

## 납 투여 흰쥐에서 혈액과 조직의 무기질 함량에 미치는 키토산의 섭취효과

박주란 · 이연숙<sup>†</sup>

서울대학교 식품영양학과, 생활과학연구소

### Effects of Dietary Chitosan on Blood and Tissue Levels of Lead, Iron, Zinc, and Calcium in Lead Administered Rats

Joo-Ran Park and Yeon-Sook Lee<sup>†</sup>

Dept. of Food and Nutrition, and Research Institute of Human Ecology,  
Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

#### Abstract

Chitosan, which is a biopolymer, composed of glucosamine units linked by  $\beta$ -1, 4 glycoside bonds, is rich in shells of crustacean such as crabs and shrimps. We examined effects of dietary chitosan on blood and tissue levels of lead, iron, zinc and calcium in lead administered rats. Male Sprague-Dawley rats were divided into 4 groups (n=32). Basal diet group was fed 3% cellulose diet and lead administered groups were fed 0%, 3% and 5% chitosan diets, respectively for 8 wks. To lead administered groups, lead (20 mg/day) was given three times per week by oral injection. Blood, liver, kidney and femur were collected for lead, iron, zinc, and calcium analyses. There was no significant difference in weight gain and food intake among groups. Blood and femur lead levels were lower in lead administered groups fed 3% and 5% chitosan diets than in lead administered control (0% chitosan diet) group ( $p < 0.05$ ). Blood and liver levels of iron and zinc in lead administered group fed 5% chitosan diet were significantly lower than those in basal diet group ( $p < 0.05$ ), but those in lead administered group fed 3% chitosan diet were not significantly different with those in basal diet group. These results show that chitosan diets have beneficial effects on lowering the accumulation of lead, but high chitosan diet may have negative effects on mineral levels.

**Key words:** chitosan, lead, iron, zinc, calcium

#### 서 론

급속한 공업화에 따라 중금속 화합물에 의한 환경오염이 심화되고 있다. 납의 오염원으로는 생활환경에 의한 페인트나 도료, 납 수도관, 가솔린, 세라믹 그릇, 화장품 등이 있으며 직업적으로는 제련소, 배터리 제조, 플라스틱 제조, 집수리, 납 제품 제조와 관련된 업종 종사자들의 중독 사례가 보고되고 있다(1). 납의 독성효과는 조혈 기능저하, 철 대사 저해, 신경계 작용저해, 신장 기능저해 등이 있다(2,3). 납은 헤모글로빈 생성시 헴 생성 초기 단계에서  $\delta$ -aminolevulinic acid dehydratase( $\delta$ -ALAD)를 저해하고 헴 생성 직전 단계인 ferrochelatase를 저해하는 것으로 보고되었다(4,5). 한편 납의 흡수에 영향을 주는 무기질로는 칼슘, 인, 철, 아연, 구리, 마그네슘 등이 있다(4-8). 칼슘은 납과 경쟁적인 흡수 관계에 있으며 또 칼슘이 부족할 경우 흡수 부위의 tight junction을 변화시켜 납 흡수를 증가시킨다고 보고하였으며(4) 칼슘은 납의 배설량을 증가시킨다고 보고하였다(9). 또한 철, 아연, 구리, 마그네슘등도 납과 경쟁적 흡수에 의해

납의 흡수를 저해한다고 하였으며(4), 철, 아연, 구리 등의 무기질의 섭취 부족 시 납의 흡수를 63%나 증가시킬 수 있다고 하였다(4,8,10-12).

납과 같은 유해 중금속을 제거하기 위해 여러 가지 식이인자와의 상호관계에 대한 연구가 이루어지고 있으나(13-17) 아직 더 많은 연구가 필요하다. Tahiri 등(18)은 식이 섬유소의 일종으로 사과 껍질에서 분리한 Rhamnogalacturonan II dimer(pectic polysaccharide)를 섭취한 납 투여 흰쥐에서 혈액의 납 농도 감소를 보고하였으며 분으로의 납 배설량이 증가하였다고 보고하였는데 이 섬유소는 4개의 oligoglycoside side chains을 가지고 있으며 납과 흡착하는 성질이 있음이 *in vitro* 실험에 의해 증명되었다.

