

칼슘급원으로서의 불가사리 칼슘의 체내이용성

이 연 숙 · 문 지 영 · 장 수 정
서울대학교 식품영양학과 · 생활과학연구소

Bioavailability of Starfish Calcium as a Novel Calcium Source

Lee, Yeon Sook · Moon, Ji Young · Jang, Soo Jung

Department of Food & Nutrition, Seoul National University, Seoul, Korea

Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the bioavailability of calcium derived from starfish as a new calcium source. Four-week old Sprague-Dawley female rats were divided 6 groups. The rats were received experimental diets containing two kinds of Ca sources, CaCO₃ or starfish, and three levels of Ca, low (0.1%), medium (0.5%) and high (1.0%), respectively, for 6 weeks. The parameters which related to Ca bioavailability were measured : Serum Ca concentration, Alkaline phosphatase(ALP) and GOT activities ; tissue Ca contents, bone dimension and Ca, P, Mg contents ; Ca retention and apparent absorption. Starfish Ca-fed rats did not show any difference from CaCO₃-fed rats in terms of growth, food intake and FER. Serum Ca, ALP and GOT activities as well as tissue Ca contents were not different between CaCO₃- and starfish Ca-fed groups. Although dimension of femur and lumbar was not different between CaCO₃- and starfish Ca-fed rats, ash content was high in starfish Ca-fed rats. Ca and P contents of femur and lumbar were not different between both groups. Starfish Ca-fed groups showed higher Mg contents than CaCO₃-fed groups in both femur and lumbar. Ca absorption rate and retention rate were significantly higher in starfish Ca-fed rats. These results indicate that Ca derived starfish did not show any negative effect on growth and Ca metabolism of rats compared to calcium carbonate. Starfish Ca can be recommended as a good Ca source on the basis of higher Ca absorption and bioavailability.

Key words: starfish Ca, bioavailablity, Ca sources, Ca absorption

I. 서 론

칼슘은 필수 영양소로서 골격과 치아의 형성, 근육 수축, 신경전도, 신경 전달물질의 방출, 혈

액 응고, 특정 효소의 활성화, 세포분화, 세포막의 투과성, 세포 분열 등 조직과 세포수준에서 여러 생리·생화학적 반응을 조절하고 활성화한다(Anderson & Garner 1996). 2001 국민건강·영

접수일: 2005년 1월 25일 채택일: 2005년 3월 1일

Corresponding Author: Lee, Yeon Sook Tel: 82-2-880-6832

E-mail: lysook@snu.ac.kr

양조사 결과(보건복지부 2002)에 의하면 한국인의 평균 칼슘 섭취량은 권장량의 70% 정도로 미달되며, 권장량의 75% 이하를 섭취한 칼슘 부족 대상자의 수는 전체 국민의 5%에 달하고 있다. 칼슘의 급원 식품으로는 체내 이용성이 비교적 낮게 평가되고 있는 식물성식품이 60%를 차지하고 있어서 우리나라 국민의 칼슘섭취 현황은 양과 질적인 면에서 많은 문제점을 내포하고 있다. 칼슘의 체내이용률은 최대 60%를 넘지 않으며 보통 성인의 흡수율은 25-30%이다(Louie 1996). 이처럼 칼슘은 장내 흡수가 제한되기 때문에 섭취하는 총량과 함께 생체 이용효율이 급원로서의 유용성을 결정하는 중요한 요인이 된다(Allen 1982).

칼슘 섭취는 식품을 통하는 것이 가장 바람직하나(Miller et al. 2001), 식품을 통해 충분한 섭취가 어려울 경우에는 칼슘 보충제 및 칼슘 강화제가 이용될 수 있다. 최근 비만, 골다공증, 고혈압, 고지혈증 등 만성질환에 대한 칼슘의 역할이 강조되면서 무기질보충제 또는 건강기능식품을 위한 다양한 유형의 칼슘급원의 시장규모가 증가하고 있다(장순옥 2003). 현재 시판되고 있는 칼슘급원으로는 calcium carbonate(CaCO_3), calcium citrate-malate(CCM), calcium citrate, calcium phosphate, calcium sulfate, calcium lactate, calcium gluconate 등의 칼슘염, 소뼈분말(bone meal), 난각분말(egg shell), 굴피분말(oyster shell), 해조칼슘 등의 천연소재 칼슘제품을 들 수 있다. 이러한 칼슘염 또는 천연소재 칼슘 제품의 체내 이용성의 평가는 아직도 해결되어야 할 과제로 남아 있다.

불가사리는 일반 어패류에 비해 수분 함량이 적고 회분 함량이 높으며, 무기성분으로 칼슘이 대부분 함유되어 있으며, 마그네슘, 아연, 황 등이 소량 함유되어 있다. 특히 회분 중 96% 이상이 탄산칼슘의 형태로 조성되었다고 알려져 있다(국립수산과학원 분석). 불가사리의 주요 먹이는 전복, 바지락, 피조개 등의 패류이며 한 마리의 불가사리가 하루에 바지락 15-16마리를 먹는 것으로 알려져 있다. 해양수산부에서는 해양생태계 파괴의 주요원인이 되고 있는 불가사리의 구제사업과 더불어 불가사리를 산업에 이용하기 위한 방안으로서 관주시비 및 사료(유남희 등 2002),

폐수 중의 중금속 처리(김근한 등 2002) 및 생리활성물질(강릉대학교 2000)로의 이용방안 등이 검토되어 왔으며, 최근 국립수산과학원(2002)은 불가사리로부터의 칼슘 생산기술 개발에 관한 특허 및 기능성 화장품 신소재인 콜라겐의 추출 기술을 개발하여 많은 주목을 받고 있다(한국일보 2003.02.17).

불가사리에서 추출한 칼슘은 이미 칼슘보충제의 원료로서 식품공전(식품의약품안전청 2001)에 허용되어 있으나, 실험연구를 통한 체내이용성이 검토된 적은 없다. 따라서 본 연구에서는 불가사리에서 추출한 칼슘의 체내이용성을 세 수준에서 평가함으로써, 새로운 천연칼슘소재로서의 이용가능성과 안전성 여부를 실험동물을 이용하여 검증하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험설계

4주령된 암컷 흰쥐(Sprague Dawley rats, female)를 서울대학교 실험동물 사육장에서 구입하여, 평균체중이 약 130g 되었을 때, 각 군당 10마리씩 6군으로 나누었다. 실험군은 칼슘수준에 따라 저, 중, 고 세 수준으로 나누고, 칼슘 수준별로 탄산칼슘을 대조군으로, 불가사리 칼슘을 실험군으로 설정하였다. 칼슘수준은 정상칼슘 수준인 식이 중 0.5%를 기준으로, 저칼슘은 0.1%, 고 칼슘은 1.0%로 설정하였다. 6군의 실험군은 ① 저칼슘-탄산칼슘 (Low Ca- CaCO_3 ; LCaC) ② 저칼슘-불가사리 칼슘 (Low Ca-Starfish Ca; LCaS) ③ 정상 칼슘-탄산칼슘 (Normal Ca- CaCO_3 ; NCaC) ④ 정상칼슘-불가사리 칼슘 (Normal Ca-Starfish Ca; NCaS) ⑤ 고칼슘-탄산칼슘 (High Ca- CaCO_3 ; HCaC) ⑥ 고칼슘-불가사리 칼슘 (High Ca-Starfish Ca; HCaS) 이다. 실험 식이를 6주간 공급하였으며, 실험기간 중 4주째에 대사케이지에 넣어 4일간 대사실험을 실시하였다. 실험식이와 식수는 자유급여법(*ad libitum*)으로 급여하였다. 실험동물 사육실 환경은 온도 $22 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $65 \pm 5\%$ 로 유지하였으며, 명암은 12시간 주기(light; 6:00 a.m.- 6:00 p.m.) 로 조절하였다.

