

## 참다랑어 골분이 흰쥐의 칼슘대사에 미치는 영향

김영만<sup>1</sup> · 윤군애<sup>1\*</sup> · 황혜진<sup>1</sup> · 지규용<sup>2</sup> · 손병일<sup>3</sup> · 배서영<sup>1</sup> · 김인령<sup>1</sup> · 정자영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>동의대학교 생활과학대학 식품영양학과

<sup>2</sup>동의대학교 한의학과

<sup>3</sup>동의대학교 한방식품연구소

## Effect of *Bluefin* Tuna Bone on Calcium Metabolism of the Rat

Young Man Kim<sup>1</sup>, Gun Ae Yoon<sup>1\*</sup>, Hye Jin Hwang<sup>1</sup>, Gyoo Yong Chi<sup>2</sup>, Byoung Yil Son<sup>3</sup>,  
Seo Young Bae<sup>1</sup>, In Young Kim<sup>1</sup> and Ja Young Chung<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food and Nutrition, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Oriental Medicine, Donggeui University, Busan 714-710, Korea

<sup>3</sup>Institute of Oriental Food Science, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

### Abstract

This study was conducted to examine the effect of *bluefin* tuna bone on the bone metabolism of the rats. Weaned 6-week old male rats were fed low-calcium diets for 2 weeks after the adjustment period. Rats were divided into 6 groups and were fed experimental diets for six weeks. Experimental groups were ① Normal calcium: CC (0.5% CaCO<sub>3</sub>; control) ② TB (*bluefin* tuna bone powder) ③ CT (citrate *bluefin* tuna bone powder) ④ BB (bovine bone powder) ⑤ CL (calcium lactate) ⑥ Low calcium LC (0.15% CaCO<sub>3</sub>). Low-calcium diet group (LC) showed the lowest calcium retention. There was no differences in calcium excretion in stool and calcium absorption among various calcium sources. Serum calcitonin levels were high in TB, CT and BB group compared to those in CC, CL LC group. Parathyroid hormone and osteocalcin levels showed no differences among experimental groups. Deoxyypyridinoline (DPD) levels were significantly higher in LC group than in other groups. Wet weight of the femur were significantly high in TB and CT group, and dry weight of femur showed no differences among normal calcium groups. Bone density of femur in LC group was significantly lower than those of normal calcium feeding group, and TB group showed highest bone density among experimental groups. There was no differences in bone metabolism among various calcium sources. Therefore, it is pointed out that the amount of calcium intake is very important because there was significant differences between normal calcium diet and low calcium diet. According to the results of femur weight, ash, calcium and bone density, it is suggested that *bluefin* tuna bone have alternative effects to bovine bone powder on the maintenance of bone health.

**Key words:** tuna bone, bovine bone, calcium metabolism, bone density

### 서 론

칼슘 영양상태는 골격질환을 유발하는 직접적인 원인이 되나 1998년도 국민건강조사에 의하면 한국인의 칼슘 섭취량은 권장량의 72.8%수준이며, 권장량의 75%미만 섭취가구 비율이 63.5%로 매우 저조한 것으로 조사되었다(1). 이러한 칼슘 섭취의 부족으로 인한 영양문제는 골격질환 뿐 아니라, 순환계질환의 위험 인자 및 대장질환 등 각종 성인병과 관련되어 나타나고 있어 칼슘 함유식품의 요구는 증대되고 있다(2,3).

최근 각국에서는 여러 가지 칼슘염을 주체로 한 칼슘 보충제 및 체내 이용성 촉진 물질 등을 개발하여 시판되고 있으며, 한국에서도 우골분, 난각 분말, 패각 분말 같은 체내 흡수

율이 낮은 칼슘공급원이 외국에서 수입되어 생산되고 있으며, 이들 칼슘 공급원에 따른 유용성과 영양효과가 다양하게 비교, 검토되어 왔다(4-6). 특히 국내 많은 칼슘 함유식품이 원료인 수입된 우골은 최근 광우병 파동으로 안정성의 문제가 제기되고 있어 칼슘 공급원으로서의 양질의 우골분 대체 물질의 개발은 국민의 건강과 영양을 위해 매우 시급한 과제라고 본다.

매년 많은 종류의 부산물들이 수산식품 공장에서 발생되는데, 특히 참다랑어 골분에는 칼슘과 인이 적절히 결합된 유용 무기질이 다량 함유되어 있어(7,8) 칼슘 공급원으로서의 이용이 가능하나 대부분이 사료로 이용되거나 폐기되어 저 효율적 활용이 제대로 이루어지지 않을 뿐만 아니라 환경 오염을 유발시키고 있다. 이에 참치통조림 가공 부산물인 참

\*Corresponding author. E-mail: gayoon@deu.ac.kr  
Phone: 82-51-890-1592, Fax: 82-51-890-1579

다량어 골분으로부터 칼슘을 추출하여 기능성 소재로 이용 가능하기 위한 연구가 일부 시도되고 있으나 부족한 실정이다(9,10).

