

식이 단백질 수준이 납중독된 흰쥐의 혈청 및 조직의 무기질 함량에 미치는 영향

I. 납, 철, 구리 함량에 미치는 영향

이정숙 · 조수열* · 김 석 환**

고신대학 식품영양학과.

*영남대학교 식품영양학과.

**동아대학교 식품영양학과

Effect of Dietary Level on Pb, Fe, and Cu Level of the Tissue of the Pb-administered Rats.

Jeong-Sook Lee, Soo-Yeul Cho* and Suk-Wghan Kim**

Dept. of Food and Nutrition, Kosin College, Busan, 606-080, Korea

** Dept. of Food and Nutrition, Yeoungnam University, Kyungsan, 713-800, Korea*

***Dept. of Food and Nutrition, Donga university, Busan, 604-714, Korea*

Abstract

This study was designed to investigate the effects of dietary protein level on Pb, Fe, and Cu accumulation of the tissue of the Pb-administered rats. The dietary protein levels were 6%, 15%, and 40% and the lead-exposed rats were given 2,000 ppm-Pb drinking water solution. After 3 weeks, half of the each group rats were sacrificed and the rest were sacrificed 4 weeks later.

Hematocrit, hemoglobin, RBC content in blood were lower in Pb-administered groups than in Pb-free group. Protein levels of serum and liver in 6% casein Pb-administered group were lower than in control group. Pb contents of serum, liver, and kidney were significantly increased in 6% casein-Pb administered group. Fe contents of serum and kidney were increased in 40% casein Pb-administered group, whereas in liver, 6% casein Pb-administered group was higher than others.

서 론

물질 문명이 발달되고 사회가 공업화 됨에 따라, 중금속 화합물에 의한 환경 오염이 심화되고 있고, 환경 오염은 식품 오염을 거쳐 궁극적으로 국민 보건을 위협하게 되므로, 중금속 화합물의 피해는 심

각한 사회 문제로 대두되고 있는 가운데,¹⁾ 우리나라에서도 곡류, 야채류, 과일 등의 작물에서 중금속이 검출되었다는 보고도 있고, 그 검출량은 해를 거듭할 수록 증가하고 있는 실정이다.^{2, 3)}

환경 오염성 중금속 가운데서, 납은 자연계에 널리 분포해 있고, 인체는 소화기관과 호흡기관을 통해서

주로 흡수하게 되는 데,^{4,5)} 인체가 다량의 납에 노출되거나, 식품이나 환경 조건에 의해 미량이라도 만성적으로 접하게 되면, 축적이 일어나, 체중감소, 빈혈, 장기의 생화학적, 형태학적 변화, 뇌의 손상 등의 중독 증상을 일으키게 된다.^{4,6)}

납의 흡수와 보유는 나이, 영양상태 및 식이 조건의 영향을 받으므로,⁸⁻¹⁰⁾ 각 영양소가 납의 축적에 미치는 영향에 관한 연구 보고는 많으나, 납의 흡수, 축적, 배설에 영향을 미칠 수 있는 Fe, Cu, Zn, Mn, Mg, Ca, P, Na, K 등의 무기질들의 대사관계에 관한 연구는 부진한 실정이다. 이에 본연구는 납중독된 흰쥐의 무기질 축적과 식이 단백질 수준과의 관계를 살펴보고자 계획되었다.

실험 재료 및 방법

실험 동물 및 계획

실험 동물은 Sprague-Dawley계 젓넨 숫쥐 56마리를 표준식으로 2주간 적응 시킨 후 체중에 따라 난괴법에 의하여 대조군(Control group) 고단백-납급여군(HP-Pb), 중단백-납급여군(MP-Pb), 저단백-납급여군(LP-Pb)으로 나누었다. 실험 식이로 3주간 사육한 뒤, 다시 각군을 7마리씩 두군으로 나누어 7마리는 희생시키고, 나머지 7마리는 4주를 더 사육한 후 희생시켰다.(Table 1)

실험 식이의 조성은 Table 2와 같다.