Table 1. Composition of experimental diets¹⁾

	LCa(0.1%)		NCa(0.5%)		HCa(1.0%)	
	LCaC ⁵⁾	LCaS	NCaC	NCaS	HCaC	HCaS
Cornstarch	598.2	598.2	588.2	588.2	575.2	575.2
Casein	140	140	140	140	140	140
Sucrose	100	100	100	100	100	100
Soybean oil	40	40	40	40	40	40
Fiber	50	50	50	50	50	50
Min.Mix. ²⁾ (Ca free)	35	35	35	35	35	35
Vit.Mix. ³⁾	10	10	10	10	10	10
L-Cystine	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
t-Buthylhydroquinone	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Calcium source ⁴⁾	2.5	2.5	12.5	12.5	25	25
PEG	20	20	20	20	20	20

1) Experimental diets were prepared according to AIN-93M composition

2) Mineral mix(g/kg mix) : AIN-93M-MX

3) Vitamin mix : AIN-93-VX

4) Calcium source : CaCO₃ or Starfish calcium

5) LCaC: Low Ca diet(0.1%), CaCO₃ ; LCaS: Low Ca diet(0.1%), Starfish calcium ; NCaC: Normal Ca diet(0.5%), CaCO₃ ; NCaS: Normal Ca diet(0.5%), Starfish calcium ; HCaC: High Ca diet(1.0%), CaCO₃ ; HCaS: High Ca diet(1.0%), Starfish calcium

2. 실험식이

실험식은 정제식이로서 조성은 기본적으로 AIN-93M 패턴을 따랐다(Table 1). 식이내 칼슘을 세 수준 [Low: 0.1%, Normal: 0.5%, High: 1.0%]으로 나누었으며 식이 내 인의 함량은 조정하지 않았다. 불가사리에서 추출한 칼슘 분말은 국립수산물품질관리원(영안화공(주) 제조, 김해)에서 제공받았으며, 주요 무기질 조성(한국기초과학지원연구원 분석: using ICP Atomic Emission Spectrophotometer)은 중량 당 Ca 37.266 %, Mg 2.663%, Na 0.534%, Sr 0.225%, Al 0.032%, P 0.011%, Zn 0.005%가 함유되었다. 대조군의 칼슘급원으로는 탄산칼슘(CaCO₃, Shinyo Pure Chemicals Co. Ltd., Japan)을 이용하였다. 장관 내 식이 이동 marker로서 PEG (polyethylene glycol 4,000)를 포함시켰다.

3. 시료수집

희생시키기 전 하룻밤 절식 후(overnight-fasting),

식이섭취 조건을 일정하게 하기 위해서 1시간 30분 동안 다시 식이를 급여한 다음 식이섭취 종료 1시간 후에 케타라(유한양행)로 마취하여 시료를 채취하였다. 복대동맥에서 혈액을 채취하여 4℃에서 보관하였다가 3000rpm에서 10분간 원심분리(Inverter union 5KR, Hanil Co., Korea)하여 혈청을 분리하였으며, 분석 전까지 -70℃에서 보관하였다. 혈액 채취 후 간과 양쪽 신장을 적출하여 장기에 부착되어 있는 지방이나 근육을 깨끗이 제거한 후 냉장 생리식염수(0.9% NaCl 용액)로 세척하여 혈액을 제거한 다음 여과지로 물기를 닦고 전자천평으로 생조직의 무게를 측정하였다. 양쪽 대퇴골과 요추는 적출한 후 부착되어 있는 근육, 지방, 인대 등 부착물을 모두 제거한 다음 무게와 길이를 측정하였다. 모든 시료는 분석할 때까지 -70℃에서 보관하였다. 분과 노는 4일간 매일 동일한 시간에 수집하였으며, 분은 중량을 측정하고 후, 노는 부피를 측정하고 35% 염산

을 한두 방울 떨어뜨린 후 냉동 보관하였다.

4. 시료분석

혈액의 칼슘농도, Alkaline phosphatase(ALP), GOT 활성은 혈액 자동분석기(fully automated dry chemistry system; SPOTCHEM; Daiichi Kagaku Co., Japan)를 이용하여 측정하였다. 간, 신장, 대퇴 및 요추의 칼슘 및 마그네슘 함량은 각 조직을 냉동건조 후 600℃의 회화로에서 건식 회화시킨 다음, 식혀서 질산용액을 시료가 젖을 정도로 떨어뜨린 후 다시 3시간 동안 회화하여 얻은 회분을 6N HCl 용액으로 용해하였다. 이것을 1% LaCl₃·7H₂O로 회석하여 원자흡광광도계(Atomic absorption spectrophotometer ; GBC 904AA)로 칼슘은 422.7nm에서, 마그네슘은 285nm에서 측정하였다. 인의 처리는 칼슘의 경우와 동일하지만, 3차 증류수로 회석하여 Fisk-Subbarow방법(Fisk & Subbarow 1925)으로 측정하였다. 분은 105℃의 drying oven에서 일정한 무게가 될 때까지 건조시켜 건조량을 측정한 후, 시료를 600℃의 회화로에서 회화시켜 얻은 회분을 조직과 동일한 방법으로 측정하였다. 뇨는 3000rpm에서 20분간 원심분리

(Inverter union 5KR, Hanil Co., Korea)한 후, 상기와 동일한 방법으로 측정하였다. 대퇴골의 파단력은 Instron(Instron Universal Testing Instrument, Model 1000)을 이용하여 측정하였다. 시료수집과 분석에 이용된 모든 초자기구는 10% 염산 용액에 담갔다가 3차 탈이온수로 3회 이상 행구어 사용하였다.

5. 통계분석

실험결과는 SAS program을 이용하여 평균과 표준오차(mean±SE)로 제시하였다. 군 간의 차이는 p< 0.05 수준에서 ANOVA test 후 Duncan's multiple range test에 의해 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 성장, 식이 섭취량 및 식이효율

식이 칼슘 수준에 따른 불가사리 칼슘 섭취에 따른 성장과 식이효율은 Table 2에 제시하였다.

