

난각 칼슘의 생체 이용성에 관한 연구

장 순 옥

수원대학교 생활과학대학 식품영양학과

A Study on the Calcium Bioavailability of Eggshell Powder in the Growing Rats

Chang, Soon Ok

Department of Food and Nutrition, College of Human Ecology, The University of Suwon, Whasung, Kyunggi 445-743, Korea

ABSTRACT

This study has investigated the bioavailability of calcium in eggshell powder (ESP) for the purpose of reutilizing eggshells as the calcium source. The experiment was designed 2×2 factorial method with two sources, CaCO_3 and ESP, and two levels, 0.2% and 0.4% calcium. Weanling SD rats were assigned randomly to one of 4 groups and provided by one of the isocaloric, 20% casein based 4 different experimental diets for 4 weeks. Deionized water was given and environment was kept from any contamination of minerals. The body weight, diet intake, feed efficiency ratio (FER), bone growth, Ca contents of bones, and apparent absorption were measured. FER (0.38 - 0.40) and kidney weight were not different among groups and the weight and length, Ca content, strength of two bones Tibia and Femur were not affected by Ca sources except Femur Ca content. Ca content of Femur was greater in ESP groups than that of CaCO_3 groups. The body weight gain, bone growth, the Ca contents and strength of bones were significantly greater in 0.4% calcium groups suggesting 0.2% calcium is not sufficient for the optimum growth in the growing rats. These results indicate that ESP be a proper Ca source comparable or superior to CaCO_3 . However the apparent absorption rate of final 3 days of feeding did not support the observed results showing lower rate in ESP than CaCO_3 groups. Further study be needed in the absorption aspect. (*Korean J Nutrition* 36(7): 684~690, 2003)

KEY WORDS : eggshell powder, calcium source, calcium bioavailability, bone growth.

서 론

우리나라 전체적으로 일부 미량 영양성분, 특히 칼슘은 그 평균 섭취량이 497 mg으로 한국인 영양권장량의 70% 수준이며 권장량의 75%에 미치지 못하는 인구비가 50% 이상인 것으로 2001년 국민 건강 영양조사는 보고하고 있다.¹⁾ 2010년 국민 건강증진을 위한 영양목표에 권장량 수준에 맞는 칼슘영양 섭취 인구 비율을 50% 수준으로 향상시키는 항목이 있다.²⁾ 그러나 칼슘의 중요 급원인 우유 및 유가공품의 섭취량이 증가되었다고는 하나 87 g/1일¹⁾ 수준으로 한국인이 일상 식품을 통하여 권장량을 확보하는 것은 상당히 어려울 것으로 전망된다.

더욱 최근 선진국들은 영양권장량의 재 설정에서 지금까

지의 영양균형연구 (balance study)나 요인가산법 (factorial method)에 의해 산정된 칼슘권장량을 골다공증을 예방할 수 있는 최대 골밀도 (peak bone mass) 확보라는 기준을 적용하여 적정섭취량 (adequate intake ; AI)을 미국의 경우는 성인은 1000 mg, 65세 이상의 노년기는 1200 mg으로 설정해 두고 있어³⁾ 우리나라 성인과 65세 이상의 노년기 권장량 700 mg을 훨씬 상회하는 수준이다. 충분한 칼슘의 섭취가 골다공증⁴⁻⁷⁾ 뿐만 아니라 순환기 질환의 원인이 되는 고혈압,⁸⁻¹⁰⁾ 고지혈증, 동맥경화와 관련이 있고 당뇨와 대장암 등의 발생 위험을 감소시킬 수 있다는¹¹⁾ 보고들로 인하여 일부 이와 상반되는 칼슘의 영향이 없었다는 보고들이^{12,13)} 있음에도 건강 지향적인 현대인들은 식생활에서 칼슘섭취 향상을 제1의 과제로 꼽고 있다.¹⁴⁾

칼슘을 비롯한 미량 영양성분들은 자연 식품으로 충분한 양을 섭취하기가 어려울 경우에는 보충제 또는 식품의 가공과정에 적절히 첨가한 강화식품으로 영양 결핍된 인구집단들의 식습관의 큰 변화를 요구하지 않고 손쉽게 부족증

접수일 : 2003년 6월 20일

채택일 : 2003년 9월 8일

⁸To whom correspondence should be addressed.

을 예방할 수 있다. 최근 각국에서는 기능성 영양성분으로의 칼슘의 역할이 확대됨에 따라 무기질제 또는 건강보조식품을 위한 다양한 유형의 칼슘급원 시장규모가 확대 추세에 있다. 칼슘 염의 형태로는 CaCO₃, Ca₃(PO₄)₂, Ca lactate, Ca citrate, Ca citrate-malate, Ca sulfate, Ca gluconate 등이 있고, natural products로 우골분 (bonemeal), 폐각분 (oyster-shell powder), 난각분 (eggshell powder), 해조칼슘 등이 시판 제품에 활용되고 있으며 이들 급원들은 칼슘의 함량이나 용해성에서 차이가 있다. 다양한 칼슘급원은 체내 이용성에 유의적 차이가 있다는 보고문들이 많으나¹⁵⁻²⁵⁾ 일관된 경향을 보이지 않는데 이는 연구자와 평가 척도, 실험동물의 생리적 조건 등에 따른 결과라고 본다.