Table 1. Feeding design of experimental rats

Experimental group*	Dietary protein level (%)	Pb administration**	No. of rats
Control	15	-	14
HP-Pb	40	+	14
MP-Pb	15	+	14
LP-Pb	6	+	14

*Control : Medium protein diet group

HP-Pb : Pb-administered high protein diet group

MP-Pb : Pb-administered medium protein diet group

LP-Pb : Pb-administered low protein diet group

**2000ppm-Pb as Lead acetate in the drinking water

Table 2. Composition of experimental diets

(per Kg diet)

Exp. group Ingredients	Control	HP-Pb	MP-Pb	LP-Pb
Corn starch (g)	655	405	655	745
Casein (g)	150	400	150	60
Corn oil (g)	100	100	100	100
Cellulose (g)	50	50	50	50
AIN-mineral mixture ¹¹	35	35	35	35
AIN-vitamin mixture ¹¹	10	10	10	10

납은 lead acetate를 물에 녹여 2,000ppm-Pb로 만든 것을 급여하였는데, lead acetate를 용액으로 유지시키기 위해 5% acetic acid를 물 1당 3ml씩 넣어 주었다. 이 때 대조군에도 조건을 일치시키기 위하여 물 1당 5% acetic acid 3ml씩 넣어주었다.

실험 동물은 한마리씩 분리 사육하였고, 물과 식이는 제한없이 먹도록 하였다. 자육시 이용된 모든 기구들은 0.5% EDTA 용액으로 세척하여 무기질의 오염을 방지하였으며, 실험기간 동안 물은 모두 탈이온 이차증류수를 사용하였다.

시료의 채취

실험 동물은 12시간 절식 시킨 뒤 ether 마취하에 단두로 희생시켜 채혈하고, 즉시 간, 신장, 비장, 뇌를 채취하였다. 채취한 혈액은 hematocrit, hemoglobin, RBC 측정을 위해 1.5ml 정도는 heparin 처리한 시험관에 따로 분리하였으며, 나머지는 혈청을 분리하여 분석에 사용하였다. 뇨와 변은 대사장을 사용하여 실험 제21일 및 제49일에 채취하였다.

시료의 분석

혈액중의 hematocrit, hemoglobin, RBC는 Coulter Counter(Model S-Plus 2)를 사용하여 측정하였다.

혈청, 간의 단백질 함량은 Lowry법¹²⁾을 이용하여, 분광광도계로 혈청인 경우는 파장 540nm에서, 간과 신장의 경우는 파장 750nm에서 흡광도를 측정하여 비색정량하였다.

각 조직의 무기질 함량은, 조직을 습식회화하여 산용액으로 만든 후, Atomic Absorption Spectrophotometer(Shimadzu AA-646)를 사용하여 측정하였다.

통계 처리

모든 실험 결과는 통계 처리하여 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하였고, $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan's multiple test로 각 실험군의 평균치 간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

체중증가량, 식이섭취량, 식이 효율

실험 동물의 체중증가량, 식이섭취량, 식이 효율은 Table 3과 같다. 체중증가량, 식이섭취량, 식이효율 모두 대조군보다 납급여군에서 현저한 감소를 나타내었으며, 식이 단백질 수준이 낮을수록 감소하는 현상을 보였다.

이는 납이 식욕 감퇴와 성장 저해를 초래하고, 단백질이 부족할 때는 감수성이 더욱 크다는 보고들과^{8-10), 13-17)} 일치한다. Wapnir¹³⁾ 등은 납이 장내 흡수율을 감소시키고, 신기능 부전을 초래하여 재흡수에 장애를 일으켜 뇨중으로 아미노산과 포도당의 배설이 증가됨으로써, 체중증가량이 감소된다고 설명한 바 있는 데, 식이 단백질은 납의 흡수를 감소시키고 배설을 촉진시킴으로써 납의 체내 저류를 낮추는 작용을 하므로,^{14, 17)} 단백질 섭취량이 많을수록 납으로 인한 장애가 완화된다.

