

멸치젓에서 추출한 칼슘이 흰쥐의 칼슘대사에 미치는 영향

김향숙¹ · 최은옥^{1,2} · 김만도³ · 최영현^{4,5} · 김병우^{5,6} · 김수연⁷ · 황혜진^{2,5*}

¹동의대학교 항노화연구소, ²동의대학교 식품영양학과
³(주)지에스피, ⁴동의대학교 한의학과, ⁵동의대학교 블루바이오소재개발센터
⁶동의대학교 생명응용학과, ⁷승의여자대학교 식품영양과

Effect of Calcium Extracted from Salted Anchovy (*Engraulis japonicus*) on Calcium Metabolism of the Rat

Hyang Suk Kim¹, Eun Ok Choi^{1,2}, Man Do Kim³, Yung Hyun Choi^{4,5},
Byung Woo Kim^{5,6}, Soo Yeon Kim⁷, and Hye Jin Hwang^{2,5*}

¹Anti-aging Research Center and ²Dept. of Food and Nutrition, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

³GSP Co., Ltd, Busan 614-714, Korea

⁴Dept. of Oriental Medicine, ⁵Blue-Bio Industry Regional Innovation Center, and
⁶Dept. of Life Science & Biotechnology, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

⁷Dept. of Food and Nutrition, Soongui Women's College, Seoul 100-751, Korea

Abstract

This study was conducted to examine the effect of calcium extracted from salted anchovy (*Engraulis japonicus*) on the calcium metabolism of rats. Sprague-Dawley male rats were fed low-calcium diets (0.15%) for 2 weeks after the adjustment period. Rats were divided into five groups and were fed experimental diet for four weeks. Experimental diets were low calcium (LC, 0.15% CaCO₃), 0.5% CaCO₃ (CC), seaweed calcium (SC), calcium lactate (LC), anchovy calcium (AC). The low-calcium diet group (LC) showed the lowest weight gain and had no differences among the groups with adequate calcium intake. Calcium retention was lowest in the LC group and higher in the CL, SC, AC groups than in SC groups. Serum alkaline phosphatase (ALP) level was highest in LC group, and significantly low in the CC and AC groups ($p < 0.05$). Parathyroid hormone and osteocalcin levels showed no differences among experimental groups. The urine deoxypyridinoline (DPD) level was lower in AC and CC groups compared to the LC group ($p < 0.05$). The dry weight of the femur showed no significant differences among normal calcium groups. The bone mineral density of the femur in AC and CC group were significantly higher than the LC group ($p < 0.05$). From these results, calcium extracted from salted anchovy can be useful as a calcium supplement comparable with calcium carbonate.

Key words: anchovy calcium, calcium metabolism, bone mineral density

서 론

칼슘은 인체에 가장 많이 함유되어 있는 무기질로서 체내량의 99%가 뼈와 치아에 존재하여 뼈의 영양에 있어 매우 중요하며, 그밖에 근육수축과 이완, 규칙적 심장박동, 혈액응고, 신경의 흥분과 자극전달, 효소의 활성화, 여러 영양소의 대사 작용 등의 다양한 생리활성기능을 조절한다(1). 칼슘대사는 연령, 호르몬, 영양상태, 신체 활동량 등 생리적, 영양적, 환경적, 유전적 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(2). 칼슘의 체내 이용률은 성장기나 임신기, 수유기와 같이 체내 요구도가 높을 때 증가되며 체내 칼슘 흡수율은 식이요인과 밀접한 관계가 있는데 양질의 단백질, 비타민 D, 유당, 인 등은 칼슘 흡수를 촉진하나 곡류나 채소류에

많이 함유된 인산, 피틴산, 수산, 식이섬유 등은 흡수를 저해한다(3). 뼈는 대사가 활발하게 일어나며 신체의 형태를 유지해 주는 중요한 역할을 하는 조직이다. 골대사는 골을 재생하는 조골세포(osteoblast)와 골을 용해하는 파골세포(osteoclast)가 균형을 유지하면서 작용하는데 성장기에는 조골세포의 활성이 크고 노년기에는 조골세포에 비해서 파골세포의 활성이 증가되어 골밀도가 급격히 감소한다. 따라서 성장기에 충분한 칼슘 섭취로 뼈를 강화하여 골밀도가 감소하는 40대 이후 뼈의 손실을 최소화할 수 있다(4).

