96.94 ± 17.40 <sup>a</sup>	97.03 ± 17.40 <sup>a</sup>

1) Mean ± SD of 6 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at  $p < 0.05$

3) Ca intake-(fecal and urinary Ca excretion)

4) Ca intake-fecal Ca excretion

## 골다공증 흰쥐의 칼슘대사에 대한 소뼈회분의 섭취 효과

의 칼슘결핍 식이를 급여함으로써 폐경후 골다공증 실험 모델 흰쥐로 설정하였으며, 칼슘과 인을 요구량 2배인 충분량의 급여수준에서 칼슘급원의 질적 검토를 시도하였다. 즉, 흰쥐를 난소절제 후 저 칼슘식이(칼슘함량 0.06%)를 3주간 이상 급여했을 때, 혈청 칼슘 농도 뿐 아니라 골격 칼슘 함량과 강도는 정상수준 이하로 감소하였다(Table 3, 5). 이러한 골다공증 모델 흰쥐에게 3주간 동안 칼슘을 충분량 급여했을 때, 혈중 칼슘 농도 뿐 아니라 측정된 대부분의 골격 칼슘대사 관련 인자들이 호전되었다(Table 3, 5). 이 때 칼슘 급원의 종류에 따른 섭취효과는 단백질 종류에 따라 다소 다르게 평가되었다. 단백질 급원이 카제인인 경우, 소뼈회분과 인산칼슘의 섭취효과는 거의 동일하게 나타났으나, 대두단백질인 경우, 소뼈회분의 효과가 인산칼슘에 비해 뼈의 강도, 회분과 칼슘함량에 있어서 보다 높은 값을 나타냈다(Table 4, 5). 이러한 결과는 단순히 칼슘 종류나 단백질 종류에 따른 체내 칼슘이용성의 차이에만 기인한다기 보다는 식이단백질과 소뼈 회분칼슘의 상호복합적인 요인의 작용에 기인할 것으로 사료되나, 본 실험 결과(Table 6)에서 적어도 장관내 칼슘 흡수량의 차이가 하나의 주요 요인에 틀림없다고 본다.

Greger등은<sup>7)</sup> 탈지유와 여러종류의 시판 칼슘보충제의 체내이용성을 정상적인 성장기 흰쥐를 이용하여 비교한 결과, 거의 차이가 없음을 보고했고, Kobayashi등<sup>5)</sup>도 성장기 흰쥐에서 3종의 칼슘염의 체내이용성을 비교했을 때, 차이가 없다고 보고했다. 최근 이와 장<sup>11)</sup>은 3종류의 칼슘급원 식품의 체내이용성을 비교했을 때, 큰 차이를 보이지 않았다.

한편 Ezawa와 Arai<sup>18)</sup>은 본 실험과 거의 비슷한 조건의 골다공증 모델 흰쥐에서 소뼈분말과 탄산칼슘염의 섭취효과를 비교했을 때, 뼈의 강도와 뼈 중 칼슘함량에 있어서 소뼈분말의 우위성을 보고하였다. 또 Okano등<sup>6)</sup>은 Vit. D 결핍흰쥐에서 소뼈분말이 탄산칼슘염에 비해 체내 칼슘이용성이 우월하다고 보고했다. 본인 등<sup>13)</sup>의 선행 연구에서는 정상 흰쥐에서는 탄산칼슘, 인산칼슘, 소뼈분말, 소뼈회분 등 칼슘급원에 따른 체내 칼슘이용성에 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 칼슘결핍 흰쥐에서는 소뼈회분 칼슘이 인산칼슘에 비해 높게 평가되었다. 또 본 연구 결과에서 골다공증 흰쥐에서도 소뼈회분 칼

슘의 체내이용성이 높게 평가되었다.

이상의 실험 연구결과를 종합고찰해 볼 때, 칼슘의 체내이용성은 정상적인 실험동물에서는 칼슘급원에 따라 큰 차이가 없으나, 칼슘결핍, Vit. D 결핍 또는 골다공증과 같이 체내 칼슘대사의 불균형이나 요구도가 큰 동물의 경우에는 차이를 보여 대체로 무기칼슘염 보다는 유기질의 칼슘급원이 보다 유리한 것으로 고찰된다. 이에 대해 Okano<sup>6)</sup>등은 소뼈분말 중 Vit. D를 활성화하는 요인의 존재를 시사했고, Ezawa등<sup>18)</sup>은 소뼈분말 중 골격칼슘대사를 촉진하는 미지의 물질의 존재를 시사했다. 이에 부가하여 본 연구결과에서는 소뼈 회분 칼슘의 높은 장관내 칼슘흡수율을 제시하였다.

결론적으로 소뼈회분은 칼슘급원 또는 보충제로서 매우 유효하게 이용될 수 있으며, 단백질 급원을 주로 식물성 식품에 의존하고 골격이 약화되기 쉬운 즉, 영양적, 신체적, 생리적 요인이 취약한 여성 노인들에게는 보다 유리한 칼슘공급원이 될 수 있다고 사료된다.