불가사리 칼슘군은 탄산칼슘군과 비교하였을 때, 체중증가량 및 식이효율에서 차이를 보이지 않았다. 칼슘수준에 따라서도 차이가 없었다. 장

Table 2. Body weight, weight gain and food intake of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks

	Initial body weight (g)	Final body weight (g)	Daily weight gain (g/d)	Daily food intake (g/d)	FER (WG/FI)
LCaC ⁴⁾	128.7±3.7 ^{1)NS}	226.5±5.4 ^{NS}	2.3±0.1 ^{NS}	13.1±0.3 ^{2)c}	0.18±0.01 ^{NS}
LCaS	128.2±3.1	228.0±4.8	2.3±0.1	13.5±0.2 ^{abc}	0.18±0.00
NCaC	128.2±2.7	224.6±4.4	2.3±0.1	13.5±0.2 ^{abc}	0.17±0.01
NCaS	128.2±2.5	221.6±3.2	2.2±0.1	13.4±0.2 ^{bc}	0.17±0.00
HCaC	129.3±2.0	226.8±6.7	2.3±0.2	14.0±0.2 ^{ab}	0.16±0.01
HCaS	128.0±2.1	219.8±4.9	2.1±0.1	14.3±0.3 ^a	0.15±0.01
ANOVA ³⁾	NS	NS	NS	Ca ^{**}	NS

1) Values are mean±SE of 10 rats per group

2) Values within the same column with different superscripts are significantly different at p< 0.05 by Duncan's multiple test; NS: not significant

3) ANOVA; Ca: Effect of dietary Ca level (**: significant at p< 0.01)
NS: not significantly different among groups

4) LCaC: Low Ca diet(0.1%), CaCO₃ ; LCaS: Low Ca diet(0.1%), Starfish calcium ; NCaC: Normal Ca diet(0.5%), CaCO₃ ; NCaS: Normal Ca diet(0.5%), Starfish calcium ; HCaC: High Ca diet(1.0%), CaCO₃ ; HCaS: High Ca diet(1.0%), Starfish calcium

순옥(2003)은 성장기 흰쥐에서 난각분(egg shell powder)과 탄산칼슘을 섭취시켰을 때, 이들 두 군의 성장 및 식이효율이 차이가 없었음을 보고하였으며, 칼슘 공급원으로서 건멸치, 두부, 탈지분유를 이용하였을 경우에도 대조군인 탄산칼슘군과 성장 및 식이효율은 차이가 없었다(이성현·장순옥 1994). 한편 칼슘섭취 수준이 성장 및 식이효율에 영향을 미치는데, 저칼슘식이 섭취되고 칼슘식에 비해 체중증가량이 더 높았다(김화영 등 1998). 식이섭취량은 식이 중 칼슘함량이 높을수록 증가하는 경향을 보이나, 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군 간에는 차이가 없었다. 이종현과 이연숙(1999)의 연구에서 고 칼슘 섭취에 따라 식이섭취량이 증가하였으며, Kochanowski 등(1990)도 0.3%, 0.6% 칼슘수준으로 CaCO₃, CCM (calcium citrate-malate)을 식이로 공급하였을 때 칼슘수준이 증가함에 따라 식이 섭취량이 증가함을 보고하였다.

이상의 결과에서 불가사리 칼슘을 섭취한 흰쥐의 성장, 식이섭취량 및 식이효율은 섭취 수준에 상관없이 탄산칼슘 섭취군들과 거의 차이가 없었으므로 불가사리 칼슘의 섭취에 따른 전반적인 성장과 안전성에는 거의 문제가 없는 것으로 사료된다.

2. 혈청의 Ca 농도, ALP와 GOT 활성
식이칼슘 수준별 불가사리 칼슘 섭취에 따른

혈청 칼슘 농도, ALP, GOT 활성을 Figure 1에 제시하였다.

실험식이를 6주간 공급한 결과 불가사리 칼슘군의 혈청 칼슘 농도는 대조군과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 정상칼슘 식이 수준에서 불가사리 칼슘군의 칼슘 농도가 대조군에 비해 낮은 경향을 보였으나, 모두 정상범위(7.2-13.9mg/dl ; Mitruka & Rawnsley 1981)를 나타냈다. 한편 식이칼슘 수준이 증가할수록 혈청 칼슘 농도가 증가했으나 정상 범위 안에 속하였다. 혈청 칼슘 농도는 PTH(parathyroid hormone), 1,25(OH)₂D₃, calcitonin 등의 호르몬에 의해 엄격하게 항상성이 유지되고 있으며, 여러 연구에서 많은 식이 요인에 따라 혈청 칼슘농도가 다양하게 제시되어 왔으나 대체로 정상범위를 유지하였다.

불가사리 칼슘군의 혈청 중 ALP 활성은 대조군과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 즉 각각의 식이칼슘 수준에서 불가사리 칼슘군의 혈청 ALP가 대조군과 차이가 없었으므로, 불가사리 칼슘이 골격대사에 미치는 영향은 탄산칼슘과 비슷한 것으로 평가된다. 일반적으로 저칼슘 식이의 섭취에 따라 ALP 활성은 증가하는 것으로 알려져 있다. ALP는 골형성 지표로 알려져 있어(Lester 1996), 칼슘의 이용성을 평가하는 요소로 사용된다. ALP는 osteoblast와 관련이 있으며, 뼈의 성장에 필수적이라 알려져 있다(Westmoreland & Hoekstra

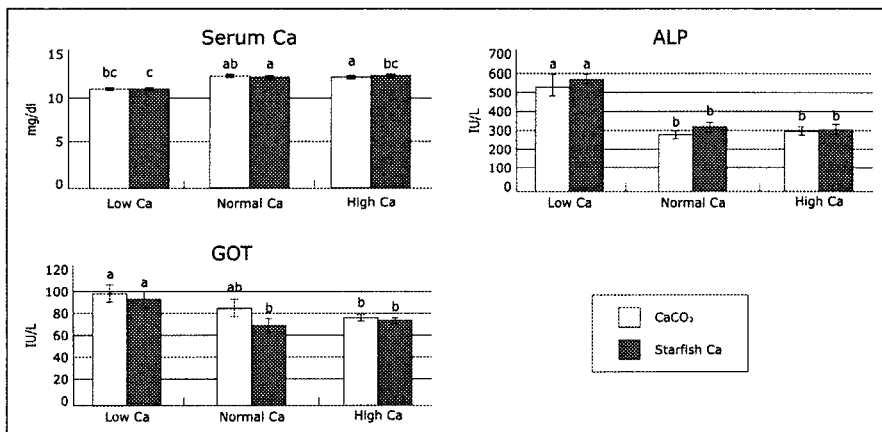


Figure 1. Ca concentration, Alkaline phosphatase(ALP) and GOT activities in serum of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks

a, b, c; Bars with different letters are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple test

1969). Patwardhan 등(2001)은 흰쥐를 대상으로 여러 종류의 칼슘염을 보충하여 ALP의 활성을 비교한 실험에서 calcium carbonate와 calcium lactate를 보충한 군이 calcium phosphate를 보충한 군에 비해 낮았음을 보고하였다. 탈지분유, 미꾸라지, 빵잎, 미역, 들깻잎 등의 칼슘 급원과 탄산칼슘과의 식이효율을 비교한 실험(이성현 등 1997)에서도 미꾸라지군과 탈지분유군이 다른 군에 비해 낮은 효소 활성을 보여, 급원별로 차이가 나는 결과를 보고하였다. 한편 Tsugawa 등(1995)은 비타민 D의 조건을 다르게 하여 calcium carbonate, calcium lactate, powdered oyster shell calcium의 이용성을 비교하였는데, ALP는 칼슘 급원 및 비타민 D의 조건에 관계없이 모두 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 실험결과에서는 ALP 활성은 급원별 차이는 없었으나 칼슘 섭취 수준에 따라 차이가 있었는데, 저칼슘을 섭취한 군이 유의적으로 효소활성이 높게 나타났다($p < 0.001$). Hamalainen

(1994)은 성장기 초기와 칼슘결핍시 ALP가 증가된다고 하였는데 이는 조골세포(osteoblast)의 활성을 증가시키기 위한 골격 isoenzyme의 분비를 ALP의 활성증가가 자극시키기 때문이라고 한다. 이연숙 등(2003)은 5주령 암컷 흰쥐에게 칼슘 수준을 달리하여(0.15% Ca, 0.5% Ca), 5주간 섭취시켰을 때 저칼슘 군의 ALP가 347 IU/L로서, 정상 칼슘군의 249 IU/L에 비해 40% 정도 높았음을 보고하였다.