식이 효율의 감소는 식이 섭취량의 감소에 비해 체중이 더 큰 비율로 감소함을 의미하는데, 이는 납으로 인한 장애 이외에도 식이 단백질 함량이 낮아짐에 따라 영양소의 대사와 흡수가 장애를 받고 있음¹⁵⁾을 시사하는 것으로 생각된다.

Table 3. Net weight gain, feed intake and feed efficiency ratio of rats

Period(wk)	Net weigh gain (g)		Feed intake(g/day)		F E R	
	3	7	3	7	3	7
Control	¹⁾ 91.8±10.9 ²⁾	187.6±12.0 ^a	16.4±0.4 ^a	16.7±0.2 ^a	0.267±0.032 ^a	0.229±0.014 ^a
HP-Pb	62.8±11.2 ^b	152.8±12.7 ^b	14.2±0.7 ^b	15.0±0.3 ^b	0.211±0.038 ^b	0.208±0.023 ^{ab}
MP-Pb	60.8±8.6 ^b	121.5±14.1 ^b	13.9±0.5 ^b	14.1±0.4 ^b	0.208±0.029 ^b	0.176±0.020 ^b
LP-Pb	2.1±0.7 ^c	18.1±5.2 ^c	13.3±0.4 ^b	12.1±0.4 ^c	0.008±0.002 ^c	0.030±0.015 ^c

1) Mean±SE

2) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.

장기의 무게

체중 100g 당 각종 장기의 무게는 Table 4와 같다.

간의 무게는 3주 사육한 군에서는 대조군이 납 급여군보다 낮은 경향을 보였고, 7주 사육한 군에서도 대조군이 납급여군보다 낮게 나타났으며, 식이 단백질 함량이 낮을 수록 높은 경향을 보였다.

신장의 무게는, 3주 사육한 군에서는 LP-Pb군만 대조군과 비슷한 양상을 보였고, HP-Pb군과 MP-Pb군은 대조군에 비해 유의한 증가를 나타내었다. 7주 사육한 군에서는 납급여군 모두가 대조군 보다 유의한 증가를 보였다.

비장의 무게도, 3주에는 LP-Pb군은 대조군과 비슷하였으나, HP-Pb군, MP-Pb군은 대조군에 비해 유의한 증가를 나타내었다.

뇌의 무게는 HP-Pb군, MP-Pb군에서는 대조군과 별 차이는 나타나지 않았으나, LP-Pb군은 대조군에 비해 유의한 증가를 나타내었다.

이상의 결과에서 각종 장기의 무게 변화는 권등¹⁸⁾의 cellulose, 인삼 및 α -tocopherol의 흰쥐에 대한 납중독 방어 효과에 관한 연구에서 간의 무게가 증가했다는 보고, 20% casein식이와 500ppm의 납을 19일간 흰쥐에게 급여했을 때 신장의 무게가 증가했다는 Tadash등¹⁹⁾의 보고, 또 생후 21일간 체중 kg당 90mg의 납을 급여했을 때 부신과 신장의 무게가 증가했다는 Stephen²⁰⁾의 보고와 비슷하였는데, 이로 미루어 납이 장기의 비대에 영향을 주는 것으로 생각되며, 간의 경우는 식이 단백질 수준이 낮을 수록 그 영향을 크게 받는 것으로 사료된다.