일반적으로 식품 중 칼슘 공급원으로서의 가치는 그 함량 뿐 아니라 체내 이용성 및 흡수율이 중요 인자이고, 칼슘염의 형태를 고려한 체내에서 흡수율 증대와 이용률의 극대화는 매우 중요한 위치를 차지한다고 본다(2). 자숙 참다랑어 골분으로부터 칼슘제를 제조하여 특성을 알아본 결과 참다랑어 골분 칼슘제를 효율적으로 이용하기 위해서는 반드시 흡수율을 고려한 전처리가 필요하다는 것을 강조한 바 있다(7).

본 연구는 지금까지 수입에 의존하고 있는 국내 칼슘 공급 상황을 탈피하고 우골분에 대한 국민의 불안 심리가 고조되고 있는 바, 우골분 대체 공급원을 개발하고자 하여 시도되었다. 수산가공 부산물 중 참다랑어 골분이 흰 쥐의 칼슘대사에 관련된 호르몬 및 대퇴골 골밀도에 미치는 영향을 파악하여 우골분 대체 칼슘 공급원으로서의 가치를 평가하고자 하였다.

## 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 6군으로 나누었다. 한 군은 계속 칼슘부족 식이를 4주간 급여하였고, 나머지 5군은 칼슘 공급원을 달리하여 충분한 칼슘을 함유한 정상식이(0.5%)를 4주 동안 급여하였다. 실험 식이 조성표와 vitamin mixture, mineral mixture(calcium-free)는 AIN-93G에 의거하여 배합하였다(Table 1). 실험군은 ① 정상칼슘(0.5%)을 급여한 CC군( $\text{CaCO}_3$ ; 대조

군) ② TB군(*bluefin* tuna bone powder) ③ CT(citrated *bluefin* tuna bone powder) ④ BB(bovine bone powder) ⑤ CL(calcium lactate, 유산칼슘) ⑥ 저칼슘을 급여한 LC(0.15%  $\text{CaCO}_3$ , 탄산칼슘)으로 구별하였다. 실험식이와 이온교환수는 자유급식하였고, 사육에 필요한 기구는 0.4% EDTA로 씻은 후 증류수로 헹구어 사용하였다. 실험기간 동안 식이섭취량과 체중은 1주일에 각기 2회와 1회씩 정기적으로 측정하였다.

### 시료수집

실험기간 총 6주 후에 실험동물을 하룻밤 절식시킨 후 ethyl ether로 마취시킨 후 단두하여 희생하였다. 채취된 혈액을 3000 rpm에서 20분 간 원심분리하여 분리된 혈청을  $-50^\circ\text{C}$ 에서 냉동보관하였다. 대퇴골을 적출하여 골격에 붙어 있는 근육, 인대, 지방 등을 제거하여 무게를 측정, 보관하였다. 요와 변은 실험 종료 전 대사장에서 적응시킨 후 24시간 동안 채취하여 요는 100 mL가 되도록 희석하였고, 변은  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 건조시켜 분말로 만들었다.

### 시료분석

**골밀도 및 골 Ca함량 측정**: 골밀도는 LUNAR사(Madison, WI, USA)의 양에너지 방사선 골밀도 측정기(dual energy x-ray absorptiometry, DEXA) 사용하여 측정하였다.

대퇴골은  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 건조하여 건조무게를 측정한 후  $550 \sim 600^\circ\text{C}$ 의 회화로에서 6~8시간 회화하여 총 회분을 얻었다. 회화된 회분은 1 N HCl에 용해한 후 1%  $\text{La}_2\text{O}_3$ 로 희석하여 원자흡광광도계(Atomic absorption spectrometer, Perkin Elmer Co)로 칼슘함량을 측정하였다. 변도 대퇴골과 같은 방법으로 처리하여 얻은 건조분말에서 칼슘함량을 측정하였다.

Table 1. Composition of the experimental diets

	Groups <sup>1)</sup>					
	CC	TB	CT	BB	CL	LC
Calcium carbonate	12.6	-	-	-	-	3.7
<i>Bluefin</i> tuna bone powder	-	13.3	-	-	-	-
Citrated <i>bluefin</i> tuna bone powder	-	-	37.1	-	-	-
Bovine bone powder	-	-	-	13.1	-	-
Calcium lactate	-	-	-	-	37.0	-
Corn starch	397.4	397.4	397.4	397.4	397.4	397.4
Casein	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
Dextrinized corn starch	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0
Soybean oil	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Fiber	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Mineral mix <sup>2)</sup>	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Vitamin mix <sup>3)</sup>	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
L-Cystine	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Tert-butylhydroquinone	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
Sucrose to	1000	1000	1000	1000	1000	1000

<sup>1)</sup>CC (normal calcium: 0.5%  $\text{CaCO}_3$ ; control), TB (*bluefin* tuna bone powder), CT (citrated *bluefin* tuna bone powder), BB (bovine bone powder), CL (calcium lactate), LC (low calcium: 0.15%  $\text{CaCO}_3$ ).