GOT 활성은 불가사리 칼슘과 탄산칼슘의 칼슘급원에 따른 차이는 없었으나, 저칼슘을 섭취한 군에서 정상칼슘 및 고칼슘을 섭취한 군보다 각각 25%, 30% 증가하였다. GOT는 간세포의 세포질에 있는 효소로서 간 세포 손상시 혈청의 GOT농도가 증가한다(Girish et al. 2004). 혈청 GOT농도의 정상범위는 흰쥐에 따라 Osborne-Mendel rat의 경우 50-75(IU/L), Long Evans rat의 경우 88-147(IU/L)로 보고되어 있다(Mitruka &

Table 3. Weight in liver and kidney of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks

	Liver		Kidney	
	Wet weight		Wet weight	
	(g)	(g/100g BW)	(g)	(g/100g BW)
LCaC ⁴⁾	6.81±0.18 ^{1)a}	3.01±0.04 ^a	2.80±0.07 ^{NS}	1.24±0.03 ^{NS}
LCaS	6.68±0.21 ^{2)a}	2.93±0.04 ^a	2.82±0.12	1.23±0.03
NCaC	5.93±0.20 ^b	2.63±0.05 ^b	2.66±0.07	1.19±0.03
NCaS	5.91±0.11 ^b	2.69±0.02 ^b	2.72±0.06	1.23±0.03
HCaC	5.99±0.23 ^b	2.64±0.04 ^b	2.76±0.07	1.22±0.02
HCaS	5.67±0.14 ^b	2.58±0.03 ^b	2.68±0.06	1.22±0.03
ANOVA ³⁾	Ca ^{***}	Ca ^{***}	NS	NS

1) Values are mean±SE of 10 rats per group

2) Values within the same column with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple test; NS: not significant

3) ANOVA; Ca: Effect of dietary Ca level (***: significant at $p < 0.001$)
NS: not significantly different among groups

4) LCaC: Low Ca diet(0.1%), CaCO₃ ; LCaS: Low Ca diet(0.1%), Starfish calcium ; NCaC: Normal Ca diet(0.5%), CaCO₃ ; NCaS: Normal Ca diet(0.5%), Starfish calcium ; HCaC: High Ca diet(1.0%), CaCO₃ ; HCaS: High Ca diet(1.0%), Starfish calcium

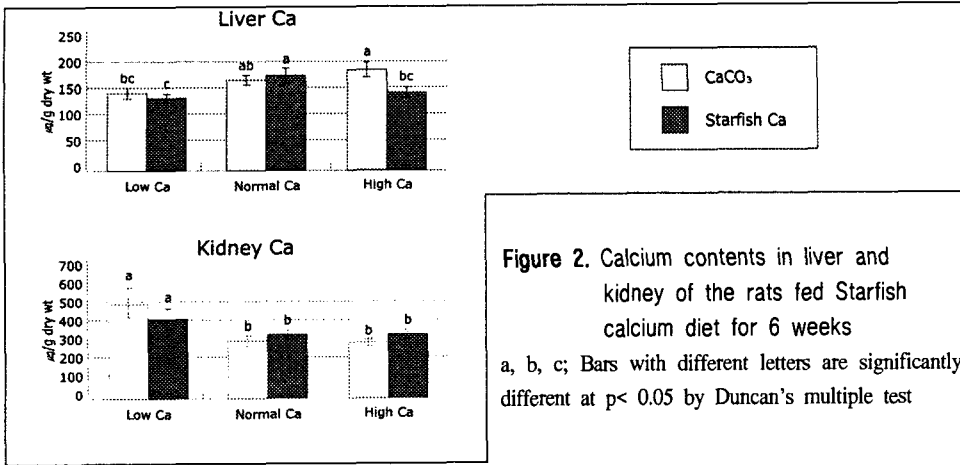


Figure 2. Calcium contents in liver and kidney of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks
a, b, c; Bars with different letters are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple test

Rawnsley 1981). 본 실험결과 불가사리 칼슘섭취군의 GOT 농도는 각 칼슘식이 수준별 모두 대조군과 비슷하거나 낮은 값을 보여, 불가사리 칼슘섭취가 간기능에 악 영향을 미치지 않는다고 생각된다.

3. 간과 신장의 무게 및 칼슘 함량

간, 신장의 무게는 Table 3에, 칼슘 함량은 Figure 2에 제시하였다.

간과 신장의 무게는 불가사리 칼슘군 및 탄산칼슘군 간에 유의적인 차이가 없었다. 그러나 간의 체중당 상대적 무게는 저 칼슘섭취를 했을 때 정상칼슘 또는 고칼슘을 섭취한 경우보다 각각 10%, 12%의 유의적으로 높은 값을 보였다($p < 0.001$). 불가사리 칼슘군의 간의 칼슘함량이 대조군에 비해 낮았으며, 특히 고칼슘 식이 수준에서 불가사리 칼슘군의 칼슘함량이 대조군에 비하여 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 즉 불가사리 칼슘 섭취군의 간 중 칼슘 함량이 대조군에 비해 높지 않아, 간에 무기질이 침착되지 않는 것으로 보인다.

신장의 칼슘함량은 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군간에 유의적인 차이가 없었다. 칼슘수준에 따라서는 저칼슘을 섭취한 군의 칼슘함량이 유의적으로 높았다($p < 0.001$). 정상 쥐에서 stock diet 급여시 관찰되는 신장 칼슘함량의 상한선이 0.5mg/g dry wt(Shah et al. 1990)임을 고려할 때, 본 실험에서 저 칼슘을 섭취했을 때 정상칼슘식이 섭취 시보다 높았지만, 모든 군에서 신장 칼슘 수준이

정상범위에 속한다고 볼 수 있다. Yuasa 등(1996)은 흰쥐에서 칼슘결핍이 신장의 칼슘 농도를 증가시킴을 보고하였다. 또한 칼슘과 인의 비율 또한 신장의 무기질 침착에 중요한 요소이며, 칼슘과 인의 비율이 높아졌을 때, 신석회화증(nephrocalcinosis) 빈도가 높아진다고 하였다(Schaafsma et al. 1985; Cockell & Belonje 2004).

이상의 결과와 같이 불가사리 칼슘 섭취에 따라 간과 신장의 무게는 대조군과 차이가 없었으며, 간과 신장의 칼슘 함량 역시 대조군과 비슷하거나 낮아 불가사리 칼슘이 간과 신장에 부정적인 영향을 끼치지 않는 것으로 보였다.

4. 대퇴골의 무게, 길이 및 강도

식이 칼슘 수준 별 불가사리 칼슘 섭취군의 대퇴골의 중량, 길이 및 강도는 Table 4에 제시하였다.