칼슘은 한국인의 식생활에서 가장 부족되기 쉬운 영양소로 2010년도 국민건강영양조사 통계에 따르면 칼슘 섭취량은 전년 대비 7% 상승했음에도 불구하고 권장섭취량의 74%로 가장 낮은 비율을 보였다. 칼슘은 3세 이상 전 연령대에서

*Corresponding author. E-mail: hhj2001@deu.ac.kr
Phone: 82-51-890-1594, Fax: 82-51-890-2646

권장섭취량의 85% 미만을 섭취하였고 특히 청소년기와 65세 이상 노인에서는 권장섭취량에 대한 섭취비율이 60% 수준으로 매우 낮은 것으로 조사되었다(5). 칼슘의 섭취가 부족하면 뼈 건강 문제뿐 아니라 순환기계 질환, 동맥경화, 고혈압 및 각종 성인병과도 깊은 연관이 있는 것으로 연구되고 있다(6-8). 칼슘과 관련된 여러 가지 질병 중 대표적인 골다공증은 골격대사 이상 또는 칼슘대사의 불균형으로 인한 골량의 전반적인 감소로 발생하는 대사성 질환으로 근래 고령화의 증가로 전 세계적으로 중요하게 다루어지고 있다(9).

멸치(*Engraulis japonicus*)는 우리나라의 전 연안에 분포하는 어종으로서 칼슘, 단백질, 비타민, 고도불포화지방산 등을 다량 함유하며 칼슘 체내 이용률 또한 매우 높은 것으로 보고되어 부족되기 쉬운 칼슘의 급원으로 우수한 수산식품이다(10). 그러나 다른 어종에 비하여 부패속도가 빠르기 때문에 어획량의 90% 이상을 젓갈 및 액젓의 원료, 자건품의 원료로 사용되고 있고 있다(11). 멸치 액젓을 만들고 남은 부산물은 현재 폐기되거나 다양한 처리과정을 거쳐 사료 등으로 사용되고 있는 실정이므로 이를 활용하여 성장기나 노인의 칼슘영양을 극대화하기 위한 칼슘제의 개발이 필요하리라고 본다.

따라서 본 연구는 흰쥐에게 서로 다른 급원의 칼슘, 즉 탄산칼슘, 젓산칼슘, 해조칼슘, 멸치칼슘 및 저칼슘을 급여하여 칼슘대사 및 골밀도에 미치는 영향을 조사하여 멸치젓에서 추출한 칼슘이 칼슘 소재로서 가치가 있는지를 평가하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험동물 및 식이

이유한 3주령의 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐에게 적응기를 거쳐 2주간의 칼슘부족 식이(0.15%)를 급여한 후 한

군당 8마리씩 5군으로 나누었다. 실험군은 대조군으로 0.5% CaCO₃를 급여하였고, 저칼슘군(LC, low calcium, 0.15% CaCO₃), 해조칼슘군(SC, seaweed calcium), 젓산칼슘군(CL, calcium lactate), 멸치칼슘군(AC, anchovy calcium)으로 구별하여 4주간 급여하였다. 저칼슘군을 제외하고 나머지 실험군은 칼슘함량은 0.5%를 포함한 식이를 제공하였다. 해조칼슘, 젓산칼슘, 멸치칼슘은 거제시의 K 식품회사에서 제공받았으며, 멸치칼슘은 멸치액젓을 추출하고 남은 찌꺼기를 고형물 형태로 만든 뒤 스팀살균공정을 거쳤다. 다음으로 비린 향 및 냄새를 흡착하여 고형물 건조와 동시에 젓갈 냄새와 생선특유의 냄새를 제거하는 건조공정을 거친 후, 분쇄과정을 거쳐 칼슘분말 상태로 제조하였다. 각 칼슘급원의 칼슘양을 분석하여(해조칼슘: 37.8%, 젓산칼슘: 13.6%, 멸치칼슘: 38.2%) 식이의 첨가량을 정하였으며, 식이 조성 및 vitamin mixture, mineral mixture(calcium-free)는 AIN-93G에 의거하여 배합하였다(Table 1). 실험식이와 이온교환수는 자유급식 하였고, 사육에 필요한 기구는 0.4% EDTA로 씻은 후 증류수로 헹구어 사용하였다. 실험기간 동안 식이섭취량은 주 2회 측정하였고, 체중은 주 1회씩 정기적으로 측정하였다.