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

<sup>3)</sup>Vitamin mix: AIN-93.

**혈액 및 요의 생화학적 분석 :** 혈액과 요의 칼슘함량은 자동분석기(Hitachi 7600-110)를 이용하여 분석하였다. 혈액 중의 alkaline phosphatase의 활성은 Kind King의 비색법을 토대로 하여 Daiichi 시약을 이용한 kit를 사용하여 측정하였다. Osteocalcin은 kit(Osteocalcin-IRMA, Biosource)를 사용하였고, parathyroid hormone(PTH)는 I<sup>125</sup>를 이용한 RIA kit로 측정하였다. Calcitonin은 IRMA(Immunoradiometric assay)법에 의거하여 <sup>125</sup>I-Calcitonin kit(CT-U.S.-IRMA)로 분석하였다. Deoxy pyridinoline(DPD)의 함량은 화학발광면역분석법에 의한 competitive binding assay를 이용하여 측정하였다.

**통계분석**

실험결과는 SAS를 이용하여 각 실험군의 평균±SD를 계산하였다. 실험군간의 차이는 One way ANOVA를 사용하여 비교하였으며, Duncan's multiple range test에 의해 각 실험군 간의 유의성을 검증하였다.

**결과 및 고찰**

**체중변화와 식이효율**

Table 2에는 실험군의 체중증가와 식이효율을 나타내었다. 실험 종료까지의 체중은 우골분을 섭취한 BB군에서 가

장 많이 증가하였으며, 구연산처리된 참다랑어골분(CT군), 저칼슘군(LC군)에서 체중증가가 낮았다. 식이 섭취량도 우골분군(BB)에서 가장 높았으며, CT군과 calcium lactate 섭취한 CL군에서 유의하게 낮은 섭취량을 보였다. 본 연구에서 식이 섭취량과 체중증가는 BB군에서 가장 높았으며, CT군과 calcium lactate를 급여한 CL군에서 유의하게 낮은 섭취량을 보인 것은 우골분은 다른 칼슘급원에 비해 비교적 섭취하기에 좋아 체중증가가 유발된 반면, 구연산처리된 참다랑어 골분이나 calcium lactate는 섭취하기에 덜 용이한 것으로 나타났으며 이는 구연산이나 유산에 의한 신맛 때문으로 사료된다.

**칼슘의 섭취량과 배설량의 균형**

저칼슘식이인 LC군은 변으로 배설되는 양이 다른 정상식이군에 비해 최소화되어 흡수율이 최고치를 나타냈으나 칼슘 보유량은 가장 낮았다(Table 3). 칼슘급원에 따른 변 칼슘 배설량과 이에 따른 칼슘흡수량은 차이가 없었다. 노 칼슘배설량은 TB군에서 유의적으로 낮았고 CL군에서 높은 값을 보였지만 체내 칼슘보유량은 칼슘급원에 따른 차이를 보이지 않았다.

**혈청과 소변의 골격대사 관련 지표**

Table 4에는 골격대사와 관련된 지표를 나타내었다. 뼈형

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

Group <sup>1)</sup>	Initial BW (g)	Final BW (g)	Weight gain (g/week)	Food intake (g/week)	FER <sup>2)</sup>
CC	119.03 ± 4.95 <sup>3)NS4)</sup>	345.18 ± 23.80 <sup>5)ab)</sup>	37.69 ± 3.74 <sup>ab)</sup>	158.10 ± 8.63 <sup>ab)</sup>	0.25 ± 0.03 <sup>NS)</sup>
TB	129.88 ± 35.54	338.88 ± 23.99 <sup>ab)</sup>	34.83 ± 6.08 <sup>b)</sup>	154.47 ± 8.08 <sup>ab)</sup>	0.23 ± 0.05
CT	117.48 ± 10.03	331.71 ± 25.92 <sup>b)</sup>	35.71 ± 3.66 <sup>b)</sup>	150.64 ± 9.99 <sup>b)</sup>	0.25 ± 0.02
BB	118.55 ± 7.25	357.94 ± 19.22 <sup>a)</sup>	39.90 ± 3.29 <sup>a)</sup>	161.88 ± 7.98 <sup>a)</sup>	0.26 ± 0.02
CL	118.61 ± 6.31	336.23 ± 14.50 <sup>ab)</sup>	36.27 ± 2.13 <sup>ab)</sup>	150.52 ± 5.92 <sup>b)</sup>	0.26 ± 0.01
LC	118.79 ± 5.83	331.15 ± 21.42 <sup>b)</sup>	35.39 ± 2.66 <sup>b)</sup>	158.71 ± 9.49 <sup>ab)</sup>	0.23 ± 0.01

<sup>1)</sup>CC (normal calcium: 0.5% CaCO<sub>3</sub>; control), TB (*bluefin* tuna bone powder), CT (citratd *bluefin* tuna bone powder), BB (bovine bone powder), CL (calcium lactate), LC (low calcium: 0.15% CaCO<sub>3</sub>).