최근 갑각류의 껍질에 많이 들어있는 것으로 알려진 키틴, 키토산이 중금속과 흡착하는 성질이 있어 토양이나 수질 개선을 위해 사용되고 있다. 키틴, 키토산은 셀룰로오스와 구조가 거의 동일하나 동물성이며 아미노기를 가지고 있고 물에 용해되지 않으며 산에 용해되어 겔을 형성한다(19). 키토산은 혈중 지방, 콜레스테롤 감소작용, 중금속 흡착작용, 항

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: lysook@snu.ac.kr  
Phone: 82-2-880-6832, Fax: 82-2-884-0305

생작용, 항암작용 등을 가지고 있으며(20), 현재로는 지방감소작용을 통한 기능성 식품으로 알려져 있다(21). 한편 키토산은 금속이온과 배위결합을 하여 착물을 형성하기 때문에 납, 카드뮴, 수은과 같은 유독한 금속이온을 제거할 수 있다(22). Ishii 등(23)은 키토산과 아미노산의 중합체가 중금속 제거 능력을 가지고 있다고 보고하였으며 Cervera 등(24)은 키토산이 폐수에서 중금속을 흡착하여 제거하는 능력이 우수하다고 보고하였다. 그러나 키토산이 체내에 유용한 무기질을 함께 제거할 가능성도 있기 때문에 키토산을 식이로 섭취했을 때 중금속과 무기질에 미치는 영향에 대한 *in vivo* 실험이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 납 투여에 따라 혈액과 조직에서의 납과 무기질의 변화를 조사하기 위하여 납을 경구투여(20 mg/day)하고 키토산을 식이에 첨가(3% 또는 5%)하여 8주간 사육하였을 때 혈액과 조직에서의 납 함량과 무기질 함량을 조사하였다.

### 재료 및 방법

#### 실험동물

평균 체중이 약 140 g인 Sprague-Dawley종 숫컷 흰쥐 32마리를 체중에 따라 완전 임의 배치하여 우선 납을 투여하지 않은 정상 대조군(N)과 납을 하루 20 mg씩 경구 투여한 납 투여군(Pb군)으로 나누고, 납 투여군을 다시 키토산 섭취(0, 3, 5%)에 따라 각각 세군(Pb, Pb-C3, Pb-C5)으로 나누어 총 8마리씩 네군으로 나누었다. 식이와 물은 자유 섭취방법(ad libitum)으로 급여하여 실험기간은 8주간 실시하였다. 실험동물은 서울대학교 실험동물사육장에서 구입하여 항온항습의 사육장에서 사육하였다(온도 22±2°C, 상대습도 65±5%, 명암: light; 6:00 am~6:00 pm). 또한 케이지는 세척 후, 0.4% ethylene diamine tetra acetic acid(EDTA)에 담근 후 증류수로 헹구어 사용하였다.

#### 실험식이와 납 투여

실험식이는 AIN-93을 기본으로 하였다(25)(Table 1). 납 투여군에는 아세트산 납(lead acetate, Sigma, USA) 20 mg을 증류수 2 mL에 녹여 하루에 한번, 1주일에 3회 경구 투여하였다. 또 납을 투여하지 않은 정상 대조군에도 증류수 2 mL을 동일한 방법으로 경구투여하였다. 납 투여 수준은 registry of toxic effects of chemical substances(RTECS)의 데이터를 참고로 하였다(26). 키토산(분자량 30만, 탈아세틸화도 95%, 점도 25 cps; 영덕 키토(주)에서 구입)은 AIN-93 기본식이의 섬유소원인 3%의 셀룰로오스( $\alpha$ -cellulose) 대신, 3%와 5%의 키토산을 실험 식이에 혼합하였다(27,28).