시료수집

실험기간 총 6주 후에 실험동물을 하룻밤 절식시킨 후 ethyl ether로 마취시킨 다음 단두하여 희생하였다. 채취된 혈액을 3,000 rpm에서 20분간 원심분리 하여 분리된 혈청을 -50°C에서 냉동 보관하였다. 대퇴골을 적출하여 골격에 붙어 있는 근육, 인대, 지방 등을 제거하여 무게를 측정, 보관하였다. 요와 변은 실험 종료 전 대사장에서 적용시킨 후 24시간 동안 채취하여 요는 100 mL가 되도록 증류수로 희석하였고, 변은 105±5°C 오븐에서 건조시켜 분말로 만들었다.

Table 1. Composition of the experimental diet

	Groups ¹⁾				
	LC	CC	SC	CL	AC
Calcium carbonate	3.8	12.6	—	—	—
Seaweed calcium	—	—	13.3	—	—
Calcium lactate	—	—	—	37.0	—
Anchovy calcium powder	—	—	—	—	13.2
Cornstarch	397.4	397.4	397.4	397.4	397.4
Casein	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
Dextrinized cornstarch	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0
Soybean oil	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Fiber	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Mineral mix ²⁾	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Vitamin mix ³⁾	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
L-cystine	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<i>tert</i> -Butylhydroquinone	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
Sucrose to	1000	1000	1000	1000	1000

¹⁾LC, low calcium (0.15% CaCO₃); CC, 0.5% CaCO₃; SC, seaweed calcium; CL, calcium lactate; AC, anchovy calcium.

²⁾The composition of mineral mix was based on AIN-93G (calcium free).

³⁾Vitamin mix: AIN-93.

시료분석

골밀도 및 골 칼슘 함량 측정: 대퇴골은 105±5°C에서 건조하여 건조무게를 측정 후 550~600°C의 회화로에서 6~8시간 회화하여 총 회분을 얻었다. 회화된 회분은 1 N HCl에 용해한 후 1% La₂O₃로 희석하여 원자흡광광도계 (atomic absorption spectrometer, Perkin Elmer Co., Santa Clara, CA, USA)로 칼슘 함량을 측정하였다. 번도 대퇴골과 같은 방법으로 처리하여 얻은 건조분말에서 칼슘 함량을 측정하였으며, 골밀도는 PIXI LUNAR PIXImus(Lunar Co., San Francisco, CA, USA)를 사용하여 측정하였다.

혈액 및 요의 생화학적 분석: 혈액과 요의 칼슘 함량은 자동분석기(BS390, Mindray Bio-electronics, Shenzhen, China)를 이용하여 분석하였다. 혈액 중의 alkaline phosphatase의 활성은 Daiichi 시약을 이용한 kit(Daiichi Pure Chemicals Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였고, parathyroid hormone(PTH)은 Rat intact PTH ELISA kit (Immunotopicsm Inc., San Clemente, CA, USA)를 사용하여 분석하였다. 혈액 중의 calcitonin 농도는 IRMA(immuno-radiometric assay)법에 의거하여 I¹²⁵-calcitonin kit(Phoenix Pharmaceutical Inc., Burlingame, CA, USA)를 사용하여 분석하였고, osteocalcin 농도는 kit(Biomedical Technologies Inc., Stoughton, MA, USA)를 사용하여 분석하였으며, 요 중의 deoxypyridinoline(DPD)의 함량은 화학발광면역분석법에 의한 competitive binding assay(12)를 이용하여 측정하였다.

통계분석

실험결과는 SPSS 17.0(Statistical Package for Social

Science, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 실험군의 평균±표준편차를 계산하였다. 실험 식이에 따른 체중 변화, 식이효율, 칼슘섭취량과 배설량의 균형, 뇨와 혈청의 칼슘대사와 관련된 호르몬, 대퇴골의 무게, 골밀도 등의 측정치의 차이는 one way ANOVA를 사용하여 비교하였으며, Duncan's multiple range test에 의해 검증하였다. 각 실험군 간의 유의성은 α=0.05 수준으로 하였다.

결과 및 고찰

실험동물의 체중변화와 식이효율

Table 2에는 실험군의 체중증가와 식이효율을 나타내었다. 실험 종료까지의 체중은 탄산칼슘을 섭취한 CC군에서 355.1±22.16 g으로 가장 많이 증가하였고, 저칼슘군(LC군)에서 323.6±21.42 g으로 다른 군에 비하여 체중증가가 낮았다. 식이 섭취량은 저칼슘군(LC)군에서 가장 낮았고 적정칼슘(0.5%)을 섭취시킨 나머지 4군에서는 차이를 보이지 않았으며, 식이효율은 실험군 간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 칼슘급원에 따른 체중변화와 식이섭취량에 관한 연구를 보면 Chang 등(13)은 시트르산으로 처리한 멸치 칼슘을 섭취한 흰쥐에서 인산칼슘이나 젖산칼슘을 섭취한 경우보다 체중증가량이 높다고 보고한 바 있고, Tsugawa 등(14)의 연구에서는 비타민 D의 조건을 달리하여 탄산칼슘, 유청칼슘 등을 흰쥐에게 섭취시켰을 때 칼슘 급원에 따른 체중증가와 식이섭취량은 차이가 없었다고 보고되었다.