Table 4. Organ weight of rats

(g/100g B. W)

period(wk)		Liver	Kidney	Spleen	Brain
3	Control	¹⁾ 4.09± 0.22 ²⁾	0.41± 0.02 ^c	0.29± 0.02 ^b	0.91± 0.05 ^a
	HP-Pb	5.15± 0.28 ^b	0.92± 0.08 ^b	0.49± 0.05 ^a	1.20± 0.08 ^a
	MP-Pb	4.73± 0.22 ^{ab}	0.64± 0.05 ^a	0.50± 0.04 ^a	1.23± 0.07 ^a
	LP-Pb	4.99± 0.09 ^{ab}	0.57± 0.02 ^c	0.33± 0.02 ^b	1.41± 0.11 ^b
7	Control	3.92± 0.20 ^a	0.34± 0.01 ^a	0.16± 0.06 ^b	0.66± 0.02 ^a
	HP-Pb	4.08± 0.06 ^a	0.53± 0.02 ^b	0.35± 0.04 ^a	0.78± 0.03 ^a
	MP-Pb	4.22± 0.11 ^a	0.53± 0.03 ^b	0.46± 0.06 ^a	0.85± 0.03 ^a
	LP-Pb	5.51± 0.57 ^b	0.56± 0.04 ^b	0.46± 0.04 ^a	1.16± 0.03 ^b

1) Mean± SE

2) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.

Table 5. Hematocrit, hemoglobin and RBC contents in blood

Period(wk)	Hematocrit (%)		Hemoglobin (g/100ml)		RBC ($\times 10^6$)	
	3	7	3	7	3	7
Control	¹⁾ 26.82± 1.11 ^{N, S2)}	35.40± 1.77 ^{b,3)}	10.38± 0.30 ^{N, S}	13.14± 0.50 ^b	5.64± 0.17 ^a	7.10± 0.27 ^b
HP-Pb	25.90± 1.47	26.08± 1.43 ^a	10.00± 0.39	10.52± 0.54 ^a	5.26± 0.26 ^a	5.49± 0.35 ^a
MP-Pb	26.28± 1.67	24.78± 0.95 ^a	10.14± 0.45	9.84± 0.26 ^a	5.06± 0.32 ^{ab}	5.08± 0.19 ^a
LP-Pb	28.00± 0.96	21.70± 1.35 ^a	10.90± 0.23	9.58± 0.41 ^a	4.95± 0.18 ^b	4.54± 0.29 ^a

1) Mean± SE

2) N. S. : Not significant at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.3) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.

Hematocrit, Hemoglobin, RBC

Hematocrit치, hemoglobin 함량, RBC수는 Table 5와 같다.

Hematocrit치와 hemoglobin함량은 3주 사육한 군에서는 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 7주 사육한 군에서는 납급여군이 대조군에 비해 유의적으로 감소되었으며, 식이 단백질 함량이 적을수록 낮은 경향을 보였다.

RBC수는 3주 사육한 군에서 부터 납급여군이 대조군보다 감소하는 경향을 보였으며, 7주 사육한 군에서는 납급여군이 대조군에 비해 유의적으로 감소하였고, 식이 단백질 함량이 낮은 식이를 섭취할 수록 낮은 경향을 보였다.

이는 납급여 시 hematocrit치, hemoglobin함량, RBC수 등이 감소하였으며, 단백질 급여 수준이 낮을수록 조혈 효과도 떨어졌다는 여러 보고^{16, 21, 22)}들과도 일치하는데, 납은 heme 합성 단계 중 특히 aminolevulinic acid dehydratase와 ferrochelatase의 작용을 저해함으로써, hemoglobin 및 RBC 생성이 감소되어 빈혈을 일으키며,²³⁾ 납에 노출되었을 때, hematocrit, hemoglobin이 감소하는 것은 납에 기인한 구리 결핍(lead-induced Cu deficient)으로 철의 이동, 이용에 장애가 생겨 발생한 2차 효과로 설명되고 있다.¹⁸⁾

혈청, 간의 단백질 함량

혈청, 간의 단백질 함량은 Table 6과 같다.