<sup>2)</sup>Food efficiency rate.

<sup>3)</sup>Values are mean ± SD.

<sup>4)</sup>NS: not significant.

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

**Table 3. Calcium intake, Ca absorption and retention in the experimental groups**

Group <sup>1)</sup>	Ca intake (mg/day)	Fecal Ca excretion (mg/day)	Urinary Ca excretion (mg/day)	Ca absorption rate <sup>2)</sup> (%)	Ca retention (mg/day) <sup>3)</sup>
CC	102.96 ± 11.17 <sup>1)ns)</sup>	38.89 ± 14.87 <sup>a)</sup>	17.20 ± 8.75 <sup>ab)</sup>	61.20 ± 18.01 <sup>b)</sup>	46.87 ± 21.77 <sup>a)</sup>
TB	105.16 ± 8.15 <sup>a)</sup>	40.64 ± 20.77 <sup>a)</sup>	14.55 ± 5.00 <sup>b)</sup>	61.80 ± 17.68 <sup>b)</sup>	49.97 ± 18.04 <sup>a)</sup>
CT	90.11 ± 9.99 <sup>b)</sup>	37.43 ± 16.53 <sup>a)</sup>	16.11 ± 6.68 <sup>ab)</sup>	57.86 ± 19.70 <sup>b)</sup>	36.57 ± 21.20 <sup>a)</sup>
BB	98.68 ± 8.69 <sup>ab)</sup>	42.88 ± 15.04 <sup>a)</sup>	16.10 ± 2.26 <sup>ab)</sup>	56.46 ± 14.74 <sup>b)</sup>	39.70 ± 16.45 <sup>a)</sup>
CL	99.43 ± 9.95 <sup>ab)</sup>	26.45 ± 6.51 <sup>a)</sup>	21.71 ± 2.29 <sup>a)</sup>	73.51 ± 5.65 <sup>b)</sup>	51.26 ± 9.67 <sup>a)</sup>
LC	29.54 ± 4.46 <sup>c)</sup>	1.44 ± 0.92 <sup>b)</sup>	1.89 ± 2.14 <sup>c)</sup>	94.67 ± 4.43 <sup>a)</sup>	26.22 ± 6.85 <sup>b)</sup>

<sup>1)</sup>CC (normal calcium: 0.5% CaCO<sub>3</sub>; control), TB (*bluefin* tuna bone powder), CT (citratd *bluefin* tuna bone powder), BB (bovine bone powder), CL (calcium lactate), LC (low calcium: 0.15% CaCO<sub>3</sub>).

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

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

<sup>4)</sup>Values are mean ± SD.

<sup>5)</sup>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 in serum and urine in the experimental groups

Group <sup>1)</sup>	Serum				Urine
	ALP (IU/L)	Osteocalcin (ng/mL)	Calcitonin (pg/mL)	PTH (pg/mL)	Deoxypyridinoline (DPD) (nM/mM creatinine)
CC	246.63±94.85 <sup>2)bc3)</sup>	1.10±0.21 <sup>NS4)</sup>	2.63±0.82 <sup>b</sup>	206.68±46.87 <sup>NS</sup>	271.80±51.20 <sup>b</sup>
TB	302.75±71.58 <sup>ab</sup>	1.01±0.01	4.72±1.50 <sup>a</sup>	185.87±49.75	273.55±55.24 <sup>b</sup>
CT	308.63±84.30 <sup>ab</sup>	1.00±0.00	5.50±0.87 <sup>a</sup>	176.16±37.43	289.66±36.45 <sup>b</sup>
BB	319.75±39.25 <sup>ab</sup>	1.00±0.00	4.60±1.46 <sup>a</sup>	202.28±27.97	249.43±41.21 <sup>b</sup>
CL	298.38±46.67 <sup>ab</sup>	1.14±0.23	3.37±1.29 <sup>b</sup>	202.42±48.96	259.52±62.44 <sup>b</sup>
LC	360.38±92.00 <sup>a</sup>	1.14±0.23	2.60±0.73 <sup>b</sup>	187.27±71.70	376.21±145.12 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>CC (normal calcium: 0.5% CaCO<sub>3</sub>; control), TB (*bluefin* tuna bone powder), CT (citrated *bluefin* tuna bone powder), BB (bovine bone powder), CL (calcium lactate), LC (low calcium: 0.15% CaCO<sub>3</sub>).

<sup>2)</sup>Values are mean±SD.