칼슘섭취량과 흡수율 및 보유율

Table 3에는 식이섭취량으로부터 계산한 섭취량과 배설

Table 2. Body weight, body weight gain and food efficiency rate (FER) in the experimental group

Group ¹⁾	Initial BW (g)	Final BW (g)	Food intake (g/week)	FER ²⁾
LC	118.1±5.13 ^{3)NS4)}	323.6±21.42 ^{b5)}	130.7±9.49 ^b	0.23±0.01 ^{NS}
CC	118.2±3.12	355.1±22.16 ^a	145.1±7.54 ^a	0.25±0.03
SC	116.1±11.21	345.8±15.92 ^{ab}	144.6±8.12 ^a	0.25±0.02
CL	113.2±8.16	340.9±19.22 ^{ab}	152.9±12.16 ^a	0.26±0.02
AC	118.4±7.12	350.2±12.50 ^a	146.5±5.92 ^a	0.26±0.01

¹⁾Refer to Table 1. ²⁾Food efficiency rate=Weight gain/ Food intake.

³⁾Values are mean±SD. ⁴⁾NS: not significant.

⁵⁾Values within column with same superscript are not significantly different by Duncan's multiple range test at α=0.05.

Table 3. Calcium intake, calcium absorption and retention in the experimental group

Group ¹⁾	Ca intake (mg/day)	Fecal Ca excretion	Urinary Ca excretion (mg/day)	Ca absorption rate ²⁾ (%)	Ca retention (mg/day) ³⁾
LC	33.5±4.46 ^{4)b5)}	4.72±0.53 ^b	4.84±2.25 ^c	86.2±9.01 ^a	25.4±2.77 ^c
CC	97.2±7.46 ^a	38.9±4.35 ^a	15.2±8.75 ^{ab}	61.8±9.70 ^b	46.6±21.2 ^a
SC	102.1±8.16 ^a	45.3±5.73 ^a	17.1±6.68 ^{ab}	55.8±6.68 ^b	40.9±18.0 ^b
CL	99.5±9.16 ^a	26.5±4.25 ^{ab}	21.1±5.26 ^a	73.5±9.74 ^{ab}	51.2±16.5 ^a
AC	102.5±9.46 ^a	38.1±6.25 ^a	17.2±2.30 ^{ab}	62.7±5.65 ^b	48.3±9.6 ^a

¹⁾Refer to Table 1.

²⁾Ca absorption rate (%)=(Ca intake-fecal Ca excretion)/ Ca intake×100.

³⁾Ca retention (mg/day)=(Ca intake-fecal Ca excretion-urinary Ca excretion).

⁴⁾Values are mean±SD.

⁵⁾Values within column with same superscript are not significantly different by Duncan's multiple range test at α=0.05.

Table 4. Calcium biochemical parameters of serum and urine in the experimental group

Group ¹⁾	Serum				Urine
	ALP (IU/L)	Osteocalcin (ng/mL)	Calcitonin (pg/mL)	PTH (pg/mL)	Deoxypyridinoline (DPD)
LC	592.3±64.9 ^{2)a3)}	1.19±0.23 ^{NS4)}	2.43±1.12 ^b	225.3±21.6 ^{NS}	406.1±44.2 ^a
CC	462.1±34.2 ^b	1.26±0.24	3.40±0.67 ^a	249.0±48.8	362.5±11.2 ^b
SC	523.1±25.3 ^{ab}	1.17±0.12	3.42±0.27 ^a	234.8±19.7	385.0±24.9 ^{ab}
CL	534.2±66.6 ^{ab}	1.20±0.18	3.45±0.85 ^a	237.1±21.8	423.2±34.2 ^{ab}
AC	452.6±27.4 ^b	1.23±0.20	3.16±0.42 ^a	219.2±21.5	354.6±13.5 ^b

¹⁾Refer to Table 1. ²⁾Values are mean±SD.

³⁾Values within column with same superscript are not significantly different by Duncan's multiple range test at α=0.05.

⁴⁾NS: not significant.