대퇴골의 습중량 및 체중당 습중량의 경우, 저칼슘 식이 수준에서는 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군간에 따른 차이가 없었으나, 정상칼슘 및 고칼슘 식이 수준에서는 탄산칼슘군의 무게가 불가사리 칼슘군보다 높은 경향을 보였다. 반면, 대퇴골의 길이 및 파단력은 모두 차이를 보이지 않았다. 즉 뼈의 성장에 관한 결과를 보면, 불가사리 칼슘 섭취의 경우, 탄산칼슘군과 유의적인 차이가 없었다. 한편 단위체중당 대퇴골 중량은 급원에 따른 차이는 없었으나, 식이칼슘 수준에 따라서는 정상칼슘 및 고칼슘을 섭취한 군이 저칼슘

Table 4. Weight, length and breaking force in femur of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks

	Wet weight		Length		Breaking force
	(mg)	(mg/100g BW)	(mm)	(mm/100g BW)	(kg/g)
LCaC ⁴⁾	594.5±15.8 ^{1)c}	262.7±4.9 ^c	32.1±0.1 ^{NS}	14.2±0.3 ^{NS}	8.4±0.6 ^b
LCaS	589.7±14.8 ^{2)c}	259.0±5.7 ^c	32.0±0.1	14.0±0.2	8.4±0.5 ^b
NCaC	682.5±8.5 ^a	304.3±3.5 ^{ab}	32.2±0.1	14.3±0.2	11.6±0.7 ^a
NCaS	663.8±12.7 ^b	299.5±3.9 ^b	32.2±0.1	14.5±0.1	11.3±0.7 ^a
HCaC	718.5±13.9 ^a	316.1±8.4 ^a	32.6±0.1	14.4±0.3	13.4±0.8 ^a
HCaS	676.6±12.7 ^b	307.5±4.5 ^{ab}	32.1±0.1	14.6±0.3	11.6±0.8 ^a
ANOVA ³⁾	Ca ^{***}	Ca ^{***}	NS	NS	Ca ^{***}

1) Values are mean±SE of 10 rats per group

2) Values within the same column with different superscripts are significantly different at p< 0.05 by Duncan's multiple test; NS: not significant

3) ANOVA; Ca: Effect of dietary Ca level(***: significant at p< 0.001)

4) LCaC: Low Ca diet(0.1%), CaCO₃ ; LCaS: Low Ca diet(0.1%), Starfish calcium ; NCaC: Normal Ca diet(0.5%), CaCO₃ ; NCaS: Normal Ca diet(0.5%), Starfish calcium ; HCaC: High Ca diet(1.0%), CaCO₃ ; HCaS: High Ca diet(1.0%), Starfish calcium

식을 섭취한 군에 비해 각각 16%, 19%씩 증가하였다. 그리고 대퇴골의 길이 및 체중당 길이는 칼슘 급원 및 칼슘 수준에 영향을 받지 않았다. 이는 칼슘섭취량이 골격의 길이를 결정하지 못한다는 Rodriguez 등(1998)의 연구결과와 비슷하다. 파단력으로 측정된 대퇴골의 강도는 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군 간에 차이가 없었으나, 저칼슘식이 섭취군에서 유의적으로 낮았다(p<0.001). 즉, 저칼슘을 섭취한 군에 비해 정상칼슘 및 고칼슘을 섭취한 군에서 파단력이 각각 1.4배, 1.5배 증가하였다. Thomas 등(1991)은 이유한 쥐에게 성 성숙기 동안 저칼슘(0.1%)과 정상칼슘(0.5%)을 공급한 결과, 정상 칼슘군에서 뼈의 강도가 더 높았다고 보고하였다.

이와 같이 대퇴골의 성장 및 강도측면에서 불가사리 칼슘의 이용성은 탄산칼슘에 필적할 만한 새로운 칼슘 급원으로 평가된다.

5. 대퇴골의 회분량, 칼슘, 인, 마그네슘 함량
대퇴골의 회분량, 칼슘, 인 및 마그네슘 함량은 Table 5에 제시하였다.

불가사리 칼슘군의 회분량은 탄산칼슘군과 차

이를 보이지 않았으며, 칼슘수준이 증가할수록 유의적으로 증가했다(p<0.001). 또한 정상칼슘식이 수준에서는 탄산칼슘군이 높은 경향을 보이며, 고칼슘식이 수준에서는 불가사리 칼슘군이 높은 경향을 보였다.

대퇴골의 칼슘함량은 저칼슘식이 수준에서 불가사리 칼슘군이 탄산칼슘군보다 유의적으로 낮았으나, 정상칼슘 수준과 고칼슘 수준에서는 차이를 보이지 않았다. 칼슘수준에 따라서는 정상칼슘 섭취군이 저칼슘 섭취군보다 25% 증가했으며, 고칼슘 섭취군은 정상칼슘 섭취군보다 15% 증가하였다. 대퇴골 인의 함량은 칼슘 급원간 차이를 나타내지 않았다. 그러나 칼슘 수준에 따라서는 차이를 나타냈는데, 정상칼슘 섭취군에서 가장 높았으며 저칼슘식이 섭취군이 다른 군에 비하여 유의적으로 낮은 값을 보였다. 대퇴골의 마그네슘 함량은 불가사리 칼슘군에서 탄산칼슘군보다 유의적으로 높았다. 특히 정상칼슘수준과 고칼슘 수준에서 그 차이가 컸으며, 이는 불가사리 칼슘의 구성성분 및 조성 등이 영향을 미쳤으리라 생각된다. 마그네슘과 뼈의 강도와의 관계는 많이 연구되어 왔으며 마그네슘 결핍 식이를

Table 5. Ash, Ca, P and Mg contents in femur of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks

	Ash (mg/g wet wt)	Ca (mg/g wet wt)	P (mg/g wet wt)	Mg (mg/g wet wt)
LCaC ⁴⁾	364.9±3.5 ^{1)c}	122.2±1.8 ^c	74.9±0.8 ^b	2.19±0.03 ^c
LCaS	364.0±5.8 ^{2)c}	114.3±3.3 ^d	76.6±1.6 ^b	2.24±0.05 ^c
NCaC	442.1±5.1 ^{ab}	146.3±1.9 ^b	94.1±1.3 ^a	2.82±0.15 ^b
NCaS	435.4±5.1 ^b	150.2±2.0 ^b	91.8±2.9 ^a	3.06±0.10 ^a
HCaC	444.0±5.1 ^{ab}	170.6±1.8 ^a	90.7±1.0 ^a	2.81±0.06 ^b
HCaS	455.5±10.2 ^a	170.9±2.5 ^a	89.8±1.6 ^a	3.18±0.04 ^a
ANOVA ³⁾	Ca ^{***}	Ca ^{***} Ca*S [*]	Ca ^{***}	Ca ^{***} ,S ^{**}

- 1) Values are mean±SE of 10 rats per group
- 2) Values within the same column with different superscripts are significantly different at p< 0.05 by Duncan's multiple test
- 3) ANOVA; Ca: Effect of dietary Ca level, S: Effect of Ca source, Ca*S: interaction between Ca level and Source(*, **, ***: significant at p< 0.05, 0.01, 0.001, respectively)
- 4) LCaC: Low Ca diet(0.1%), CaCO₃ ; LCaS: Low Ca diet(0.1%), Starfish calcium ; NCaC: Normal Ca diet(0.5%), CaCO₃ ; NCaS: Normal Ca diet(0.5%), Starfish calcium ; HCaC: High Ca diet(1.0%), CaCO₃ ; HCaS: High Ca diet(1.0%), Starfish calcium

섭취시 뼈의 강도가 낮아졌다는 연구결과(Creedon et al. 1999)가 있다.