혈청과 간의 단백질 함량은 HP-Pb군과 MP-Pb

군에서는 대조군에 비해 유의적인 차이를 보이지 않았으나, LP-Pb군에서 유의적인 감소를 보였다. 7주 사육한 군에서 MP-Pb군의 간 단백질 함량이 가장 낮게 나타났다.

이는 납이 단백질 흡수를 저해하는 작용이 있는 데다,⁴⁾ 본 실험에서 식이 단백질 수준이 낮은 식이를 섭취한 군의 경우 식이 섭취량이 적었고, 따라서 단백질 섭취량도 감소했기 때문으로 생각되며, 납 축적에 의한 간 실질 세포 및 간 조직의 기능 장애에도 기인하는 것으로 생각된다.

혈청 중의 납, 철, 구리의 함량

혈청 중의 납, 철, 구리의 함량은 Table 7과 같다.

혈청 납함량은 납 급여군이 대조군에 비해 높았으며, 단백질 급여 수준이 낮을 수록 증가하는 것으로 나타났다.

혈청 철함량은 납 급여군이 대조군에 비해 감소했으며, MP-Pb군, LP-Pb군은 대조군과 유의적인 차이를 보였다.

혈청 구리의 함량은 각 군 간에 유의적인 차이는 보이지 않았으나, 납급여군이 대조군보다 감소하는 경향을 보였으며, 7주에서는 식이 단백질 수준이 낮을 수록 감소하는 경향이였다.

납 축적이 단백질 수준이 낮은 식이를 섭취한 군에서 많았던 것은, Augusta²²⁾등의 5% casein식이와 20% casein식이에 납을 섞어 사육한 흰쥐의 혈액 중의 납함량이 20% casein식이 보다 5% casein식이가 더 높게 나왔다는 보고와 일치하였다.

Table 6. Protein contents in serum, and liver of rats

Period(wk)	Serum(g pro./100ml)		Liver(mg pro./g wet liver)	
	3	7	3	7
Control	1) 4.60 ± 0.08 ^{a2)}	3.95 ± 0.25 ^a	273.08 ± 16.84 ^a	331.29 ± 59.84 ^a
HP-Pb	4.14 ± 0.20 ^{ab}	4.40 ± 0.17 ^a	295.86 ± 5.61 ^a	275.83 ± 32.40 ^{ab}
MP-Pb	4.73 ± 0.25 ^a	4.15 ± 0.23 ^a	285.14 ± 7.07 ^a	218.67 ± 17.48 ^c
LP-Pb	4.03 ± 0.09 ^b	2.63 ± 0.15 ^b	231.02 ± 11.04 ^b	229.75 ± 17.94 ^{bc}

1) Mean ± SE

2) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at α=0.05 level by Duncan's multiple test.

Table 7. Pb, Fe, and Cu contents in serum (μpm)

period(wk)		Pb	Fe	Cu
3	Control	¹⁾ $0.65 \pm 0.28^{a2)}$	9.52 ± 1.02^a	$0.14 \pm 0.01^{N. S.}$
	HP-Pb	8.52 ± 1.68^b	7.64 ± 3.07^a	0.11 ± 0.03
	MP-Pb	8.23 ± 2.29^b	4.95 ± 1.94^b	0.10 ± 0.01
	LP-Pb	15.52 ± 1.65^c	1.77 ± 0.31^b	0.10 ± 0.01
7	Control	0.50 ± 0.16^a	8.53 ± 0.57^a	$0.19 \pm 0.03^{N. S.}$
	HP-Pb	8.52 ± 1.82^b	7.13 ± 0.71^a	0.17 ± 0.02
	MP-Pb	8.02 ± 1.31^b	3.75 ± 0.31^b	0.09 ± 0.04
	LP-Pb	17.52 ± 1.79^c	1.52 ± 0.41^b	0.06 ± 0.01