#### 시료채취

혈액은 시료채취 전 하룻밤 절식시킨 후, 케타라(염산케타민, 유한양행)로 복강 마취시켜 개복한 후 복대 동맥에서

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

	Control	3% chitosan	5% chitosan
Starch	549.486	549.486	529.486
Casein	200	200	200
Sucrose	100	100	100
Oil	70	70	70
Cellulose	30	-	-
Chitosan	-	30	50
Min. Mix <sup>2)</sup>	35	35	35
Vit. Mix. <sup>3)</sup>	10	10	10
Methionine	3	3	3
Choline	2.5	2.5	2.5
TBHQ	0.014	0.014	0.014
Total	1000	1000	1000

<sup>1)</sup>Experimental diets were prepared according to AIN-93G composition.

<sup>2)</sup>AIN-93G-MX.

<sup>3)</sup>AIN-93-VX.

혈액을 채취하였다. 혈액은 전혈을 분석하기 위해 heparin 처리된 시험관에 받아 냉동보관하였다.

간과 신장은 혈액 채취 후 떼어내어 무게를 측정된 뒤, 분석을 위해 냉동보관하였다.

대퇴골은 적출 후 부착되어 있는 근육, 지방 등을 제거하고 무게를 측정된 후, 분석 때까지 냉동 보관하였다. 실험에 사용한 모든 기구와 용기는 세척 후 50% 질산용액에 4시간 담근 후 3차 증류수로 헹구어 사용하였다.

#### 시료분석

혈액, 간, 신장, 대퇴골을 습식 회화(Micro Wave Digestion, Ethos touch control, Mileston, Italy)하여 납 함량은 시료 자동주입기가 부착된 탄소로 원자 흡수 분광 광도계(Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer, Perkin Elmer, HGA 800, USA)를 이용하여 측정하였고, 무기질 함량은 원자 흡광광도계(Atomic Absorption Spectrometer, GBC: Model 1904-B, Austria)를 이용하여 측정하였다. 분석조건과 기기 조건의 정확성을 검증하기 위해 한국표준과학연구원에서 만들어진 CRM(Certificate of Reference Material)을 구입하여 시료와 동일하게 분석한 결과 실제농도와의 오차범위는 5%이하였다. 대퇴골의 파단력은 Instron(Instron Universal Testing instrument, UK)을 이용하여 측정하였다.

#### 통계처리

실험의 결과는 SAS package를 이용하여 각 실험군마다 평균과 표준오차를 계산한 후 군 간의 차이를 p<0.05 수준에서 ANOVA test 후 Duncan's multiple range test에 의해 검증하였다.

### 결과 및 고찰

#### 체중 및 식이섭취량

납 투여와 키토산 섭취에 따른 체중 증가량은 정상 대조군(N군)보다 납 투여 대조군(Pb군)에서 감소하는 경향을 보였

Table 2. Weight gain and food intake in rats exposed Pb and fed chitosan for 8 weeks

Groups	Initial weight (g)	Final weight (g)	Weight gain (g/d)	Food intake (g/d)
N	139.4±7.40 <sup>1)NS2)</sup>	359.3±8.9 <sup>NS</sup>	4.0±0.1 <sup>NS</sup>	17.3±0.3 <sup>NS</sup>
Pb	139.3±7.2	353.2±10.2	3.8±0.1	17.1±0.3
Pb-C3	139.3±6.9	344.0±14.2	3.7±0.3	16.8±0.3
Pb-C5	139.4±6.8	346.6±7.4	3.7±0.2	16.5±0.2

<sup>1)</sup>Values are mean±SE of 8 rats per group.

<sup>2)</sup>NS: not significantly different among groups.

으나 유의적인 차이는 없었다(Table 2). 키토산 섭취에 따른 영향을 나타내지 않았다. 식이 섭취량 역시 정상 대조군(N군)보다 납 투여 대조군(Pb군)이 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. Hammond와 Succop(29)의 연구에서는 납 노출시 성장과 식이섭취량이 감소한 것으로 보고되었다.