량을 통하여 칼슘 흡수율과 보유량을 계산하여 나타내었다. 칼슘섭취량은 LC군에서 33.5±4.46 mg/day로 가장 낮은 수치를 나타내었고 정상칼슘군에서는 97.2~102.5 mg/day로 높게 나타났으며, 정상칼슘군 사이에는 유의적인 차이가 없었다. 칼슘 흡수율은 저칼슘군에서 가장 높게 나타나 식이 칼슘수준이 적을수록 흡수율이 높아지는 것을 알 수 있었으며, 정상칼슘군 사이에는 흡수율의 차이를 보이지 않았다. 칼슘 보유량은 저칼슘군에서 가장 낮았으며, 탄산칼슘군(CC), 젓산칼슘군(CL), 멸치칼슘군(AC)은 해조칼슘군(SC군)보다 유의적으로 높은 수치를 나타내었다. 식이칼슘량과 체중증가량에 관한 연구를 보면 Han 등(15)의 연구에서는 식이의 칼슘 함량이 적을수록 체중증가량이 낮다고 보고했는데, 본 연구에서도 저칼슘군에서 체중증가량이 정상칼슘군보다 유의적으로 낮게 나타났다. 변 칼슘량은 LC군에서 낮았고, 정상칼슘군 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았는데 Lee 등의 연구(16)에서는 고칼슘섭취군(1%)의 변 칼슘배설량이 저칼슘섭취군(0.3%)의 변 칼슘배설량보다 유의적으로 높아 변 칼슘배설량은 식이 칼슘섭취량에 영향을 받는다고 보고하였다.

혈청과 소변의 칼슘대사 관련 인자

Table 4에는 혈청과 소변의 골격대사와 관련된 지표를 나타내었다. 뼈 형성의 biomaker인 alkaline phosphatase (ALP)의 측정치는 저칼슘식이군 LC에서 592.3±64.9 IU/L로 유의하게 높은 반면 정상 칼슘급여군에서는 낮게 나타났으며, 특히 탄산칼슘군(462.1±34.2 IU/L)과 멸치칼슘군(452.6±27.4 IU/L)에서 현저히 낮게 나타났다. ALP는 osteocalcin과 함께 대표적인 골형성 지표로 알려져 있고(17), 이는 정상적인 혈액에서는 적은 농도로 존재하지만 이상이 생기거나 폐경기 또는 골육종(osteosarcoma)의 경우 혈청 내에서 ALP의 활성도가 증가한다. Kim 등(18)의 연구에서 5주령 된 암컷 흰쥐에게 저수준과 정상수준의 칼슘을 5주간 섭취시켰을 때 저칼슘군이 정상칼슘군보다 ALP 활성이 40% 정도 높았음을 보고하였다. Osteocalcin은 뼈와 상아질에만 분포하며 골대사가 활발할수록 혈청내 농도가 증가한다고 보고되어 있는데(19), 본 연구에서는 1.17~1.26 ng/mL로 실험군간의 차이를 나타내지 않았다. 칼시토닌은 갑상선의 특이화된 간질세포에서 분비되어 혈액칼슘 농도의 유지

조절과 뼈 흡수 억제 등의 역할을 담당하는데, 본 연구에서 LC군에서 유의적으로 낮게 나타났다(p<0.05). PTH는 뼈의 칼슘과 인의 혈액 속으로 재흡수 되도록 촉진시켜 혈중으로 칼슘과 인의 농도를 증가시키는 역할을 하며 칼시토닌은 골격에 칼슘을 침착시키고 신장의 칼슘 재흡수를 감소시키는 작용을 한다(20). 이는 골밀도가 높을수록 유의적으로 낮은 수치를 보이는 것으로 발표된 바 있으나(21), 본 연구에서 나타난 PTH 수준은 실험군 간의 차이를 보이지 않았다.

Deoxypyridinoline(DPD)은 골과 연골 부위에서만 발견되고 파골세포에 의해 콜라겐이 분해되면서 유리되어 소변으로 배출되므로 뼈의 흡수지표로 사용되고 있다(22). 본 연구결과 요중 DPD 수치는 LC군에서 정상칼슘군보다 유의적으로 높은 수치를 보였으며, CC군과 AC군에서 낮은 수치를 보였다. Yoon과 Kim(23)의 연구에서도 칼슘 보충식이 섭취한 군에서 DPD 수준이 유의하게 높은 반면 칼슘 회복식을 섭취한 군에서 DPD가 저하되었음을 보고한 바 있다. 본 연구결과 멸치칼슘군이 탄산칼슘군과 같이 혈중 ALP 활성이 낮고 뇨중 DPD 수준이 낮은 것으로 보아, 멸치칼슘이 기존의 칼슘급원으로 사용해 오던 탄산칼슘만큼 칼슘대사에 긍정적인 영향을 미쳤음을 알 수 있었다.