장내 흡수가 제한되는 칼슘은 섭취하는 칼슘의 총 함량과 함께 그 생체 이용효율이 급원으로서의 유용성을 결정하는 중요한 요인이 된다. 최근 국내 연구는 소뼈회분이 인산칼슘 (Ca₃(PO₄)₂)과 비교하여 단백질 급원이 casein일 경우는 차이가 없었으나 대두 단백질에서는 뼈의 성장과 강도를 비교할 때에 더 우수하다는 결과를 보여 주었다.¹⁷⁾ 그러나 소뼈 회분의 칼슘원으로서의 이용은 최근의 국제적인 광우병 파동으로 우려된다. 식품 가공 공정에서 생성되는 폐 난각을 이용한 난각분 (eggshell powder, ESP)은 칼슘 공급원으로 활용될 가능성이 높으나 그 생체 이용효율에 대한 국내 연구보고는 거의 없는 실정이다. Schaafsma 등은 (1999) 난각분의 칼슘이용성을 어린 돼지를 실험동물로 연구한 결과 카제인 식이에서나 대두단백 식이에서 CaCO₃보다 난각분이 첨가된 경우 대변으로 배설되는 칼슘량이 적어 칼슘급원으로 난각분의 유용성을 제시하고 특히 대두단백 식이에서 칼슘급원으로 효과가 좋은 것으로 평가하였다.²⁵⁾ 이 연구자들이 골다공증 환자에게 3 g의 난각분을 Mg와 Vit D₃를 혼합하여 투여한 결과는 4~8개월의 중재 후 척추 골밀도 (bone mineral density)는 비보충 대조군에 비하여 향상되었음을 보였다.²⁶⁾ 슬로바키아 사람을 대상으로 하루에 6 g의 난각분을 보충하였을 때 골다공증을 가진 노인들의 척추 골밀도가 향상되었다고 하며 특히 통증이 상당히 완화되었다는 보고도²⁷⁾ 있어 난각분의 활용가능성이 시사되어왔다.

Natural 칼슘공급원이 골대사에 좋은 영향을 미칠 것으로 예상되지만 안정성이 늘 문제점으로 부각된다. 난각분의 구성성분을 화학적 영양분과 호르몬 함량, 중금속 등을 분석한 최근 보고는²⁸⁾ 안정성에 대한 불안을 해소하였다. 칼슘은 생체 이용에서 다양한 인자의 조절을 받고 공급원에 따라 흡수율에 상당한 차이가 있는 만큼^{15,24,29)} 난각분을 칼슘공급원으로 활용할 가능성을 동물실험을 통하여 검증할 필

요가 있어 본 연구는 실험동물을 활용하여 난각분 칼슘의 생체 이용효율을 조사하였다. 이 연구결과는 난각분이 칼슘영양 개선을 위하여 보다 광범위하게 활용될 가능성이 있는지를 밝혀 줄 수 있을 것이다.

실험재료 및 방법

1. 실험동물 및 실험설계

1) 동물사육

이유한 3주령의 Sprague Dawley 쥐 (체중 60 g 내외, (주) 샘 타코) 35마리를 구입 후 3일 간 pellet diet (신촌사료)으로 환경에 적응시킨 후 한 군에 7마리씩 4군으로 무작위 (random) 배치하였다. 실험식은 칼슘급원으로 CaCO₃, 난각분 (ESP, 풍림산업)을 식이 중 칼슘수준이 0.2% 또는 0.4%가 되도록 2 × 2 factorial design의 4중으로 하였다. 각 군에 실험식이와 탈이온수를 임의 섭취 (ad libitum)하도록 하여 4주간 사육하였고 이 기간 동안 몸무게와 식이 섭취량은 2~3일 간격으로 가급적 동일한 시간에 측정하였다.

실험동물들은 bottom-wired cage에 한 마리씩 분리 사육하였고 사육실 환경은 23 ± 2°C로 유지하였다. 사육 cage와 용기들은 무기질의 오염이 없도록 세척후 0.1% EDTA와 탈 이온수로 처리하여 사용하였다.