뼈의 강도는 organic matrix의 무기질의 성질과 함량에 의존한다(Boskey et al. 1999). 칼슘과 인은 뼈의 형성에 매우 중요한 무기질이며, 이 무기질이 식이 중 결핍되면 골격 이상이 발생한다. Hamalainen 등(1994)은 4주된 숫쥐에게 3주 동안 칼슘결핍식이(0.2g/kg diet)를 주었을 때, 대퇴골의 건중량, 칼슘 인 및 마그네슘 함량이 감소하였음을 보고하였다. 칼슘 급원의 종류가 골격에 미치는 영향을 살펴보면, 비타민 D 결핍 모델 쥐에 소뼈회분과 탄산칼슘을 보충하여 회복 효과를 본 Okano 등(1994)은 소뼈회분이 뼈 중 회분무게와 무기질 밀도에서 더 빠른 회복을 보였다고 보고하였다. 대부분의 동물실험에서는 우유 및 유제품으로부터의 칼슘 급원과 칼슘염들 간에 차이가 나타나지 않았다(Smith et al. 1985; Recker et al. 1988; Tsugawa et al. 1995).

본 실험에서 뼈와 관련된 지표들 이용하여 불가사리 칼슘의 체내이용성을 살펴보았을 때, 불가사리 칼슘은 체내흡수율과 보유율은 높았으나 그 효과가 뼈까지 미치지 못하는 것으로 사료된다.

6. 요추의 무게 및 칼슘, 인, 마그네슘 함량

요추의 무게 및 칼슘, 인, 마그네슘 함량은 Table 6에 제시하였다.

요추의 습 중량은 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군 간에 유의적인 차이가 없었다. 불가사리 칼슘군의 회분량 역시 대조군과 유의적인 차이가 없었으나, 고칼슘 식이수준에서 높은 경향을 나타내었다. 또한 칼슘 수준이 증가할수록 무게가 증가하였으며 단위체중당 요추 중량은 정상칼슘 및 고칼슘을 섭취한 군에서 저칼슘 식이를 섭취한 군에 비해 각각 14%, 21% 증가하였다.

요추 칼슘과 인의 함량은 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군간 유의적인 차이가 없었으나, 모두 고칼슘식이 수준에서는 불가사리 칼슘군에서 높은 경향을 보였다. 또한 칼슘 수준에 따라서는 저칼슘 섭취군이 다른 군에 비해 낮았다. 요추의 마그네슘 함량은 대퇴골과 마찬가지로 칼슘 급원(p<0.01) 및 칼슘 수준(p<0.001)에 따른 영향이 모두 나타났다. 불가사리 칼슘군에서 마그네슘 함량이 유의적으로 높았으며(p<0.01), 특히 고칼슘식이수준에서 차이가 컸다.

이상의 결과에서 요추의 골격지표는, 대퇴골의

Table 6. Weight, ash, Ca, P and Mg contents in lumbar of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks

	Wet weight (mg)	Ash (mg/g wet wt)	Ca (mg/g wet wt)	P (mg/g wet wt)	Mg (mg/g wet wt)
LCaC ⁴⁾	1106.0±23.0 ^{1)c}	210.2±5.1 ^c	65.6±1.6 ^c	40.5±1.1 ^d	1.31±0.04 ^c
LCaS	1054.3±26.9 ^{2)c}	213.7±7.2 ^c	65.7±1.4 ^c	39.3±0.8 ^d	1.32±0.03 ^c
NCaC	1226.8±39.4 ^b	281.0±8.0 ^b	82.8±1.6 ^{ab}	56.1±1.2 ^c	1.76±0.04 ^b
NCaS	1199.9±26.9 ^b	286.0±5.4 ^b	79.3±1.5 ^b	58.7±1.3 ^{bc}	1.85±0.08 ^b
HCaC	1312.4±18.8 ^a	294.6±3.4 ^{ab}	81.7±1.8 ^{ab}	61.5±0.6 ^{ab}	1.73±0.03 ^b
HCaS	1263.6±26.0 ^{ab}	314.7±12.4 ^a	85.0±2.0 ^a	63.4±1.3 ^a	2.04±0.04 ^a
ANOVA ³⁾	Ca ^{***}	Ca ^{***}	Ca ^{***}	Ca ^{***}	Ca ^{***} , S ^{**} Ca*S ^{**}

1) Values are mean±SE of 10 rats per group

2) Values within the same column with different superscripts are significantly different at p< 0.05 by Duncan's multiple test

3) ANOVA; Ca: Effect of dietary Ca level, S: Effect of Ca source, Ca*S: interaction between Ca level and Source (**, ***: significant at p< 0.01, 0.001, respectively)

4) LCaC: Low Ca diet(0.1%), CaCO₃ ; LCaS: Low Ca diet(0.1%), Starfish calcium ; NCaC: Normal Ca diet(0.5%), CaCO₃ ; NCaS: Normal Ca diet(0.5%), Starfish calcium ; HCaC: High Ca diet(1.0%), CaCO₃ ; HCaS: High Ca diet(1.0%), Starfish calcium

경우와 비슷한 경향을 보였으며, 마그네슘 함량을 제외하고는 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군간에 차이가 없었다. 따라서 불가사리 칼슘은 골격에 탄산칼슘과 비슷한 정도의 효과를 보인다고 할 수 있다.

7. 칼슘의 보유량 및 흡수량

불가사리 칼슘 섭취에 따른 칼슘섭취량과 배설량 및 칼슘보유율과 흡수율을 Table 7에 제시하였다.

각 식이 칼슘 수준에서 불가사리 칼슘군의 칼슘 섭취량은 대조군과 차이가 없었으며, 분 중 칼슘함량 또한 차이가 없었다. 칼슘수준에 따라서는 칼슘수준이 증가함에 따라 칼슘섭취량과 분 중 함량이 유의적으로 증가했다(p<0.001). 소변 중 칼슘 함량은 정상칼슘 식이 수준과 고칼슘 식이 수준에서 불가사리 칼슘 군이 탄산칼슘군보다 유의적으로 낮았다. 이는 칼슘의 보유율에 긍정적인 효과를 나타낸 것으로 평가된다. 뇨 중 칼슘 배설량 또한 칼슘수준이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다(p<0.001).

칼슘의 흡수량과 보유량에서는 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군 간에 유의적인 차이가 없었

나, 대체적으로 각 칼슘 수준에서 불가사리 칼슘군의 흡수량, 보유량이 탄산칼슘군보다 높은 경향을 나타냈다. 칼슘의 걸보기 흡수량과 보유량은 정상칼슘 식이 섭취군과 고칼슘 식이 섭취군의 경우 저칼슘식이 섭취군보다 각각 약 3배, 약 6배의 증가를 보였다. 칼슘의 걸보기 흡수율과 보유율은 불가사리 칼슘군이 탄산칼슘군보다 유의적으로 높았으며(p<0.01), 특히 고칼슘 식이 수준에서 불가사리 칼슘군의 흡수율과 보유율이 탄산칼슘군보다 유의적으로 높았다(p<0.05). 칼슘의 흡수율 및 보유율이 칼슘급원으로서 유용성을 결정하는 주요한 요인임을 고려할 때, 불가사리 칼슘은 새로운 우수한 칼슘 급원으로 추천될 수 있으며, 칼슘보충제로서 그 유용성이 뛰어난을 시사한다.