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

<sup>4)</sup>NS: not significant.

성의 biomaker인 alkaline phosphatase(ALP)의 활성은 저칼슘식이군인 LC군에서 유의하게 높은 반면 정상칼슘 급여군에서는 낮게 나타났으며, 특히 탄산칼슘을 급여한 CC군에서 현저히 낮았다. ALP의 활성은 골생성이 왕성할 때 증가되는데 성인에 비해 소아에서 정상치가 높고, 골절 후 혈중 활성도가 증가된다고 보고되었으며(11), Aloia 등(12)의 연구에서도 골다공증환자에서 ALP 활성도가 높게 나타난 바 있다. Osteocalcin은 조골세포에서 생성되어 뼈의 세포와 기질에 축적되는데, 새로 합성된 것 중 약 30%가 혈중으로 방출되므로 골형성의 정도를 예측할 수 있는 생화학지표로 사용되고 있는데(13) 본 연구에서는 실험군간에 차이를 보이지 않았다.

혈액의 PTH와 calcitonin농도는 신체의 칼슘의 항상성을 유지시키는 중심적인 역할을 한다(14,15). PTH 농도는 TB군과 CT군 및 LC군에서 낮은 경향을 보였으나 실험군 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Calcitonin 농도는 LC군을 비롯한 CC군과 CL군에서 유의하게 낮았으며, 참다랑어 골분을 공급한 TB군이나 우골분군인 BB군에서는 높은 수치를 보였다. 이는 동일 식이 칼슘 수준에서 비교할 때 참다랑어 골분이나 우골분이 다른 급여과는 달리 뼈의 칼슘용출 억제 능력이 높다는 것을 시사하고 있다. 이제까지 여러 가지 칼슘 공급원에 대한 유효성과 영양효과가 다양하게 비교, 검토되어 왔는데, 골다공증 모델 흰쥐(16)와 비타민 D 결핍

흰쥐(17)에서 탄산칼슘에 비해 우골분이 뼈의 강도와 뼈 중 칼슘 함량에 있어서 우위성을 보고된 바 있으며, Lee 등(18)의 연구에서는 정상 흰쥐에서는 탄산칼슘, 인산칼슘, 우골분 등 칼슘 급여에 따른 체내칼슘이용성에 차이가 나지 않는다고 보고하여, 칼슘급여 및 칼슘의 형태에 따른 효용도에 대한 연구가 필요하다고 본다.

소변의 deoxypyridinoline(DPD)은 collagen과 link하여 뼈에 존재하는 물질로서 뼈의 용출이 일어날 경우 뼈에서 유리되어 요를 통해 배설되므로 뼈의 흡수지표로 사용되고 있다(19). 본 연구에서 저칼슘군인 LC군에서 유의하게 높았으며, 정상수준의 칼슘을 섭취한 각 군에서의 차이는 없는 것으로 조사되었다.

#### 대퇴골의 회분과 칼슘함량 및 골밀도

대퇴골의 건조 전의 습윤무게는 저칼슘군인 LC군에서 제일 낮았고, TB군과 CT군에서 높은 수치로 조사되었다(Table 5). 체중 100 g당의 무게로 환산한 수치 또한 TB군과 특히 CT군에서 유의하게 증가하였고, 다른 식이군의 무게는 낮은 수치를 보였다. 건조 후의 대퇴골의 무게는 LC군을 제외한 정상수준의 칼슘 투여군 간에 차이가 없으나 체중 100 g당 대퇴골의 무게는 CT군과 CL군에서 높게 나타났다.

대퇴골의 회분 함량은 정상수준의 칼슘식이군들에 비해 저칼슘식이인 LC군에서 유의하게 낮았다(Table 6). 체중 100 g 단위로 환산된 회분함량은 LC군에서 현저히 낮았고,

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

Group <sup>1)</sup>	Wet weight		Dry weight	
	g	g/100 g BW	g	g/100 g BW
CC	0.802±0.05 <sup>2)ab3)</sup>	0.233±0.01 <sup>bc</sup>	0.546±0.03 <sup>a</sup>	0.159±0.01 <sup>ab</sup>
TB	0.836±0.06 <sup>a</sup>	0.247±0.02 <sup>ab</sup>	0.532±0.03 <sup>a</sup>	0.157±0.01 <sup>ab</sup>
CT	0.863±0.06 <sup>a</sup>	0.261±0.02 <sup>a</sup>	0.537±0.02 <sup>a</sup>	0.163±0.01 <sup>a</sup>
BB	0.804±0.05 <sup>ab</sup>	0.225±0.01 <sup>c</sup>	0.539±0.02 <sup>a</sup>	0.151±0.01 <sup>b</sup>
CL	0.765±0.08 <sup>b</sup>	0.227±0.02 <sup>c</sup>	0.545±0.04 <sup>a</sup>	0.162±0.01 <sup>a</sup>
LC	0.641±0.04 <sup>c</sup>	0.193±0.02 <sup>d</sup>	0.437±0.03 <sup>b</sup>	0.131±0.01 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>CC (normal calcium: 0.5% CaCO<sub>3</sub>; control), TB (*bluefin* tuna bone powder), CT (citrated *bluefin* tuna bone powder), BB (bovine bone powder), CL (calcium lactate), LC (low calcium: 0.15% CaCO<sub>3</sub>).