2) 실험식이

실험에 사용된 식이는 AIN-93을 기본으로 한 정제식

Table 1. Experimental diet composition

	CaCO ₃ 0.2% Ca	CaCO ₃ 0.4% Ca	ESP 0.2% Ca	ESP 0.4% Ca
Corn starch	503.8 ¹⁾	498.8	503.1	497.4
Casein ²⁾	222	222	222	222
Sucrose	100	100	100	100
Corn Oil	70	70	70	70
Cellulose	50	50	50	50
DL- Methionin	2	2	2	2
Mineral Mix ³⁾	35	35	35	35
Vit Mix ⁴⁾	10	10	10	10
Choline chloride	2	2	2	2
CaCO ₃	5	10	-	-
ESP ⁵⁾	-	-	5.74	11.48
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.175	0.175	0.175	0.175
Total	1000	1000	1000	1000

1) Values are g/kg diet

2) Casein with 89 % purity

3) AIN- 93 Mineral mixture (Ca and Fe free)

4) AIN-93 Vitamin mixture

5) Calcium content of eggshell powder is 38% on the weight base

이로 20% casein을 base로 칼슘의 수준을 조정하였으며 그 조성은 Table 1과 같다. 원료로는 옥수수전분 (동방유량), sucrose (제일제당), 단백질 급원으로는 casein (Murray Goulburn Co-operative Co., Australia), 옥수수기름 (오뚜기), 식이 섬유 (sigma), 비타민혼합제 (Vitamin mixture, Sigma), 칼슘, 철을 제외한 mineral mixture (Sigma), 기타 미량 성분은 시약급을 사용하였다. 식이 중 칼슘공급 원으로는 CaCO_3 와 난각분 (풍림산업)을 실험디자인에 따라 사용하였다. 본 실험에 사용된 난각분 칼슘함량은 38%로 정량되었다.

2. 시료수집 및 분석방법

1) 시료 수집

실험 동물의 마지막 사육 3일간은 대사에서 분변을 수집하고 섭취 식이량을 정확히 측정하였다. 수집된 변은 무게를 측정 후 분석 때까지 냉동 (-20°C 이하) 보관하였다. 실험 동물은 식이 그릇을 제거한 3시간 이후에 마지막 몸무게를 달고 ethyl ether로 마취하여 희생시킨 후 신장, 뒷다리를 분리하였다. 장기는 분리한 즉시 무게를 달고 뒷다리의 대퇴골 (Femur)과 경골 (Tibia)은 양쪽 모두 근육, 인대를 제거 분리 채취한 후 냉동 보관하였다. 보관된 뼈는 해동 후 각 부착물을 깨끗이 제거하고 그 무게와 길이를 측정 한 후 분석에 사용하였다.

2) 칼슘의 겉보기 흡수율 측정

사육 마지막 3일간 식이 섭취량으로 총 칼슘섭취량을 계산하고 이 값에서 3일 동안 수거된 변 중 배설된 칼슘량을 측정하여 제한 값을 흡수량으로 보아 겉보기 흡수율을 산출하였다.

3) 뼈의 성장, 강도 측정

대퇴골 (Tibia), 경골 (Femur)의 무게와 길이를 재고 각 뼈의 강도는 Textrometer (Texture analyser TA-XT2, Stable Micro System, Co. 영국)를 이용하여 길이의 중심 부위의 파단력으로 측정하였다. Test speed는 0.5 mm/second였고 측정값은 peak 값을 취하였다.

4) 총회분량 및 칼슘 함량 측정

칼슘 분석을 위하여 난각분, 조성식이, 분변, 추출한 뼈는 95°C 오븐에 24시간 이상 건조시킨 후 정량된 도가니에 담아 처음 2~3시간은 250°C 에서 회화로 문을 열어 둔 채 가열하고 그 후 600°C 로 온도를 높여 24시간 회화시켜 회백색의 시료를 얻었다. 도가니에 회화된 시료를 6N HCl 용액 10 ml로 녹인 후, 100 ml volumetric flask에 filter paper

간 깔때기를 통해 마지막 농도가 0.1% Lanthanum 용액이 되도록 $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 를 탈이온수에 추가하여 분석 원액 100 ml를 준비하였다. 이들 원액의 일부를 취하여 1차로 50~100배로 희석하고 다시 10~20배로 재 희석하여 1~4 ppm의 정량 분석 범위로 $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 로 희석하였다. Ca 표준곡선은 1~4 ppm 범위로 설정하고 원자 흡광광도계 (Atomic absorption spectrophotometry, Perkin-Elmer 5100 PC AAS, USA)로 422.7 nm에서 측정하였다.