칼슘 급원을 달리하여 이용율을 살펴본 논문을 보면, Greger 등(1987)은 탈지유와 여러 종류의 시판 칼슘보충제의 체내 이용성을 정상적인 흰쥐를 이용하여 비교하였으며, 그 결과 차이가 없음을 보고하였다. Heaney 등(1990)과 Smith 등(1987)은 사람을 대상으로 우유와 calcium citrate malate(CCM)의 이용율을 비교하였는데 CCM의 이용율이 더 높았음을 보고하였고, Weaver 등

Table 7. Daily Ca intake, fecal and urinary excretion, daily Ca retention and apparent Ca absorption of the rats fed Starfish calcium diet for 6 weeks

	Ca intake (mg/d)	Fecal Ca Excretion (mg/d)	Urinary Ca Excretion (mg/d)	Ca Retention ⁴⁾ (mg/d)	Ca Retention rate ⁵⁾ (%)	Apparent Absorption ⁶⁾ (mg/d)	Apparent absorption rate ⁷⁾ (%)
LCaC ^{b)}	10.79±0.64 ^{1)c}	0.98±0.12 ^c	0.07±0.01 ^d	9.81±0.65 ^c	91.19±1.11 ^a	9.87±0.65 ^c	90.91±1.05 ^a
LCaS	11.23±0.66 ^{2)c}	0.58±0.10 ^c	0.09±0.01 ^d	10.47±0.65 ^c	94.10±0.81 ^a	10.55±0.65 ^c	94.35±0.84 ^a
NCaC	53.20±5.41 ^b	18.77±2.29 ^b	0.86±0.19 ^c	33.66±4.04 ^b	63.76±3.22 ^b	34.38±4.21 ^b	64.42±3.43 ^b
NCaS	52.29±3.45 ^b	15.46±1.51 ^b	0.33±0.10 ^d	33.43±3.41 ^b	67.86±2.80 ^b	35.40±3.85 ^b	65.85±2.95 ^b
HCaC	123.31±8.87 ^a	61.29±5.02 ^a	2.11±0.18 ^a	58.99±8.29 ^a	46.17±3.04 ^d	61.12±8.38 ^a	44.26±3.34 ^d
HCaS	131.21±5.42 ^a	58.41±3.81 ^a	1.56±0.21 ^b	65.22±5.91 ^a	55.07±2.42 ^c	66.90±5.99 ^a	52.06±2.80 ^c
ANOVA ³⁾	Ca ^{***}	Ca ^{***}	Ca ^{***}	Ca ^{***}	Ca ^{***} , S [*]	Ca ^{***}	Ca ^{***} , S ^{**}

1) Values are mean±SE of 10 rats per group
 2) Values within the same column with different superscripts are significantly different at p< 0.05 by Duncan's multiple test
 3) ANOVA; Ca: Effect of dietary Ca level, S: Effect of Ca source(*, **, ***: significant at p< 0.05, 0.01, 0.001, respectively)
 4) Retention(mg) = Intake(mg) - [Fecal excretion(mg) + urinary excretion(mg)]
 5) Retention rate(%) = [Retention(mg)/Intake(mg)] ×100
 6) Apparent absorption(mg) = Intake(mg) - Fecal excretion(mg)
 7) Apparent absorption rate(%) = [Apparent absorption(mg)/Intake(mg)] ×100
 8) LCaC: Low Ca diet(0.1%), CaCO₃ ; LCaS: Low Ca diet(0.1%), Starfish calcium ; NCaC: Normal Ca diet(0.5%), CaCO₃ ; NCaS: Normal Ca diet(0.5%), Starfish calcium ; HCaC: High Ca diet(1.0%), CaCO₃ ; HCaS: High Ca diet(1.0%), Starfish calcium

(2002)은 calcium malate citrate, calcium citrate, calcium fumarate malate 등의 5종류의 칼슘염을 비교하였는데, 흡수율은 30% 내외로 실험군 간 차이가 없었음을 보고하였다. 이성현 등(1997)은 탈지분유, 미꾸라지, 뽕잎, 미역, 들깻잎 등의 칼슘 급원과 탄산칼슘과의 이용성을 비교하였는데, 칼슘 흡수율은 동물성 칼슘 급원인 미꾸라지군과 식물성 급원인 들깻잎, 뽕잎군 간에 차이를 보이지 않았으나, 노 중 칼슘 배설량에서는 동물성 칼슘군의 노 중 칼슘 배설량이 높았음을 보고하였다. 본 실험의 경우에서는, 불가사리 칼슘이 동물성 급원임에도 불구하고 소변 중 배설량이 낮았다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 불가사리에서 추출한 칼슘의 체내 이용성을 섭취수준별로 검토함으로써 새로운 칼슘 급원으로서의 유용성을 알아보고자 하였다. 실험은 4주령된 암컷 흰쥐를 대상으로 식이칼슘 수준을 저수준(0.1%), 정상수준(0.5%), 고수준(1%)으로 하고, 각 식이칼슘 수준별로 탄산칼슘을 대조군으로 하여 불가사리 칼슘의 체내이용성을 검토하였다. 총 6주간 실험식을 급여한 후 희생하여 혈액 중 칼슘농도, Alkaline phosphatase(ALP)와 GOT 활성, 간과 신장의 칼슘함량, 대퇴골과 요추골의 인, 칼슘 및 마그네슘 함량, 대퇴골에서의 파단력을 측정하였다. 또한 대사실험을 통해 칼슘의 흡수율과 보유율을 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 불가사리 칼슘군의 성장, 식이섭취량 및 식이섭취효율은 탄산칼슘군과 차이가 없었다.
2. 혈청의 칼슘, ALP, GOT 농도는 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군 간에 차이가 없었다.
3. 간과 신장의 무게는 불가사리 칼슘군과 탄산칼슘군에서 차이가 없었다. 간의 칼슘함량은 저칼슘 및 고칼슘 식이 수준에서는 탄산칼슘군이, 정상칼슘 수준에서는 불가사리 칼슘군이 높은 경향을 보였다. 불가사리 칼슘 섭취군의 신장의 칼슘함량은 대조군과 차이가 없었다.
4. 대퇴골의 무게는 탄산칼슘군이 불가사리 칼

슘 섭취군보다 높은 경향을 보였으나, 길이는 차이가 없었다. 회분량은 불가사리 칼슘군이 탄산칼슘군보다 높았고 칼슘 또는 인의 함량 뿐 아니라 파단력에는 차이가 없었다. 대퇴골의 마그네슘 함량은 불가사리 칼슘군에서 탄산칼슘 섭취군보다 유의적으로 높았다.

5. 요추의 무게는 탄산칼슘 섭취군이 불가사리 칼슘 섭취군보다 높은 경향을 보였다. 그러나 요추 중 칼슘은 정상칼슘 식이수준에서는 탄산칼슘 섭취군이, 고칼슘 식이수준에서는 불가사리 칼슘 섭취군이 높은 경향을 보였다. 요추 중 인 함량은 군간에 차이가 없었다. 요추 중 마그네슘 함량은 불가사리 칼슘군에서 유의적으로 높았다.

6. 칼슘의 흡수율과 보유율은 불가사리 칼슘군이 탄산칼슘군에 비해 높은 값을 보였다.

실험 결과를 종합해 보면 불가사리로부터 추출한 칼슘 급원은 흰쥐의 성장 및 식이섭취량에 어떠한 나쁜 영향을 미치지 않았다. 또한 불가사리에서 추출한 칼슘을 섭취한 군의 혈청 칼슘 농도, 골 형성 지표인 ALP, 간기능 지표인 GOT 농도 또한 탄산칼슘군과 차이를 보이지 않았다. 간, 신장 등의 조직 및 골격에서도 불가사리 칼슘군은 탄산칼슘군과 비교하였을 때 비슷한 정도의 이용성을 보였다. 뿐만 아니라 칼슘 급원의 유용성을 결정하는 칼슘 흡수율과 보유율에서는 불가사리 칼슘섭취군이 유의적으로 높은 수치를 보여, 새로운 천연소재 칼슘으로서의 이용가능성이 매우 크게 평가되며, 칼슘보충제의 급원으로서 추천할 만하다고 본다.