<sup>2)</sup>Values are mean±SD.

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

**Table 6. Ash and calcium content of femur in the experimental groups**

Group <sup>1)</sup>	Ash (mg)	Ash/BW (mg/100 g)	Ca (mg)	Ca/BW (mg/100 g)
CC	330.20 ± 21.99 <sup>2)ab3)</sup>	95.76 ± 4.41 <sup>a</sup>	128.83 ± 9.27 <sup>ab</sup>	37.38 ± 2.28 <sup>a</sup>
TB	323.96 ± 26.88 <sup>a</sup>	95.82 ± 7.79 <sup>a</sup>	123.85 ± 16.97 <sup>ab</sup>	36.54 ± 4.04 <sup>a</sup>
CT	331.08 ± 14.23 <sup>a</sup>	100.17 ± 6.25 <sup>a</sup>	117.43 ± 16.93 <sup>b</sup>	35.58 ± 5.90 <sup>a</sup>
BB	340.40 ± 12.74 <sup>a</sup>	95.30 ± 5.42 <sup>a</sup>	134.32 ± 9.23 <sup>a</sup>	37.63 ± 3.40 <sup>a</sup>
CL	329.65 ± 21.82 <sup>a</sup>	98.06 ± 5.13 <sup>a</sup>	127.68 ± 13.29 <sup>ab</sup>	37.93 ± 3.08 <sup>a</sup>
LC	240.79 ± 7.78 <sup>b</sup>	72.45 ± 2.62 <sup>b</sup>	95.28 ± 4.99 <sup>c</sup>	28.69 ± 2.02 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>CC (normal calcium: 0.5% CaCO<sub>3</sub>; control), TB (*bluefin* tuna bone powder), CT (citrate *bluefin* tuna bone powder), BB (bovine bone powder), CL (calcium lactate), LC (low calcium: 0.15% CaCO<sub>3</sub>).

<sup>2)</sup>Values are mean ± SD.

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

정상칼슘 식이를 급여한 칼슘급원에 따른 유의한 차이는 없으나 CT군에서 다소 높은 수치를 나타냈다. 체중 100 g 단위 당 칼슘함량은 칼슘급원에 따른 차이는 없으나 저칼슘군에서 정상칼슘군보다 낮은 수치를 나타내었다.

대퇴골의 골밀도는 Table 7에 나타난 바와 같이 저칼슘식이인 LC군은 정상식이군에 비해 골밀도가 유의하게 낮았다. 동일한 정상수준의 칼슘이 공급된 실험군 사이에서는 TB군의 골밀도가 가장 높은 수치를 보였으며, CT군과 BB군, CL군은 비슷한 정도의 골밀도를 나타내고 있다. 본 연구에서 DPD와 뇨 칼슘배설의 경향은 골밀도와 관련이 있는 것으로 보인다. 골밀도의 측정 결과 DPD가 높았던 저칼슘식이인 LC군에서 골밀도가 유의하게 낮았고, 뇨 칼슘배설량이 낮았던 TB군의 골밀도는 유의하게 높았다. 반면 CL군은 뇨 칼슘배설량이 매우 높았으나 변을 통한 배설의 감소로 인하여 골밀도에 미치는 영향이 상쇄되었다 하겠다. Villareal 등(20)에 의하면 골밀도는 25-hydroxyvitamin D와 양의 상관성이 있고, PTH와 음의 상관성이 있다고 보고된 바 있으며, Moon 등(21)에 의하면 PTH와 ALP는 골밀도가 증가할수록 유의하게 감소함으로써 골격 및 칼슘대사를 조절하는 요인임을 지적하고 있다. 또한 Aloia 등(12)의 연구에서 ALP 활성도는 골질량과 음의 상관관계를 나타내었다고 보고된 바 있는데, 본 연구에서도 골밀도가 제일 낮은 LC군에서 ALP활성이 가장 높게 조사되었다.