1) Mean \pm SE2) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.3) N. S. : Not significant at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.Table 8. Pb, Fe, and Cu contents in liver ($\mu\text{g/g}$)

period(wk)		Pb	Fe	Cu
3	Control	¹⁾ $0.78 \pm 0.15^{a2)}$	10.07 ± 0.72^b	1.19 ± 0.08^a
	HP-Pb	2.56 ± 0.46^a	14.54 ± 0.97^b	0.48 ± 0.12^b
	MP-Pb	3.94 ± 0.68^a	30.38 ± 2.14^a	0.46 ± 0.08^b
	LP-Pb	4.48 ± 0.34^a	31.40 ± 0.63^a	1.14 ± 0.16^a
7	Control	0.79 ± 0.16^c	14.74 ± 2.73^c	$0.85 \pm 0.20^{N. S.}$
	HP-Pb	6.52 ± 0.48^b	13.68 ± 1.07^c	0.43 ± 0.10
	MP-Pb	8.95 ± 1.70^b	27.45 ± 1.67^b	0.45 ± 0.06
	LP-Pb	10.62 ± 2.34^a	36.35 ± 3.69^a	1.42 ± 0.39

1) Mean \pm SE2) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.3) N. S. : Not significant at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.

혈청의 납 함량이 높을 수록 혈청 철과 구리 함량이 낮은 경향을 나타낸 것은 납에 의해 구리 대사가 방해받고, 그로 인해 간에서 철이 transferrin으로 전이, 이동 되는 것에 장애가 일어나기 때문이라고 Klauder²⁴⁾ 등과 Lee 등²⁵⁾ 등이 설명한 바 있다.

간 내의 납, 철, 구리 함량

간내의 납, 철, 구리의 함량은 Table 8과 같다.

간내의 납함량은 식이 내 단백질 수준이 낮을 수록 증가하였고, 철 함량은 HP-Pb군은 대조군과 차이를 보이지 않았으나, MP-Pb군과 LP-Pb군은 유의적인 증가를 보였다.

구리의 함량은 LP-Pb군은 대조군과 비슷한 경향을 보였으나, HP-Pb군과 MP-Pb군은 대조군 보다 감소하였다.

이는 김등²¹⁾의 결과와 일치하는 것으로, 저단백

식이의 경우, 간에서의 납 해독 능력의 감소가 초래되므로 납축적이 증가 되는 것으로 보인다. MP-Pb군과 LP-Pb군의 철 함량이 유의적으로 높게 나타난 것은 혈청 철의 유의적 감소와도 관련이 있는 것으로 생각 되는데, 저단백 섭취시 축적된 납에 의해 구리 대사가 장애를 받고,²⁶ 그로 인해 철이 transferrin으로 되어 간에서 혈액으로 이동하는 데 장애를 받게 된 때문으로 사료된다.

신장, 비장, 뇌, 대퇴골, 털의 납 함량

신장, 비장, 뇌, 대퇴골, 털의 납함량은 Table 9와 같다.

신장의 납 함량은 납급여군이 대조군에 비해 유의한 증가를 보였으며, 7주 사육한 군에서는 HP-Pb군과 LP-Pb군이 MP-Pb군보다 높게 나타났다. 비장, 뇌, 대퇴골의 납함량은 LP-Pb군이 가장 높게 나타났으며, 털의 납함량은 7주 사육한 군에서 MP-Pb군이 가장 높게 나타났다.

Barenstein¹⁷⁾ 등이 고단백 및 저단백 식이 섭취시 납중독이 증가 했다는 보고를 한바 있으며, 일부 조직에서 납 축적이 고단백식이 섭취시 표준 단백질이 섭취시 보다 높은 경향을 보인 것은 Barltrop²⁷⁾의 결과와 일치되는데, Barltrop은 이에 대해 Ca-binding protein이 납 흡수에 관여하므로, 고단백식이 Ca-binding protein의 합성을 도우고, 그에