3. 통계처리

본 연구의 모든 분석치는 평균 (mean)과 표준 편차 (standard deviation, SD)로 표시하였다. 칼슘공급원과 수준에 따른 영향은 일반선형 모델 (General Liner Models)을 이용하여 two-way ANOVA로 유의 수준 $p < 0.05$ 로 각 요인 (factor)에 따른 유의적 영향이 있다고 보고하였다. 결과 처리의 전 과정은 SPSS Program Win 8.0 (version 8.0)을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 동물의 성장과 식이효율

실험 4주간의 동물의 성장과 식이 효율에 대한 결과는 Table 2에 나타나 있다. 난각분 (ESP)군은 체중증가와 식이효율에서 CaCO_3 군과 차이가 없었고 칼슘 수준이 0.2%에서 0.4%로 증가함에 따라 칼슘공급원에 관계없이 체중이 유의적 ($p < 0.05$)으로 증가하였다. 이는 칼슘수준이 증가함에 따라 식이 섭취량이 증가함에 의한 것으로 선행 Kochanowski 보고에서²⁰⁾ 0.3%, 0.6% 수준의 CaCO_3 와 CCM (Calcium Citrate-Malate)으로 실험한 결과와 유사하며 CCM 군에서 특히 현저한 체중증가를 보인 점은 본 연구에서 난각분 군과 같은 경향이다. 이는 0.025~0.3% 수준의 칼슘을 함유하는 식이 실험에서 0.2% 이상의 칼슘 (CaSO_4) 수준에서 체중이 더 증가하지 않아 0.2% 칼슘이 쥐의 최대 성장을 지지하는 데 충분할 것이라는 Ranhotra et al 보고와는³⁰⁾ 상반된다.

Ponerros와 Erdman²³⁾은 성장기 쥐의 칼슘 필요량은 0.16%가 한계 (marginal)수준이라 하였다. 정혜경 등은²¹⁾ 칼슘공급원 (CaCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, Ca-citrate, Ca-lactate, Ca-glucuronate)에 따라 식이 섭취량의 차이는 없으나 체중증가는 유의적 차이가 있다고 하였고 유사한 실험조건에서 또 다른 연구자들의 보고²²⁾는 어느 쪽에서도 유의적 차이를 보이지 않았다. 본 연구와 Kochanowski의 보고는 칼슘공급원에 따라 0.6% 이하의 칼슘 수준에서는 성장에 차이가 있

음을 시사한다. 식이효율은 공급원이나 수준에 따른 유의적 차이가 없이 유사한 수준인 0.38~0.40을 보였다. 본 실험 동물의 신장무게(Table 2)는 군간에 유의적 차이가 없어 난각분이 포함하는 무기질이나 기타 성분이 동물의 대사에 부정적 영향이 없었다고 본다.

2. 뼈의 성장, 칼슘함량, 및 강도

실험동물의 뒷다리 뼈인 경골 (Tibia)과 대퇴골 (Femur)의 무게, 길이, 칼슘함량과 강도에 대한 결과는 Table 3과 4에 나타나있다. 칼슘공급원인 CaCO₃와 난각분은 두 뼈 모두에서 무게와 길이로 본 성장에서는 차이를 보이지 않았고 칼슘함량에서는 대퇴골에서만 난각분 투여군에서 더 높은 값을 보였다. 성장기에 있는 본 연구의 쥐에서 0.2% 칼슘 군들은 경골에서는 길이나 무게 모두에서, 대퇴골에서는 무

계에서 칼슘공급원인 CaCO₃나 난각분에 관계없이 0.4% 칼슘군들보다 유의적으로 (p < 0.05) 저하되었다 (Table 3과 4). 뼈에 따라 다른 반응을 보이기 는 하나 어린 동물의 경우 칼슘의 식이 수준이 0~0.6% 수준에서 체중증가, 뼈의 성장에 유의적으로 향상되며 뼈의 칼슘의 함량에서는 더욱 차이를 보이는 것으로 선행 문헌들은^{20,23,24,30)} 밝히고 있다. 본 연구에서도 두 종류의 뼈 모두에서 100 g 당 뼈무게 (Table 3과 4)를 볼 때 공급 칼슘은 외형상의 체중증가 이상으로 뼈의 무게에 영향을 미쳐 칼슘공급원에 관계없이 공급칼슘의 양이 0.2%에서 0.4%로 증가함에 따라 유의적으로 (p < 0.05) 뼈 무게가 증가하였다. 경골과 대퇴골 칼슘 함량은 급원에 관계없이 0.4% Ca 군에서 유의적으로 (p < 0.01) 증가하였다. 대퇴골에서는 난각분 투여군에서 CaCO₃ 군에 비하여 16~26% 더 증가되었으며 그 차이는 유의적

Table 2. Body and organ weight, food intake, and food efficiency ratio of rats fed different source and level of calcium