**Table 7 . Bone mineral density of femur in the experimental groups**

Group <sup>1)</sup>	BMD (g/cm <sup>2</sup> )	BMD (g/cm <sup>2</sup> )/100 g BW
CC	0.172 ± 0.007 <sup>2)ab3)</sup>	0.050 ± 0.002 <sup>ab</sup>
TB	0.240 ± 0.191 <sup>a</sup>	0.070 ± 0.052 <sup>a</sup>
CT	0.173 ± 0.004 <sup>ab</sup>	0.052 ± 0.005 <sup>ab</sup>
BB	0.175 ± 0.005 <sup>ab</sup>	0.049 ± 0.004 <sup>ab</sup>
CL	0.177 ± 0.006 <sup>ab</sup>	0.053 ± 0.002 <sup>ab</sup>
LC	0.132 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.040 ± 0.003 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>CC (normal calcium: 0.5% CaCO<sub>3</sub>; control), TB (*bluefin* tuna bone powder), CT (citrate *bluefin* tuna bone powder), BB (bovine bone powder), CL (calcium lactate), LC (low calcium: 0.15% CaCO<sub>3</sub>).

<sup>2)</sup>Values are mean ± SD.

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

이상의 대퇴골의 중량이나 회분, 칼슘 및 골밀도의 결과로 보아 참다랑어 골분은 기존에 사용되어 오던 우골분 수준으로 뼈의 건강유지 면에서 긍정적인 가치를 부여할 수 있으며, 구연산 처리된 참다랑어 골분도 CaCO<sub>3</sub>, calcium lactate, 우골분과 유사한 수준의 효과를 갖는 칼슘 급원으로 평가된다. 따라서 지금까지 폐기되어 오던 참다랑어 골분을 새로운 식품첨가소재로 대체함으로써 보건상의 문제를 해소할 뿐 아니라 수산업 관련 분야에서 경제적 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다. 즉 골격의 형성과 유지를 위해 적정 수준의 칼슘 공급은 매우 중요하나 현재 한국인의 식생활패턴으로는 특히 성인기의 경우 적정 수준에 도달하기 어려운 것이 사실이다. 이에 보조식품이나 강화식품의 필요성이 한국 뿐 아니라 세계적으로 부각되어 있는 바, 그 소재로써 참다랑어 골분의 이용은 국민의 건강 측면이나 경제적 측면에서 가치가 있을 것이다.

**요 약**

우골대체 Ca 공급원으로서 참다랑어 골분과 이의 가공처리된 형태에 따른 Ca이용성을 흰쥐의 골격대사에 근거하여 비교하였다. 실험군은 ① 정상칼슘(0.5%)을 급여한 CC (CaCO<sub>3</sub>; 대조군) ② TB(*bluefin* tuna bone powder) ③ CT (citrate *bluefin* tuna bone powder) ④ BB(bovine bone powder) ⑤ CL(calcium lactate, 유산칼슘) ⑥ 저칼슘을 급여한 LC(0.15% CaCO<sub>3</sub>, 탄산칼슘)으로 구별하였다. 우골분을 섭취한 BB군의 체중 증가가 유의하게 높았으며, 구연산 처리된 참다랑어 골분(CT) 및 칼슘부족 식이를 급여한 LC군에서 체중증가가 낮았다. 식이 섭취량도 우골분(BB)군에서 가장 높았으며, 구연산처리된 참다랑어 골분(CT)군과 유산칼슘(CL)군에서 유의하게 낮은 섭취량을 보였다. 저칼슘식이인 LC군은 변으로 배설되는 양이 다른 정상식이군에 비해 최소화되어 흡수율이 최고치를 나타냈으나 칼슘 보유량은 가장 낮았다. 뇨 칼슘배설량은 정상칼슘군 중 참다랑어 골분(TB)군에서 유의하게 낮았고 유산칼슘(CL)군에서 높은 값을 보였지만 체내 칼슘보유량은 칼슘급원에 따른 차이를 보이지 않았다. 칼슘급원에 따른 변 칼슘 배설량과 칼슘흡수량은 차이가 없었다. 혈중의 calcitonin농도는 저칼슘군(LC)을

비롯한 탄산칼슘(CC)군과 유산칼슘(CL)군에서 유의하게 낮았으며, 참다랑어골분(TB)군, 구연산처리된 참다랑어골분(CT)군, 우골분(BB)군에서는 높은 수치를 보였고, PTH와 osteocalcin 농도는 실험군 간에 차이를 보이지 않았다. 뇨의 DPD 수치는 LC군(저칼슘식이군)에서 유의하게 높았고, 정상수준의 칼슘을 섭취한 각 군에서는 차이를 나타내지 않았다. 대퇴골의 흡수무게는 참다랑어골분(TB)군과 구연산처리된 참다랑어골분(CT)군에서 높은 수치를 나타내었고, 건조 후의 무게는 저칼슘군(LC)을 제외한 정상수준의 칼슘 투여군 간에 차이가 없었다. 대퇴골의 회분 함량은 정상수준의 칼슘식이군들에 비해 저칼슘식이인 LC군에서 유의하게 낮았다. 체중 100 g 당의 대퇴골의 칼슘함량은 저칼슘식이(LC)군에서 유의적으로 낮았고 칼슘급원에 따라 차이를 나타내지 않았다. 대퇴골의 골밀도 측정 결과 저칼슘식이인 LC군은 정상식이군에 비해 골밀도가 유의하게 낮았으며, 동일한 정상수준의 칼슘이 공급된 실험군 사이에서는 참다랑어골분(TB)군의 골밀도가 가장 높은 수치를 보였다. 본 연구결과 여러 가지 칼슘급원에 따른 흰쥐의 골격대사는 큰 차이를 나타내지 않았으며, 저칼슘군과의 차이가 두드러져 양적인 면에서의 칼슘공급의 중요성을 지적할 수 있겠다. 대퇴골의 중량이나 회분, 칼슘 및 대퇴골의 골밀도 결과로 보아 참다랑어골분은 탄산칼슘군이나, 기존에 칼슘 급원으로 사용해 오던 우골분수준으로 뼈의 건강유지 면에서 긍정적인 가치를 부여할 수 있는 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 해양수산부 수산특정 연구개발 사업의 지원에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