#### 혈액의 납 및 무기질(철, 아연, 칼슘) 농도

혈액의 납 및 무기질(철, 아연, 칼슘) 농도는 Table 3에 제시하였다.

혈액의 납 농도는 납 투여에 따라 증가하여 55~65 µg/dL 정도를 나타내었다. 키토산의 섭취에 따라서는 납 투여 대조군(Pb군)에 비해 키토산을 섭취한 군이 감소하였는데 3% 키토산 식이군과 5% 키토산 식이군 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

혈액의 철 농도는 정상 대조군(N군)에 비해 납 투여 대조군(Pb군)에서 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 또 키토산의 섭취에 따라 감소하는 경향을 보여 특히 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 유의적인 감소를 나타냈다( $p<0.05$ ). Hong(2)은 음용수에 0.2 또는 0.8%의 납 노출시 혈액의 철농도가 대조군보다 23% 감소하였다고 보고하였다.

혈액의 아연 농도 역시 철과 비슷한 경향을 보여 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 정상 대조군(N군)에 비해 감소하였다( $p<0.05$ ). Florian 등(8)은 식이의 아

연을 증가시켰을 때 혈액의 납 농도가 감소하였다고 보고하였는데 이는 납과 아연이 서로 대사에 영향을 주는 것으로 생각된다. 또한 철과 아연은 Pb-C3군(납 20 mg/day 투여, 3% 키토산 식이군)에서는 정상 대조군(N군)과 유의적인 차이를 보이지 않은 것으로 보아 키토산의 수준에 따라 무기질에 미치는 영향이 다르게 평가되었다.

혈액의 칼슘 농도는 납 투여에 따른 영향으로 정상 대조군(N군)에 비해 납 투여 모든 군에서 감소하였으나( $p<0.05$ ) 키토산 섭취에 따른 차이는 없었다. Ong과 Lee(30)는 사람의 혈액에서 납과 칼슘이 적혈구와 결합하는 binding chemical groups을 관찰한 결과 납과 칼슘이 같은 binding site에 경쟁적으로 결합할 가능성이 있다고 보고하였다.

#### 간의 납과 무기질(철, 아연, 칼슘) 함량

간의 납 및 무기질(철, 아연, 칼슘) 농도는 Table 4에 제시하였다.

간의 납 함량은 납 투여에 의해 8~9 µg/g wet wt 범위로 증가하였으며 키토산의 섭취에 의한 영향은 없었다. Florian 등(8)은 식이에 200 ppm의 납을 투여하였을 때 간에서 납 함량이 1.2 µg/g wet wt 정도로 보고하였다. 본 실험과 비교하면 하루 납 20 mg의 경구 투여와 하루 17 g 정도의 식이 섭취량을 고려할 때 식이에 1200 ppm의 납 투여로 환산할 수 있는데 이는 Florian 등(8)의 연구보다 6배 높은 납 투여 농도이며 이때의 간의 납 함량은 7배정도 높게 나타났다.

Table 3. Pb and mineral (Fe, Zn, Ca) concentration of blood in rats exposed Pb and fed chitosan for 8 weeks

Groups	Pb (µg/100 mL)	Fe (mg/100 mL)	Zn (µg/100 mL)	Ca (mg/100 mL)
N	5.44±0.55 <sup>1)c2)</sup>	49.2±0.6 <sup>a</sup>	554.0±10.0 <sup>a</sup>	6.02±0.19 <sup>a</sup>
Pb	68.15±1.93 <sup>b</sup>	46.1±0.7 <sup>a</sup>	551.3±11.1 <sup>a</sup>	5.19±0.17 <sup>b</sup>
Pb-C3	57.96±2.67 <sup>b</sup>	45.3±1.1 <sup>a</sup>	538.1±5.0 <sup>a</sup>	4.92±0.20 <sup>b</sup>
Pb-C5	56.22±2.66 <sup>b</sup>	42.4±0.8 <sup>b</sup>	501.3±8.1 <sup>b</sup>	5.05±0.18 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Values are mean±SE of 8 rats per group.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts within the same column are significantly different at  $p<0.05$ .