	Initial body wgt (g)	Final body wgt (g)	Total food intake (g)	FER ⁴⁾	Kidney weight (g)
CaCO ₃ ²⁾ 0.2% Ca	73.0 ¹⁾ ± 2.65	250.4 ± 22.08	455.5 ± 41.01	0.39 ± 0.006	1.22 ± 0.11
CaCO ₃ 0.4% Ca	72.9 ± 2.54	258.5 ± 20.77	458.8 ± 28.64	0.40 ± 0.012	1.19 ± 0.06
ESP 0.2% Ca	72.8 ± 2.60	229.4 ± 13.43	417.1 ± 21.05	0.38 ± 0.045	1.08 ± 0.10
ESP 0.4% Ca	72.4 ± 2.97	257.0 ± 13.04	470.2 ± 32.98	0.39 ± 0.007	1.23 ± 0.09
Ca Source (A) ³⁾	NS	NS (0.129)	NS (0.295)	NS (0.323)	NS (0.280)
Ca Level (B)	NS	* (0.021)	* (0.036)	NS (0.159)	NS (0.100)
A × B	NS	NS (0.189)	NS (0.061)	NS (0.999)	* (0.017)

1) Values are mean ± SD with n = 6-7 per group

2) CaCO₃ 0.2% Ca: diet contains 0.2% calcium with CaCO₃
CaCO₃ 0.4% Ca: diet contains 0.4% calcium with CaCO₃
ESP 0.2% Ca: diet contains 0.2% calcium with eggshell powder
ESP 0.4% Ca: diet contains 0.4% calcium with eggshell powder

3) Significance for factors, calcium source (A) and calcium level (B), or interaction (A × B) are analysed by two-way ANOVA significant as follows, NS: not significant at p < 0.05, *: significant at p < 0.05

4) FER (Food efficiency ratio): weight gain (g)/food intake (g) for 4 weeks

Table 3. Weight, length, calcium content and breaking force of tibia

	Weight (mg)	Weight (g)/100 g BW ³⁾	Length (mm)	Calcium content (mg)	Breaking force (kg)
CaCO ₃ 0.2% Ca	526.7 ± 28.59	0.211 ± 0.0088	36.7 ± 0.48	39.4 ± 6.97	5.31 ± 0.339
CaCO ₃ 0.4% Ca	611.6 ± 42.78	0.237 ± 0.0119	37.1 ± 0.69	44.2 ± 3.68	6.57 ± 0.582
ESP 0.2% Ca	524.2 ± 24.89	0.229 ± 0.0083	36.7 ± 0.82	37.0 ± 5.85	5.65 ± 0.701
ESP 0.4% Ca	593.3 ± 48.29	0.231 ± 0.0118	37.5 ± 1.05	44.2 ± 4.12	6.62 ± 0.512
Ca Source (A) ²⁾	NS (0.486)	NS (0.170)	NS (0.616)	NS (0.552)	NS (0.384)
Ca Level (B)	*** (0.000)	** (0.002)	* (0.050)	** (0.009)	*** (0.000)
A × B	NS (0.598)	** (0.007)	NS (0.512)	NS (0.577)	NS (0.517)

1) Values are mean ± SD with n = 6-7

2) Significance for factors, calcium source (A) and calcium level (B), or interaction (A × B) are analysed by two-way ANOVA significant as follows, NS: not significant at p < 0.05, *: significant at p < 0.05, **: significant at p < 0.01,

***: significant at p < 0.001

3) BW: body weight

Table 4. Weight, length, calcium content and breaking force of Femur

	Weight (mg)	Weight (g)/100 g BW ³⁾	Length (mg)	Calcium content (mg)	Breaking force (mg)
CaCO ₃ 0.2% Ca	668.1 ± 25.56	0.268 ± 0.0238	32.4 ± 0.53	45.0 ± 6.09	8.65 ± 1.39
CaCO ₃ 0.4% Ca	787.0 ± 58.35	0.305 ± 0.0110	32.1 ± 0.69	60.8 ± 4.84	12.35 ± 0.92
ESP 0.2% Ca	678.8 ± 16.90	0.297 ± 0.0193	32.0 ± 0.00	52.0 ± 5.27	9.08 ± 1.37
ESP 0.4% Ca	769.0 ± 46.41	0.299 ± 0.0101	32.5 ± 0.55	77.1 ± 15.40	11.4 ± 0.78
Ca Source (A)	NS (0.822)	NS (0.104)	NS (0.864)	** (0.004)	NS (0.588)
Ca Level (B)	*** (0.000)	** (0.009)	NS (0.609)	*** (0.000)	*** (0.000)
A × B	NS (0.381)	* (0.020)	NS (0.070)	NS (0.205)	NS (0.156)

1) Values are mean ± SD with n = 6-7

2) Significance for factors, calcium source (A) and calcium level (B), or interaction (A × B) are analysed by two-way ANOVA significant as follows, NS: not significant at p < 0.05, *: significant at p < 0.05, **: significant at p < 0.01, ***: significant at p < 0.001