### 문헌

1. Ministry of Health and Welfare. 1999. '98 National Nutrition Survey Report.
2. Allen JH, Wood RJ. 1994. Calcium and phosphorus. In *Modern Nutrition in Health and Disease*. Shills ME, Olson JA, Shike M, eds. 8th ed. Lea & Febiger, Philadelphia. p 144-163.
3. Heaney RP. 1993. Nutritional factors in osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 13: 187-366.
4. Recker RR, Bammi A, Barger-Lux J, Heaney RP. 1988. Calcium absorbability from milk products, and imitation milk and calcium carbonate. *Am J Clin Nutr* 47:95.
5. Lee SH, Chang SO. 1994. Comparison of the bioavailability of calcium from anchovy, tofu and nonfat dry milk (NFDM) in growing male rats. *Korean J Nutrition* 27: 473-482.
6. Lee YS, Oh JH. 1995. Effects of bovine bone ash and calcium phosphate on calcium metabolism in postmenopausal osteoporosis model rats. *Korean J Nutrition* 28: 434-441.
7. Kim JS, Cho ML, Heu MS. 2000. Preparation of calcium powder from cooking skipjack tuna bone and its characteristics. *J Korean Fish Soc* 33: 158-173.
8. Tsutagawa Y, Hosogai Y, Kawai H. 1994. Comparison of mineral and phosphorus contents of muscle and bone in the wild and cultured horse mackerel. *J Food Hyg Soc Japan* 34: 315-318.
9. Kim JS, Yang SK, Heu MS. 1999. Component characteristics of cooking tuna bone as a food resource. *J Korean Fish Soc* 33: 38-42.
10. Lee CK, Choi JS, Jeon YJ, Byun HG, Kim SK. 1997. The properties of natural hydroxyapatite isolated from tuna bone. *Bull Korean Fish Soc* 30: 652-659.
11. Lim SK. 1994. Clinical significance and application of bone turnover marker. *Korean J Bone Metabolism* 1: 1-11.
12. Aloia JF, Cochrane SH, Vaswani A, Yeh JK, Yuen K, Ellis K. 1985. Risk factors for postmenopausal osteoporosis. *Am J Med* 78: 95-100.
13. Price PA, Pathermore JG, Doftos LJ. 1980. New biochemical marker for bone metabolism. *J Clin Invest* 66: 878-883.
14. Austin LA, Health H. 1981. Calcitonin: physiology and pathophysiology. *N Engl J Med* 29:304: 269-78.
15. Austin LA, Health H, Go VLW. 1979. Regulation of calcitonin secretion in normal man by changes of serum calcium within the physiologic range. *J Clin Invest* 64: 1721-1724.
16. Ezawa I. 1987. Studies on calcium metabolism. *Japan J Home Econ* 38: 695-703.
17. Okano T, Tsugawa N, Higashino R. 1991. Effects of bovine bone powder and calcium carbonate as a dietary calcium source on plasma and bone calcium metabolism in rats. *J Japan Soc Nutr Food Sci* 44: 479-485.
18. Lee YS, Park JH, Oh JH, Choi CW. 1992. A study on bioavailability of bovine ash as calcium source. *The Korean Journal of Rural Living Science* 3: 27-36.
19. Delmas PD, Hardy P, Garnerio P, Dain M. 2000. Monitoring individual response to hormone replacement therapy with bone marker. *Bone* 26: 553-560.
20. Villareal DY, Civitelli R, Chines A, Avioli LV. 1991. Sub-clinical vitamin D deficiency in postmenopausal women with low vertebral bone mass. *J Clin Endocrinol Metab* 72: 628-634.
21. Moon SJ, Kim JH, Lim SK. 1996. Investigation of risk of low serum 25-hydroxyvitamin D levels in Korean menopausal women. *Korean J Nutrition* 29: 981-990.

(2003년 8월 2일 접수; 2003년 12월 17일 채택)