Table 4. Pb and minerals (Fe, Zn, Ca) contents of liver in rats exposed Pb and fed chitosan for 8 weeks (µg/g wet wt)

Groups	Pb	Fe	Zn	Ca
N	0.12±0.02 <sup>1)bc2)</sup>	144.8±3.3 <sup>a</sup>	33.6±2.2 <sup>a</sup>	63.4±3.2 <sup>a</sup>
Pb	9.10±0.61 <sup>a</sup>	132.5±7.2 <sup>a</sup>	29.1±1.2 <sup>a</sup>	55.1±2.6 <sup>a</sup>
Pb-C3	8.30±0.44 <sup>a</sup>	129.9±3.4 <sup>ab</sup>	28.0±1.2 <sup>a</sup>	53.9±1.3 <sup>ab</sup>
Pb-C5	8.08±0.59 <sup>a</sup>	125.9±5.5 <sup>b</sup>	24.3±0.8 <sup>b</sup>	48.9±1.3 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Values are mean±SE of 8 rats per group.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts within the same column are significantly different at  $p<0.05$ .

Table 5. Pb and minerals (Fe, Zn, Ca) contents of kidney in rats exposed Pb and fed chitosan for 8 weeks

Groups	Pb	Fe	Zn	Ca
N	0.23±0.06 <sup>1b2)</sup>	61.7±3.5 <sup>NS3)</sup>	22.7±1.6 <sup>a</sup>	91.4±2.5 <sup>NS</sup>
Pb	31.34±3.13 <sup>a</sup>	56.1±5.8	21.6±0.4 <sup>a</sup>	89.1±3.0
Pb-C3	27.21±2.74 <sup>a</sup>	60.8±4.2	18.5±1.1 <sup>a</sup>	95.2±3.2
Pb-C5	26.00±2.98 <sup>a</sup>	62.4±2.9	13.5±2.1 <sup>b</sup>	93.0±3.5

<sup>1)</sup>Values are mean±SE of 8 rats per group.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts within the same column are significantly different at p<0.05.

<sup>3)</sup>NS: not significantly different among groups.

간의 철 함량은 정상 대조군(N군)에 비해 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 감소하였으나(p<0.05), 3% 키토산 식이군에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. Six와 Goyer(31)는 납중독 흰쥐에서 철 결핍시 간, 신장의 납 함량이 증가하였다고 보고하였으며 납중독과 철 결핍과 연관이 있다고 보고하였다.

간의 아연 함량은 납 투여에 의해 다소 감소하는 경향을 보였으며 정상 대조군(N군)에 비해 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 감소하였으나(p<0.05), 3% 키토산 식이군에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 간의 아연 함량은 혈액의 아연 농도와 유사한 경향을 보였는데 고 수준의 키토산을 장기간 섭취할 경우 혈액과 간의 아연 함량을 감소시킬 수 있음을 보여주었다.

간의 칼슘 함량은 정상 대조군(N군)에 비해 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 감소하였고(p<0.05), 키토산 섭취 수준에 따라서 점차 감소하여 5% 키토산 식이 군이 키토산을 섭취하지 않은 군에 비해서 감소하였다(p<0.05).

신장의 납과 무기질(철, 아연, 칼슘) 함량

신장의 납 및 무기질(철, 아연, 칼슘) 농도는 Table 5에 제시하였다.

신장의 납 함량은 납 투여에 의해 증가하여 26~31 µg/g wet wt 범위를 보였다. 이는 간보다 3배정도 높은 수준이다. Florian 등(8)에서도 간의 납 함량보다 신장의 납 함량이 6배 정도 높게 나타났다. 이는 납 함량이 간조직보다 신장조직에 더 많이 축적됨을 알 수 있으며 본 실험에서도 같은 경향을 보였다. 키토산의 섭취에 따른 영향은 없었다. Kim과 Lee(13)의 연구에서는 10%의 섬유소(pectin, guar gum)를 섭취시켰을 때 간과 신장에서 납 함량의 감소를 보고하였다.