3) BW: body weight

(p < 0.05%)이었다. 칼슘 생체 이용성에 관한 국내 연구들에 서는 뼈의 무게와 길이를 외국 연구들에서 뼈의 무게나 해면골이나 치밀골의 조직변화 등을 경골 또는 대퇴골을 표 본으로 제시하고 있다. Kochanowski는 이 두 뼈에서 0.3% 와 0.6% 칼슘공급에 따른 무게 차이는 실험식이 4주에서는 차이가 있어서나 12주에서는 차이가 없어졌지만 해면골의 양은 0.6% 공급군에서 여전히 유의적으로 증가되었고 칼슘공급원에 따른 차이도 있었다고 보고했다. 생체 이용성 연 구에서는 투여하는 칼슘의 수준과 투여기간 등에 이 실험의 결과 영향을 미치는 것으로 나타나 본 연구에서 택한 0.2와 0.4% Ca 수준은 적정 수준으로 평가된다. 그러나 실험 기간 의 연장에 따른 실험동물의 저 칼슘적응에 대한 반응은 연 구될 과제이다.

뼈의 강도측정 결과는 칼슘 함량과 마찬가지로 칼슘수준 에 따른 차이는 유의적으로 나타났고 급원에 따른 차이는 없었다. 오주환 등은³¹⁾ 뼈의 강도는 칼슘의 함량과 양의 상관관계를 가진다고 보고하여 본 연구와 국내 칼슘 생체이 용성 연구에서는 강도측정을 활용하나 외국 문헌에서는 이 방법의 적용은 거의 없었다. 칼슘급원, CaCO₃, Ca₃(PO₄)₂, Ca-citrate, Ca-lactate, Ca-gluconate 대한 이용성 연구 결과는 Ca-lactate가 가장 좋은 생체이용성을, Ca-gluco nate가 낮은 이용성을 보였으나,²¹⁾ 또 다른 보고는²²⁾ Ca-gluconate가 체중증가율이 제일 높았고 Ca-lactate는 회 분의 함량은 높았으나 강도나 칼슘함량은 제일 낮아 앞서 연구보고자와는 상반된 결과를 보고하고 있다. 이러한 차이 는 실험동물의 성장생리, 공급 칼슘의 수준, 실험 기간, 선택 한 뼈 등 여러 요인이 관련된 것으로 본다. 또한 칼슘의 생 체 이용성 연구를 위한 적합한 표준 실험모델이 필요함을 시사한다. 본 연구의 대조군에서 사용된 CaCO₃는 여러 급 원 중 보통 수준의 이용성을 나타내었다.

Table 5. Calcium intake, excretion, and apparent absorption

	Ca intake/day (mg)	Ca excretion/day (mg)	Apparent absorption (%)
CaCO ₃ 0.2% Ca	35.7 ± 4.0	1.68 ± 0.383	95.3 ± 2.75
CaCO ₃ 0.4% Ca	78.9 ± 6.6	15.07 ± 0.835	80.8 ± 3.20
ESP 0.2% Ca	32.8 ± 4.1	3.51 ± 0.675	88.4 ± 8.34
ESP 0.4% Ca	79.0 ± 6.3	29.73 ± 2.139	63.2 ± 7.98
Ca Source (A)	NS (0.51622)	*** (0.000)	*** (0.000)
Ca Level (B)	*** (0.000)	*** (0.000)	*** (0.000)
A × B	NS (0.478)	*** (0.000)	** (0.050)

1) Values are mean ± SD with n = 6-7

2) Significance for factors, calcium source (A) and calcium level (B), or interaction (A × B) are analysed by two-way ANOVA significant as follows, NS: not significant at p < 0.05, **: significant at p < 0.01, ***: significant at p < 0.001

3. 칼슘의 결보기 흡수율

실험 종료전 3일간의 식이 칼슘섭취량과 변 중 칼슘 배설량에서 산출한 결보기 흡수 (apparent absorption)에 대 한 자료는 Table 5에 제시하였다. 칼슘급원과 수준의 두 요인에 따라 변 중 배설량에 차이가 있어 결보기 흡수율은 난각군, 고칼슘군이 유의적으로 낮았으며 이들 두 요인간의 상호 작용으로 난각분 0.4% Ca군이 상당히 낮은 이용성 (63.2%)을 보였다. 이 결과는 앞서 두 뼈에서 보여준 급원 간의 차이가 없음과는 상반되며 또 어린 돼지에서 난각분이 CaCO₃보다 이용성이 좋았다는 결과와도²⁵⁾ 차이가 있다. 결 보기 흡수율은 동물을 희생하지 못하는 *in vivo* 실험에서는 칼슘 이용성을 측정하는 중요한 방법이다. 그러나 본 실험 과 같이 장기적 실험식이 투여에서 3일간의 칼슘 균형실험 이 가지는 의의는 뼈 자체의 무게, 칼슘 함량보다는 미약하 다고 보겠다. 또 빠른 성장기에서 칼슘수준이나 급원에 따 라 성장이 지연된 동물들에서는 따라잡기 성장 (catch-up

growth)을 위해 칼슘의 이용성이 실험종료 시점에서는 증가하였을 수도 있다고 본다.