대퇴골의 무게와 칼슘 함량 및 골밀도

Table 5에는 대퇴골의 건조 전과 후의 무게를 나타내었다. 대퇴골의 체중 100 g당 습윤무게는 실험군간에는 차이를 나타내지 않았으나, 건조무게는 정상칼슘군보다 LC군에서 유의적으로 낮은 결과를 보였다(p<0.05). Kim 등(24)의 칼

Table 5. Wet weight and dry weight of femur in the experimental group

Group ¹⁾	Wet weight		Dry weight	
	g	g/100 g BW	g	g/100 g BW
LC	0.67±0.05 ²⁾³⁾	0.22±0.02 ^{NS4)}	0.42±0.08 ^b	0.13±0.01 ^b
CC	0.81±0.05 ^a	0.22±0.01	0.54±0.03 ^a	0.16±0.01 ^a
SC	0.86±0.09 ^a	0.25±0.03	0.55±0.09 ^a	0.16±0.01 ^a
CL	0.82±0.05 ^a	0.24±0.05	0.55±0.11 ^a	0.15±0.01 ^a
AC	0.81±0.10 ^a	0.23±0.06	0.53±0.14 ^a	0.17±0.01 ^a

¹⁾Refer to Table 1.

²⁾Values are mean±SD.

³⁾Values within column with same superscript are not significantly different by Duncan's multiple range test at α=0.05.

⁴⁾NS: not significant.

Table 6. Calcium level and bone mineral density of femur in the experimental group

Group ¹⁾	Ca (mg/g)	BMD (g/cm ²)
LC	87.7±5.32 ^{2)bc3)}	0.17±0.01 ^b
CC	97.6±8.54 ^a	0.25±0.00 ^a
SC	98.2±4.71 ^a	0.27±0.02 ^a
CL	99.5±3.81 ^a	0.24±0.01 ^{ab}
AC	102.1±4.55 ^a	0.26±0.01 ^a

¹⁾Refer to Table 1.

²⁾Values are mean±SD.

³⁾Values within column with same superscript are not significantly different by Duncan's multiple range test at $\alpha=0.05$.

슘급원에 따른 골격대사를 조사한 연구에서 건조 후의 체중 당 대퇴골의 무게는 젖산칼슘군이 우골칼슘군, 탄산칼슘군보다 높다고 보고된 바 있다.

Table 6에 나타난 대퇴골의 칼슘함량은 저칼슘군을 제외한 군에서 차이를 나타내지 않았다. 본 연구에서는 칼슘 섭취수준은 저칼슘군을 제외하고 적정칼슘군들 간에 차이를 보이지 않았는데 대퇴골의 칼슘함량의 결과도 같은 양상으로 나타남을 알 수 있었으며, Park 등(25)의 연구에서는 칼슘의 섭취수준이 높을수록 대퇴골의 칼슘 함량이 높게 나타남을 보고된 바 있어 본 연구와 같은 결과를 나타내었다. 대퇴골의 골밀도 측정 결과 저칼슘식이를 공급한 LC군은 정상칼슘군에 비해 골밀도가 유의하게 낮았고($p<0.05$), 동일한 정상수준의 칼슘이 공급된 실험군 사이에서는 CL군에서 AC, CC, SC군보다 유의적인 차이는 아니지만 감소경향을 보였다(Table 6). Pointillart 등(26)의 연구에 의하면 칼슘급원을 달리하여 어린 돼지에게 2달간 공급했을 때 우유칼슘군의 대퇴골의 골밀도가 다른 칼슘군(탄산칼슘, 황산칼슘)보다 유의적으로 증가되었다고 하였고, Han 등(15)의 연구에서는 탄산칼슘과 비교하여 멸치칼슘이 높은 칼슘 이용성을 갖는 것으로 보고된 바 있다. 한편 골밀도와 칼슘대사에 관련된 인자의 관련성에 대한 연구를 보면 Aloia 등(27)의 연구에서 ALP 활성도는 골질량과 음의 상관관계를 나타내었다고 보고된 바 있고, 본 연구에서도 ALP 활성은 골밀도가 유의적으로 높은 AC군과 CC군에서 LC군보다 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.05$). 또한 DPD 수치는 AC군과 CC군에서 LC군에 비해 유의적으로 낮았고 골밀도는 높게 나타났는데($p<0.05$), Kim 등(24)의 연구에서도 저칼슘 식이를 공급받은 흰쥐에서 골밀도가 낮고 DPD 수치가 높으며, 적정 칼슘을 공급받은 쥐에서 골밀도가 높고 DPD 수치가 낮은 결과를 보고하였다.