신장의 철과 칼슘 함량은 모든 군에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. Kwon 등(32)도 산양에서 장기조직의 칼슘 함량에 변화가 없다고 보고하였다.

신장의 아연 함량은 납 투여에 의해 감소하는 경향을 보였으며 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)이 정상 대조군(N군)에 비해 감소하였으나(p<0.05), 3% 키토산 식이군에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 혈액과 간에서의 결과와 일치하였다.

대퇴골의 납과 칼슘 함량

대퇴골의 납 및 칼슘 함량은 Table 6에 제시하였다.

대퇴골에서 납 함량은 납 투여에 의해 20~30 µg/g wet wt 정도로 증가하였으며 키토산 섭취에 따라서는 키토산을 섭취한 군이 섭취하지 않은 군에 비해서 감소하였으나 3% 키토산 식이군과 5% 키토산 식이군 사이에 유의적인 차이는 없었다. 칼슘 농도는 정상 대조군(N군)에 비해 모든 납 투여군에서 감소하였으나(p<0.05) 키토산 섭취 수준에 의한 영향은 없었다. 대퇴골의 납과 칼슘의 함량은 납 투여군에서 납함량은 증가하고 동시에 칼슘함량은 감소한 것으로 보아 대퇴골의 칼슘대사에 납이 경쟁적 저해를 하는 것으로 생각된다. Ong과 Lee(30)는 납과 칼슘이 같은 binding site에 경쟁적으로 결합할 가능성이 있다고 보고하였다.

대퇴골의 파단력(breaking force)

대퇴골의 파단력은 정상 대조군(N군)에 비해 모든 납 투여 군에서 감소하였으나 키토산 섭취에 따른 영향은 없었다(Table 7). Kato 등(33)은 칼슘의 흡수율이 증가할수록 파단력이 증가한다고 보고하였다. 이것은 납 투여군에서 파단력

Table 6. Pb and Ca contents of femur in rats exposed Pb and fed chitosan for 8 weeks

Groups	Pb (µg/g wet wt)	Ca (mg/g wet wt)
N	0.2±0.0 <sup>1c2)</sup>	163.9±10.8 <sup>a</sup>
Pb	28.5±1.7 <sup>a</sup>	142.1±3.2 <sup>b</sup>
Pb-C3	19.9±2.3 <sup>b</sup>	139.9±4.3 <sup>b</sup>
Pb-C5	21.6±1.3 <sup>b</sup>	139.5±3.8 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Values are mean±SE of 8 rats per group.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts within the same column are significantly different at p<0.05.

Table 7. Breaking force of femur in rats exposed Pb and fed chitosan for 8 weeks

Groups	Breaking force (kg/g)
N	9.70±0.84 <sup>1b2)</sup>
Pb	8.77±0.46 <sup>b</sup>
Pb-C3	8.57±0.37 <sup>b</sup>
Pb-C5	8.82±0.29 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Values are mean±SE of 8 rats per group.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts within the same column are significantly different at p<0.05.

이 감소한 것은 칼슘 함량의 감소와 연관이 있는 것으로 생각된다. 즉 납이 대퇴골의 칼슘 유입을 방해하여 칼슘의 양이 감소하여 파단력을 감소시킨 것으로 보인다.