칼슘 염들은 흡수율이 제한되어 높게는 34~36% 수준이며 Ca oxalate는 10.2%로 아주 낮은 흡수율을 나타낸다는 보고들이 있으나⁵⁾ 흡수율은 투여량에 아주 민감하여 적은 투여량에서는 흡수율이 거의 70~80%이상에 이른다고도 한다. 국내 연구결과들에서 칼슘의 겉보기 흡수율은 칼슘을 식이의 0.5% 수준으로 투여하였을 때 실험동물의 주령, 급원칼슘에 따라 47~95.6% 수준으로 넓게 분포되어 있었다. 이에 비하여 실제 뼈의 성장, 칼슘함량에서는 큰 차이를 보이지 않아 단기간의 겉보기 흡수율이 칼슘의 이용성 척도로 이용하는 것에 대한 재고가 요망된다.

결론

본 연구는 한국인의 칼슘영양 향상을 위한 칼슘급원으로 서 난각분의 효용성을 성장기 흰쥐를 이용하여 실험하였다. 난각분 (ESP)은 성장기 흰 쥐에서 뒷다리 뼈인 경골과 대퇴골에서 CaCO₃와 차이가 없이 뼈의 무게나 길이 성장, 강도에 기여하였고, 칼슘 함량에서는 대퇴골에서 더 우수한 결과를 보였다. 성장하는 쥐에서 0.2% 수준의 칼슘은 공급원에 관계없이 체중의 증가나 뼈의 발육, 특히 무게와 칼슘함량의 증가에 충분하지 못함을 나타내었다. 이러한 결과는 난각분이 칼슘공급원으로 CaCO₃와 동일하거나 오히려 더 우수함을 시사한다. 그러나 단시간의 겉보기 흡수율에서는 난각분이 CaCO₃보다 낮아 뼈의 성장에 나타난 결과를 뒷받침하지 못했다. 흡수율에 관해서는 추 후 연구가 더 필요하다고 본다.

본 연구 결과로 난각분이 칼슘공급원으로 일반적으로 사용되는 CaCO₃보다 나은 급원으로, 단위 무게당 함량도 높아 (38%) 무기질보충제나 가공식품의 칼슘 강화제로 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다. 또 다량의 칼슘이 요구되는 폐경기 이후의 여성들이나 골다공증 환자를 위한 칼슘보충제 개발에 흡수와 대사를 도우는 Vitamin D, isoflavon 등과 함께 활용될 수 있을 것이다. 최근 국제적 추세는 칼슘의 적정섭취량 (adequate intake)을 상향 조정하는 경향이며 이는 전 연령층의 칼슘섭취량을 일반 식사에서 확보할 수 있는 이상을 권장하여 보충제나 칼슘강화 식품의 이용이 불가피하게 되었다. 우리나라는 칼슘섭취량이 권장량의 75% 수준에 미치지 못하는 인구비가 50%가 넘는다는 점을 감안할 때 칼슘 강화식품이나 보충제 개발에 적극적인 지원이 바람직하며 폐난각분은 우수한 칼슘급원으로 그 산업적 개발은 의의가 있다고 사료된다.

■ 감사의 글

본 보고는 오투기재단 학술연구 지원사업(2001년)으로 수행된 연구의 일부입니다.

지원에 깊은 감사를 드리며 난각분을 제공해 주신 풍림산업에도 감사드립니다.