본 연구결과 여러 가지 칼슘급원에 따른 흰쥐의 골격대사는 칼슘급원별로 차이를 나타내었으며, 저칼슘군과의 차이가 두드러져 양적인 면에서의 칼슘 공급의 중요성을 지적할 수 있겠다. 실험동물의 칼슘보유율, 흡수율, 칼슘대사에 관련된 호르몬의 변화, 대퇴골의 골밀도 결과로 보아 멸치젓에서 추출한 칼슘은 기존에 칼슘 급원으로 사용해 오던 다른 칼슘 급원을 대체할 수 있을 것으로 사료되며, 본 연구결과 는 그 동안 폐기되어 오던 멸치젓을 활용한 칼슘제를 개발에

대한 기초자료가 될 수 있을 것으로 본다.

요 약

멸치젓으로부터 추출한 칼슘이 체내의 칼슘대사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 칼슘급원을 달리하여 섭취시킨 후 체내의 골격대사에 관련된 지표를 비교 평가하였다. 식이구성은 탄산칼슘군(calcium carbonate, CC), 젖산칼슘군(calcium lactate, CL), 해조칼슘군(seaweed calcium, SC), 멸치칼슘(anchovy calcium, AC), 저칼슘(low calcium, LC)군으로 총 5군으로 구성하였으며, 실험결과는 다음과 같다. 실험 종료까지의 체중은 탄산칼슘을 섭취한 CC군과 AC군에서 가장 많이 증가하였으며, LC군에서 체중 증가가 낮았고 식이섭취량도 LC군에서 가장 낮았으며, 정상칼슘군에서는 차이를 보이지 않았다. 칼슘 섭취량은 LC군에서 가장 낮은 수치를 나타내었고 정상칼슘군들 사이에는 유의적인 차이가 없었다. 칼슘 흡수율은 LC군에서 가장 높게 나타나 식이 칼슘수준이 적을수록 흡수율이 높아지는 것을 알 수 있었다. 칼슘 보유량은 저칼슘군에서 가장 낮았으며, CC군, CL군, AC군은 SC군에 비해 유의적으로 높은 수치를 나타내었다. 혈중 ALP 수준은 LC군에서 유의하게 높은 반면 정상칼슘군에서는 낮게 나타났으며, 특히 CC군과 AC군에서 현저히 낮게 나타났다. 칼시토닌 농도는 LC군에서 정상칼슘군보다 유의적으로 낮게 나타났고($p<0.05$) 요중 DPD 수치는 LC군에서 가장 높은 수치를 보였으며, CC군과 AC군에서 유의적으로 낮은 수치를 보였다. 대퇴골의 체중 100 g당 습윤무게는 실험군간에는 차이를 나타내지 않았으나, 건조무게는 정상칼슘군보다 LC군에서 유의적으로 낮은 결과를 보였다($p<0.05$). 대퇴골의 골밀도는 LC군에서 정상칼슘군에 비해 유의하게 낮았고($p<0.05$), 동일한 정상수준의 칼슘이 공급된 실험군 사이에서는 CL군에서 AC, CC, SC보다 유의적인 차이는 아니지만 감소경향을 보였다. 실험동물의 칼슘대사에 관련된 호르몬의 변화나 대퇴골의 골밀도 결과로 보아 멸치젓에서 추출한 칼슘은 기존에 사용해오던 탄산칼슘 수준으로 칼슘대사에 긍정적인 가치를 부여할 수 있을 것으로 사료되고, 멸치 부산물을 활용한 칼슘제 개발에 응용할 수 있을 것으로 본다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부·부산광역시 지원 지역혁신센터사업(RIC 08-06-07) 동의대학교 블루바이오 소재 개발 및 실용화 지원센터의 지원으로 이루어졌습니다.