## 요약 및 결론

난소절제 및 칼슘 결핍식이의 급여로 설정한 폐경 후 골다공증 실험모델 흰쥐에 있어서 계속적인 칼슘결핍식이 급여군에 있어서, 혈청 및 뼈조직의 칼슘함량과 뼈의 강도는 비정상적으로 낮은 수준을 나타냈다. 한편 골다공증 실험모델 흰쥐에게 식이칼슘을 정상수준 이상으로 급여했을 때, 뼈조직의 칼슘함량과 뼈의 강도는 유의적인 증가효과를 보였다( $p < 0.05$ ). 이때 식이 단백질로서 카제인을 섭취한 동물에 있어서는 체내 칼슘이용성에 대한 인산칼슘과 소뼈회분의 섭취효과에서 차이가 거의 없었다. 그러나 대두단백질을 섭취한 동물에 있어서는 뼈조직의 강도, 조회분과 칼슘함량 및 Ca:P비가 소뼈회분을 섭취한 군에서 인산칼슘을 섭취한 군보다 유의적으로 높았다. 체내 칼슘보유량 및 흡수량도 소뼈회분을 섭취한 군에서 높았다.

결론적으로 골다공증 실험모델 흰쥐에 있어서 소뼈회분은 칼슘급원으로서 그 유효성이 인정되었으며, 대두단백질 섭취시에는 인산칼슘보다도 더 우수한 체내 칼슘이용성을 나타냈다.

따라서 단백질 급원을 주로 식물성 식품에 의존하는

우리나라 노인 여성들의 식생활 현황과 그들의 영양적, 신체적, 생리적 요인이 취약함을 고려할 때, 소뼈 회분은 보다 유리한 칼슘공급원 또는 보충제로서 이용될 수 있음이 제안된다.

### Literature cited

- 1) Allen LH, Wood RJ. Calcium and phosphorus. In : Shils ME, Olson JA, Shike M. eds. : Modern Nutrition in Health and Disease, 8th ed, pp144-163, Lea & Febiger, 1994
- 2) Scalmati A, Lipkin M, Newmark H. Calcium, Vitamin D and Colon cancer. In : Chernoff R, Heaney RP ed. : Clinics in Applied Nutrition, pp67-74, Andover Med, 1992
- 3) Heaney RP. Nutritional factors in osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 13 : 287-316, 1993
- 4) Recker RR, Bammi A, Barger-Lux J, Heaney RP. Calcium absorbability from milk products, and imitation milk and calcium carbonate. *Am J Clin Nutr* 47-95, 1988
- 5) Kobayashi T, Okano T, Masuda S. Comparison of three kinds of Ca compounds with regard to their bioavailability as Ca source. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 40 : 293-298, 1987
- 6) Okano T, Tsugawa N, Higashino R, et al. Effects of bovine bone powder and calcium carbonate as a dietary calcium source on plasma and bone calcium metabolism in rats. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 44 : 479-485, 1991
- 7) Greger JL, Krzykowski CE, Khazen RR, Krashoc CL. Mineral utilization by rats fed various commercially available calcium supplements or milk. *J Nutr* 117 : 717-724, 1987
- 8) Ezawa I. Studies on calcium metabolism. *Jap J Home Econo* 38 : 695-703, 1987
- 9) Heaney RP, Saito Y, Orimo H. Effects of casein phosphopeptide on absorbability of co-ingested calcium in normal postmenopausal women. *J Bone Miner Met* 12 : 77-81, 1994
- 10) Lee YS, Park JA, Naito H. Supplemental effect of casein phosphopeptide(CPP) on the calcium balance of growing rats. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 45 : 333-338, 1992
- 11) 이성현 · 장순옥. 칼슘공급원으로서 건멸치, 두부, 탈지분유의 체내이용성 연구. *한국영양학회지* 27 : 473-482, 1994
- 12) 오주환 · 이연숙. 난소절제 골다공증 모델 흰쥐의 체내 칼슘 이용성 저하에 대한 칼슘섭취 수준의 효과. *한국영양학회지* 26 : 277-285, 1993
- 13) 이연숙 · 박정희 · 오주환 · 최창원. 칼슘공급원으로서 소뼈회분 및 소뼈분말의 체내이용성 연구. *한국농촌생활과학회지* 3 : 27-36, 1992
- 14) Lee YS, Noguchi T, Naito H. Phosphopeptides and soluble calcium in the small intestine of rats given a casein diet. *Br J Nutr* 43 : 457-467, 1980
- 15) Fisk CH, Subbarow Y. The colorimetric determination of phosphorus. *J Biol Chem* 66 : 375-400, 1925
- 16) Mitruka BM, Rawsley HM. Clinical biochemical reference value, In : Clinical biochemical and hematological reference values in normal experimental animals and normal humans, 2nd Ed. p153 Masson, 1981
- 17) Omi N, Morikwa N, Hoshina A, Ezawa I. The effect of globin powder on bone mineral density in model rats with postmenopausal osteoporosis. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 45 : 271-276, 1992
- 18) Ezawa I, Arai F. The effect of cow bone powder on osteopenia of rat model of postmenopausal osteoporosis. *Jap J Home Econo* 34 : 555-559, 1983