## 요 약

본 연구에서는 납을 경구투여(20 mg/day)하고 3% 또는 5% 키토산 식이를 8주간 섭취하였을 때 혈액과 조직(간, 신장, 대퇴골)에서의 납 함량과 무기질(철, 아연, 칼슘) 함량을 조사하였다. 첫째 실험동물의 체중증가량, 식이섭취량과 식이효율은 모든 실험군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 둘째 혈액의 납 농도는 키토산을 섭취한 군이 섭취하지 않은 군에 비해서 감소하였다( $p < 0.05$ ). 혈액의 철과 아연은 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 정상 대조군(N군)에 비해 감소하였으나 3% 키토산 식이군에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다( $p < 0.05$ ). 혈액의 칼슘농도는 납을 투여한 군이 납을 투여하지 않은 군에 비해서 감소하였다( $p < 0.05$ ). 셋째 간의 납 농도는 키토산 섭취 수준에 따른 영향이 없었다. 간의 아연과 칼슘 농도는 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 정상 대조군(N군)에 비해 감소하였으나 3% 키토산 식이군에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다( $p < 0.05$ ). 넷째 신장의 아연 농도는 Pb-C5군(납 20 mg/day 투여, 5% 키토산 식이군)에서 가장 낮았으나 철과 칼슘은 군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 다섯째 대퇴골의 납 함량은 키토산을 섭취한 군이 섭취하지 않은 군에 비해서 감소하였으며 대퇴골의 파단력은 정상 대조군(N군)에 비해서 납 투여군에서 감소하였다. 대퇴골의 칼슘은 납 투여에 의해서 감소하였으나 키토산 섭취 수준에 따라서는 영향을 받지 않았다. 결론적으로 본 연구에서는 납 투여에 의해서 증가된 혈액과 조직(간, 신장, 대퇴골)의 납 함량이 키토산 섭취에 따라서 감소하는 경향을 보였으며 특히 혈액은 유의적인 감소효과를 나타내어 키토산이 중금속의 흡수를 방해함을 알 수 있었다. 또한 납 투여에 따라 무기질의 수준도 다소 감소하는 경향을 보였는데 키토산에 의해서도 역시 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 5% 키토산 식이군에서는 정상 대조군(N군)보다 유의적인 감소를 나타냈으나 3% 키토산 식이군에서는 유의적인 차이를 보이지 않은 것으로 볼 때 키토산의 수준에 따라 무기질에 미치는 영향이 다르게 평가되었다. 그러므로 키토산의 섭취 시 적절한 키토산의 수준과 무기질의 영양상태를 충분히 고려해야 할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 논문은 한국과학재단 특정기초연구(R01-2002-000-00321-0)에 의해서 이루어진 연구 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 문 헌

- Gordon JM, Taylor A, Bennett PN. 2001. Lead poisoning: case studies. *Br J Clin Pharmacol* 53: 451-458.
- Hong CM. 2001. Effect of repeated exposure to Pb acetate on hematopoietic function, testis and kidney in male rats. *J Toxicol Pub Health* 17: 309-316.
- Sanchez-Fructuoso AI, Blanco J, Cano M, Ortega L, Arroyo M, Fernandez C, Prats D, Barrientos A. 2002. Experimental lead nephropathy: treatment with calcium disodium ethylenediaminetetraacetate. *Am J Kidney Dis* 40: 59-67.
- Richard L, William Y. 1986. Lead toxicity: history and environmental impact. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA. p 51-95.
- Godwin HA. 2001. The biological chemistry of lead. *Chemical Biology* 5: 223-227.
- Batra N, Nehru B, Bansal MP. 1998. The effect of zinc supplementation on the effects of lead on the rat testis. *Reproductive Toxicology* 12: 535-540.
- Tandon SK, Khandelwal VK, Mathur JN. 1994. Influence of dietary iron deficiency on nickel, lead and cadmium intoxication. *Sci Total Environ* 148: 167-173.
- Florian L, Cerklewski, Forbes RM. 1976. Influence of dietary zinc on lead toxicity in the rat. *J Nutr* 106: 689-696.
- Meredith PA, Moore MR, Goldberg A. 1977. The effect of calcium on lead absorption in rats. *Biochem J* 166: 531-537
- Mahaffey KR, Goyer R, Haseman JK. 1973. Dose-response to lead ingestion in rats fed low dietary calcium. *J Lab Clin Med* 82: 92-99
- Tandon SK, Khandelwal S, Jain VK, Matur N. 1994. Influence of dietary iron deficiency on nickel, lead and cadmium intoxication. *Sci Total Environ* 148: 167-173.
- Kauder DS, Petering HG. 1975. Protective value of dietary copper and iron against some toxic effects of lead in rats. *Environ Health Perspect* 12: 77-80.
- Kim MK, Lee HY. 1990. Effect of high fiber diet on lead absorption and metabolic changes in growing rats. *Kor J Nutr* 23: 492-503.
- Kim MK, Lee HY. 1989. Detoxification study with different dietary protein levels and detoxifying periods in lead poisoned rats. *Kor Nutr J* 22: 185-193.
- Pires JB, Miekeley N, Donangelo CM. 2002. Calcium supplementation during lactation blunt erythrocyte lead level and  $\delta$ -aminolevelonic acid dehydratase zinc reactivation in women non-exposed to lead and with marginal calcium intakes. *Toxicology* 175: 247-255.
- Spickett JT, Bell RR. 1983. The influence of dietary phosphate on the toxicity of orally ingested lead in rats. *Food Chem Toxicol* 21: 157-161.
- Hsu PC, Guo YL. 2002. Antioxidant nutrients and lead toxicity. *Toxicology* 180: 33-44.
- Tahiri M, Pellerin P, Tressol JC, Doco T, Pepin D, Rayssiguier Y, Coudray C. 2000. The rhamnogalacturonan-II dimer decreases intestinal absorption and tissue accumulation of lead in rats. *J Nutr* 130: 249-253.
- Koid SS. 1998. Chitin-chitosan: properties, benefits and risks. *Nutr Res* 18: 1091-1101.
- Rho SN, Hong JY. 1998. Antitumor effect and the change of chemosensitivity of chitosan in human lung cancer cell line. *Kor J Nutr* 31: 739-746.
- Maizaki Y, Tsuji K. 1993. Hypocholesterolemic effect of chitosan in adult males. *Biosci Biotech Biochem* 57: 1439-1444.
- Lasko CL, Pesic BH, Oliver DJ. 1993. Enhancement of the