문 헌

1. Einhorn TA, Levine B, Michel P. 1990. Nutrition and bone.

- Orthop Clin North Am* 21: 43-50.
2. Heaney RP. 1993. Nutritional factors in osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 13: 287-316.
 3. Kitts DD, Yuan YV. 1992. Caseinophosphopeptides and calcium bioavailability. *Trends Food Sci Technol* 3: 31-35.
 4. Chung YJ, Lee KM, Park JW, Chung SP. 2001. Factor which are related with BMD in premenopausal women. *J Korean Acad Fam Med* 22: 363-370.
 5. 2010 National health and nutrition survey report. 2011. Korean Health Industry Development Institute, Ministry of Health and Welfare, Korea. p 44-68.
 6. Lee HS, Baik IK, Hong ES. 1996. Effects of nutrients intakes on development of osteoporosis in Korean postmenopausal women. *J Korean Diet Assoc* 2: 38-48.
 7. Lee SH, Hwangbo YS, Kim JY, Lee YS. 1997. A study on the bioavailability of dietary calcium sources. *J Korean Nutr* 30: 499-505.
 8. Park JA, Yoon JS. 2001. The effect of habitual calcium and sodium intakes on blood pressure regulating hormone in free-living hypertensive women. *J Korean Nutr* 34: 409-416.
 9. Raisz LG. 1998. Local and systemic factors in the pathogenesis of osteoporosis. *N Engl J Med* 318: 818-828.
 10. Lee EH, Kim SK, Cho GD. 1977. *Nutritional component and health in the fishery resources of the coastal and offshore waters in Korea*. Youil Publishing Co, Busan, Korea. p 43-46.
 11. Cho YJ, Im YS, Park HY, Choi YJ. 2000. Changes of components in salt-fermented anchovy, *Engraulis Japonicus* sauce during fermentation. *J Korean Fish Soc* 33: 9-15.
 12. Gomez B Jr, Ardakani S, Evans BJ, Merrell LD, Jenkins DK, Kung VT. 1996. Monoclonal antibody assay for free urinary pyridinium cross-links. *Clin Chem* 42: 168-1175.
 13. Chang HJ, Jung EB, Seong KS, Han CK, Jo JH. 2006. Effect of anchovy treated with ethanol, citric acid and dietary calcium supplements on calcium metabolism in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 860-865
 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: 677-682.
 15. Han JH, Kim EM, Cheong MK, Chee SK, Chee KM. 2010. Bioavailability and digestibility of organic calcium sources by bone health index. *Korean J Nutr* 43: 12-25.
 16. Lee JH, Moon SJ, Huh KB. 1993. Influence of phytate and low dietary calcium on calcium, phosphate and zinc metabolism by growing rats. *Korean J Nutr* 26: 145-155.
 17. Delmas PD. 1993. Biological markers of bone metabolism. *Presse Med* 22: 263-268.
 18. Lee YS, Park MN, Kim EM. 1997. Effect of dietary calcium levels on peak bone mass formation in growing female rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 480-487.
 19. Kim IG, Kim SB, Kim JG, Kim KC, Chun KJ, Park HK, Lee KS. 1993. Serum enzymes as indicators of radiation exposure in rat. *J Radiation Protection* 18: 37-44.
 20. Austin LA, Health H 3rd. 1981. Calcitonin: physiology and pathophysiology. *N Engl J Med* 29: 269-278.
 21. Moon SJ, Kim JH, Lim SK. 1996. Investigation of risk of low serum 25-hydroxyvitamin D levels in Korean menopausal women. *Korean J Nutr* 29: 981-990.
 22. Delmas PD, Hardy P, Garnero P, Dain M. 2000. Monitoring individual response to hormone replacement therapy with bone marker. *Bone* 26: 553-560.
 23. Yoon GA, Kim KH. 2010. Effect of calcium source using *Tilapia mossambica* scales on the bone metabolic biomarkers and bone mineral density in rats. *Korean J Nutr* 43: 351-356.
 24. Kim YM, Yoon GA, Hwang HJ, Chi GY, Son BY, Bae SY, Kim IY, Chung JY. 2004. Effect of *bluefin* tuna bone on calcium metabolism of the rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 101-106.
 25. Park MN, Cho SJ, Kim HK, Kim JH, Kim MH, Kim WS, Lee YS. 2012. A study on the bioavailability of organic Ca in growing rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 87-94.
 26. Pointillart A, Coxam V, Sève B, Colin C, Lacroix CH, Guéguen L. 2000. Availability of calcium from skim milk, calcium sulfate and calcium carbonate for bone mineralization in pigs. *Reprod Nutr Dev* 40: 49-61.
 27. Aloia JF, Cohr SH, Vaswani A, Yeh JK, Yuen K, Ellis K. 1985. Risk factors for postmenopausal osteoporosis. *Am J Med* 78: 95-100.

(2012년 12월 7일 접수; 2013년 1월 28일 채택)