* 감사의 글

본 연구를 수행하는데 있어서 불가사리 칼슘을 지원해주신 (주)영안화공에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 강릉대학교(2000) 불가사리·성게껍질·우렁쉥이껍질 유래 생리활성물질의 분리, 동정 및 고기능성 소재로서의 응용. 해양수산부.
 국립수산물과학원(2002) 연구결과집(불가사리 칼슘제 생산기술 이전)
 김근한·이일영·최봉종·이승묵·김승호(2002) 수

- 산폐기물과 불가사리를 이용한 폐광폐수 처리. 대한환경공학회지 24(3), 489-497.
- 김화영 · 최현규 · 이현숙(1998) 난소를 절제한 나이가 다른 흰쥐에서 식이 칼슘 수준이 골격대사에 미치는 영향. 한국영양학회지 31(4), 716-728.
- 보건복지부(2002) 2001 국민 건강 · 영양조사.
- 식품의약품안전청(2001) 식품공전(12. 특수영양식품).
- 유남희 · 정현석 · 장준영 · 윤성중 · 김진기 · 최경구 · 나의식(2002) 불가사리를 이용한 액체비료가 고추의 수량에 미치는 영향. Bull Agri Coll Chubuk Nat Univ 33, 124-129.
- 이성현 · 장순옥(1994) 칼슘급원으로서 건멸치, 두부, 탈지분유의 체내이용성 연구. 한국영양학회지 27(5), 473-482.
- 이성현 · 황보영숙 · 김지연 · 이연숙(1997) 칼슘급원 식품의 체내이용성 연구. 한국영양학회지 30(5), 499-505.
- 이연숙 · 김은애 · 박미나(2003) 가임기 동안 칼슘섭취 부족 흰쥐에서 임신기의 칼슘보충수준이 무기질대사에 미치는 영향. 한국영양학회지 36(5), 459-469.
- 이종현 · 이연숙(1999) 칼슘과 철의 과다섭취가 골다공증 및 빈혈 모델 흰쥐의 무기질 이용성과 생리기능에 미치는 영향. 한국영양학회지 32(3), 248-258.
- 장순옥(2003) 난각 칼슘의 생체 이용성에 관한 연구. 한국영양학회지 36(7), 684-690.
- Allen LH(1982) Calcium bioavailability and absorption : a review. Am J Clin Nutr 35(4), 783-808.
- Anderson JJ, Garner SC(1996) Calcium and Phosphorus in Health and Disease. CRC Press 1-5.
- Boskey AL, Wright TM, Blank RD(1999) Collagen and bone strength. J Bone Miner Res 14(3), 330-335.
- Cockell KA, Belonje B(2004) Nephrocalcinosis caused by dietary calcium: phosphorus imbalance in female rats develops rapidly and is irreversible. J Nutr 134(3), 637-640.
- Creedon A, Flynn A, Cashman K(1999) The effect of moderately and severely restricted magnesium intakes on bone composition and bone metabolism in the rat. Br J Nutr 82(1), 63-71.
- Fisk CH, Subbarow Y(1925) The coloric determination of phosphorus. J Biol Chem 66, 375-400.
- Girish SA, Sudhir GW, Avinash KD(2004) Evaluation of hepatoprotective effect of Amalkadi Ghrita against carbon tetrachloride-induced hepatic damage in rats. J Ethnopharmacol 90(2), 229-232.
- Greger JL, Krzykowski CE, Khazen RR, Krashoc CL(1987) Mineral utilization by rats fed various commercially available calcium supplements or milk. J Nutr 117(4), 717-724.
- Hamalainen 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(6), 874-881.
- Heaney RP, Recker RR, Weaver CM(1990) Absorbability of calcium sources: the limited role of solubility. Calcif Tissue Int 46(5), 300-304.
- Kochanowski BA(1990) Effect of calcium citrate-malate on skeletal development in young, growing rats. J Nutr 120(8), 876-881.
- Lester GE(1996) Serum and urine markers of bone turnover. CRC Press 147-154.
- Louie DS(1996) Calcium and phosphorus in health and disease: Intestinal bioavailability and absorption of calcium. CRC Press 45.
- Miller GD, Jarvis JK, McBean LD(2001) The importance of meeting calcium needs with foods. J Am Coll Nutr 20(2 Suppl), 168S-185S.
- Mitruka BM, Rawnsley HM(1981) Clinical biochemical and hematological reference values in normal experimental animals and normal humans 2ed. Masson Publishing USA Inc, 160-166.
- Okano T, Kimura T, Tsugawa N, Fujiwara M, Yamamoto M, Kobayashi T(1994) Bioavailability of calcium from bovine-bone-marrow calcium (BBMCA) and calcium carbonate in vitamin D-deficient rats. Food Chemistry 51(1), 61-67.
- Patwardhan UN, Pahuja DN, Samuel AM(2001) Calcium bioavailability: an in vivo assessment. Nutr Res 21, 667-675.
- Recker RR, Bammi A, Barger-Lux MJ, Heaney RP(1988) Calcium absorbability from milk products, and imitation milk, and calcium carbonate. Am J Clin Nutr 47(1), 93-95.
- Rodriguez PN, Friedman SM, Boyer P, de Portela ML(1998) Influence of dietary calcium concentration on body size and bone composition in rats during recovery from malnutrition. J Am Coll Nutr 17(1), 86-91.
- Schaafsma G, Duursma SA, Visser WJ and Dekker PR(1985) The influence of dietary calcium on kidney calcification and renal function in rats fed high-phosphate diets. Bone 6(3), 155-163.
- Shah BG, Trick KD, Belonje B(1990) Effects of dietary calcium on the metabolism of trace elements in male and female rats. J Nutr Biochem 1(11), 585-591.
- Smith KT, Heaney RP, Flora L, Hinders SM(1987) Calcium absorption from a new calcium delivery system(CCM). Calcif Tissue Int 41(6), 351-352.
- Smith TM, Kolars JC, Savaiano DA, Levitt MD (1985) Absorption of calcium from milk and yogurt. Am J Clin Nutr 42(6), 1197-1200.
- Thomas ML, Simmons DJ, Kidder L, Ibarra MJ (1991) Calcium metabolism and bone mineralization in female rats fed diets marginally sufficient in

- calcium: effects of increased dietary calcium intake. *Bone Miner* 12(1), 1-14.
- Tsugawa N, Okano T, Higashino R, Kimura T, Oshio Y, Teraoka Y, Igarashi C, Ezawa I, Kobayashi T(1995) Bioavailability of calcium from calcium carbonate, DL-calcium lactate, L- calcium lactate and powdered oyster shell calcium in vitamin D-deficient or replete rats. *Biol Pharm Bull* 18(5), 677-682.
- Yuasa S, Sumikura T, Yura T, Takahashi N, Shoji T, Uchida K, Fujioka H, Miki S, Matsuo H, Takamitsu Y(1996) Effect of low dietary calcium intake on blood pressure and pressure natriuresis response in rats: a possible role of the renin-angiotensin system. *Blood Press* 5(2), 121-127.
- Weaver CM, Martin BR, Costa NM, Saleeb FZ, Huth PJ(2002) Absorption of calcium fumarate salts is equivalent to other calcium salts when measured in the rat model. *J Agric Food Chem* 50(17), 4974-4975.
- Westmoreland N, Hoekstra WG(1969) Histochemical studies of alkaline phosphatase in epiphyseal cartilage of normal and zinc-deficient chicks. *J Nutr* 98(1), 83-89.