Literature cited

- 1) Korean Health Industry Development Institute/Ministry of Health and Welfare. 2001 national health and nutrition survey report, 2003
- 2) Korean Health Industry Development Institute, 2010 Objectives and strategy for national health promotion, 2000
- 3) FNB/Institute of Medicine. Dietary reference intakes. Calcium, phosphorus, magnesium, Vit D and fluoride. National Academy Press, Washing D.C., 1997
- 4) Teegarden D, Weaver CM. Calcium supplementation increases bone density in adolescent girls. *Nutr Rev* 52(5): 171-173, 1994
- 5) Heaney RP. Nutritional factors in bone health in elderly subjects: methodological and contextual problems. *Am J Clin Nutr* 50: 1182-1189, 1989
- 6) Cooper C, Cawley M, Bhalla A, Egger P, Ring F, Morton L, Barker D. Children growth, physical activity and peak bone mass in women. *J Bone Min Res* 10: 940-947, 1995
- 7) Sandier RB, Slemenda CW, Laporte RE, Cauley JA, Schramm MM, Barresi ML, Kriska AM. Postmenopausal bone density and milk consumption in childhood and adolescence. *Am J Clin Nutr* 42: 270-274, 1985
- 8) Kim HS, Yu CH. The effect of Ca Supplementation on the metabolism of lipid, Na and K and on blood pressure in postmenopausal women. *Korean J Nutrition* 32(1): 30-39, 1999
- 9) Johnson NE, Smith EL, Freudenheim JL. Effect on blood pressure of calcium supplementation of women. *Am J Clin Nutr* 53: 542-546, 1991
- 10) Lee JW, Lee EY, LEE BK. Effect of calcium supplementation on blood pressure response to dietary sodium level in normotensive young korean women with family history of hypertension. *Korean J Nutrition* 32(6): 661-671, 1999
- 11) NIH Consensus Statement. Optimal calcium intake. *J Am Med Assoc* 272: 1942-1948, 1994
- 12) Miller DD. Calcium in the diet: food sources, recommended intakes, and nutritional bioavailability. *Adv Food Nutr Res* 33: 103-156, 1989
- 13) Oh JJ, Hong ES, Baik IK, Lee HS, Lim HS. Effects of dietary calcium, protein, and phosphorus intakes on bone mineral density in Korean premenopausal women. *Korean J Nutr* 29(1): 59-69, 1996
- 14) Chang (Hong) SO. A study on the perception, use, and demand of housewife-consumers for nutrition label. *Korean J Nutrition* 33(7): 763-773, 2000
- 15) Levenson DI, Bockman RS. A review of calcium preparation. *Nutr Rev* 52(7): 221-232, 1994
- 16) Greger JL, Krzykowski CE, Khazen RR, Krashoe CL. Mineral

- utilization by rats fed various commercially available calcium supplements or milk. *J Nutr* 117: 717-724, 1987
- 17) Lee YS, O JH. Effects of bovine bone ash and calcium phosphate on calcium metabolism in postmenopausal osteoporosis model rats. *Korean J Nutrition* 28(5): 434-441, 1995
 - 18) Lee SH, Chang SO. Comparison of the bioavailability of calcium from anchovy, tofu and nonfat dry milk in growing male rats. *Korean J Nutr* 27(5): 473-482, 1994
 - 19) Peterson CA, Eurell JO, Eadman JW. Bone composition and histology of young growing rats fed diets of varied calcium bioavailability: Spinich, Nonfat Dry Milk, or Calcium carbonate added to casein. *J Nutr* 122: 137-144, 1992
 - 20) Kochanowski BA. Effect of calcium citrate-malate on skeletal development in young growing rats. *J Nutr* 120: 876-881, 1990
 - 21) Chung HK, Chang N, Lee HS, Chang YE. The effect of various types of calcium sources on calcium and bone metabolism in rats. *Korean J Nutrition* 29(5): 480-488, 1996
 - 22) Won HR, Oh JH. Effect of calcium supplement on bioavailability of calcium in rats fed soy protein diet. *Korean J Community Living Science* 13(2): 53-61, 2002
 - 23) Poneros AG, Erdman JW. Bioavailability of calcium from Tofu, Tortillas, Nonfat Dry Milk and Mozzarella cheese in Rats: Effects of supplemental ascorbic acid. *J Food Sci* 53(1): 208-210, 1988
 - 24) Allen LH. Calcium bioavailability and absorption: a review. *Am J Clin Nutr* 35: 783-808, 1982
 - 25) Schaafsma A, Beelen GM. Eggshell powder, a comparable or better source of calcium than purified calcium carbonate: piglet studies. *J Sci Food Agric* 79: 1596-1600, 1999
 - 26) Schaafsma A, Van Doormaal JJ, Muskiet FAJ, Hofstede GJH, Pakan I, and Van Der Veer E. Positive effects of a chicken eggshell powder-enriched vitamin-mineral supplement on femoral neck bone mineral density in healthy late post-menopausal Dutch women. *Br J Nutr* 87(3): 267-275, 2002
 - 27) Makai F, Chudacek J. The treatment of osteoporosis with Bio-min-H. *Arch Gerontol Geriatr* 2: 487, 1991
 - 28) Schaafsma A, Pakan I, Hofstede GJH, Muskiet FAJ, Van Der Veer E, De Vries PJF. Mineral, amino acid, and hormonal composition of chicken eggshell powder and the evaluation of its use in human nutrition. *Poultry Science* 79: 1833-1838, 2000
 - 29) Chung CK, Ha KS, Kim HS, Kang IW, Bae BS. Bone growth and calcium metabolism in mouse affected by dietary calcium and calcium-regulating hormone administration. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28(3): 677-684, 1999
 - 30) Ranhotra GS, Gelroth JA, Torrence FA, Bock MA, Winterringer GL. Bread (white and whole wheat) and nonfat dry milk as sources of bioavailable calcium for rats. *J Nutr* 111: 2081-2086, 1981
 - 31) O JH, Lee YS. Effects of dietary levels on the reduction of calcium availability in ovariectomized osteoporosis model rats. *Korean J Nutrition* 26(3): 277-285, 1993