- metal binding properties of chitosan through synthetic addition of sulfur and nitrogen containing compounds. *J Appl Pol Sci* 48: 1565-1570.
23. Ishii H, Minegishi M, Lavitpichayawong B, Mitani T. 1995. Synthesis of chitosan amino acid conjugates and their use in heavy metal uptake. *Int J Biol Macromol* 17: 21-23.
  24. Cervera ML, Arnal MC, Guardia M. 2003. Removal of heavy metals by using adsorption on alumina or chitosan. *Analytical and Biological Chemistry* 375: 820-825.
  25. Reeves PG, Nielsen FE, Fahey GC. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr* 123: 1939-1951.
  26. Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS). 1993-2002. Lead compiled by the National Institute for Occupational Safety and Health of the U.S. Department of Health and Human Services.
  27. Kim MK, Seol EY. 1994. Effect of dietary chitin and chitosan on cadmium toxicity and lipid metabolism in rats. *Kor J Nutr* 27: 996-1006.
  28. Jang BS, Lim JH, Yun HI. 2003. A 4-week oral toxicity study of water-soluble chitosan in Sprague-Dawley rats. *Korean J Vet Res* 43: 195-202.
  29. Hammond PB, Succop PA. 1995. Effect of supplemental nutrition on lead-induced depression of growth and food consumption in weanling rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 131: 80-84.
  30. Ong CN, Lee WR. 1980. Interaction of calcium and lead in human erythrocytes. *Br J Ind Med* 37: 70-77.
  31. Six KM, Goyer A. 1972. The influence of iron deficiency on tissue content and toxicity of ingested lead in the rat. *J Lab Clin Med* 79: 128-136.
  32. Kwon OD, Lee HB, Lee JM, Chae JS. 1992. Clinico-pathological studies on the experimental lead poisoning in goats. *Kor J Vet Res* 32: 127-134.
  33. Kato K, Takada Y, Matsuyama H, Kawasaki Y, Aoe S, Yano H, Toba Y. 2002. Milk calcium taken with cheese increases bone mineral density and bone strength in growing rats. *Biosci Biotechnol Biochem* 66: 2342-2346.

(2004년 12월 4일 접수; 2005년 2월 24일 채택)