따라 납 흡수가 촉진되었기 때문으로 설명하고 있다. 김등²⁸⁾에 의하면, 신장에 납축적량이 많아진다해도, mitochondria내에는 납이 흡수되지 않는 어떤 방어 기전이 있으므로 전체적인 기능 증지는 생기지 않는다고 한다. 여러 연구²⁷⁻²⁹⁾에서, 납섭취시 근육을 제외한 연조직, 뼈, 모발등의 납함량이 증가 하며, 단백질 섭취량이 많아질수록 축적 정도가 낮았다고 보고하고 있는데, Milton 등²⁹⁾은 뼈가운데서 납보유량이 가장 많은 곳이 대퇴골이며, 납 축적은 Pb crystal salt로 침착이 일어난 후 유기 matrix와 점차적으로 결합함으로써 이루어지며, 뼈에 축적된 납은 쉽게 용출이 되지 않는다고 설명하고 있다.

노, 변 중의 납의 함량

노, 변으로 배설한 납은 Table 10과 같다.

노로의 납 배설량은 납급여군이 대조군에 비해 유의적인 증가를 보였으며, 식이 단백질 수준이 높을수록 증가 하였다. 이는 일단 체내로 흡수된 납의 배설이 저단백 식이 섭취 시는 고단백식이 섭취시 보다 잘되지 않기 때문으로 보이는 데, 이에 대해 단백질이 부족 할 때는 납이 단백질과 결합한 중금속 이온의 운반 형태인 metallothionein으로 전환되지 못하여 소변으로의 배설이 어렵기 때문이라고도 설명¹⁶⁾되고 있으나, 납이 단백질과 결합하여 metallothionein 복합물을 형성하지만, 그 양이 매우 적음을

Table 9. Pb contents in Kidney, spleen, brain, femur, and hair of rats

		(μg/g)				
	period(wk)	Kidney	Spleen	Brain	Femur	Hair
3	Control	¹⁾ 0.92 ± 0.24 ²⁾	1.19 ± 0.04 ^a	0.14 ± 0.01 ^a	5.59 ± 0.99 ^a	18.78 ± 2.36 ^a
	HP-Pb	23.93 ± 4.39 ^b	23.09 ± 0.22 ^b	1.59 ± 0.16 ^a	21.80 ± 7.40 ^c	62.52 ± 8.27 ^b
	MP-Pb	26.85 ± 1.56 ^b	23.70 ± 0.03 ^b	1.55 ± 0.12 ^b	24.69 ± 2.20 ^c	63.66 ± 8.37 ^b
	LP-Pb	28.78 ± 2.95 ^b	35.00 ± 0.33 ^c	1.79 ± 0.11 ^b	31.20 ± 2.79 ^b	68.96 ± 0.72 ^b
7	Control	1.54 ± 0.25 ^a	1.72 ± 0.08 ^a	0.16 ± 0.02 ^a	7.72 ± 0.76 ^c	16.86 ± 1.52 ^a
	HP-Pb	35.15 ± 3.03 ^c	27.50 ± 0.08 ^b	1.57 ± 0.12 ^b	56.00 ± 6.40 ^a	168.06 ± 24.85 ^b
	MP-Pb	26.84 ± 0.80 ^b	33.81 ± 0.13 ^b	1.72 ± 0.11 ^b	52.06 ± 4.23 ^{ab}	193.16 ± 32.79 ^c
	LP-Pb	34.61 ± 4.88 ^c	44.76 ± 0.13 ^c	1.78 ± 0.10 ^b	61.45 ± 3.62 ^b	140.71 ± 30.00 ^b

1) Mean ± SE

2) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at α=0.05 level by Duncan's multiple test.

Table 10. Pb contents in urine and feces of rats

period(wk)	(μg/day)							
	urine				feces			
	3		7		3		7	
Control	1) 7.06± 1.06 ⁽²⁾		13.45± 0.16 ^b		33.81± 1.25 ^c		40.13± 2.78 ^c	
HP-Pb	233.26± 40.08 ^a		87.50± 12.99 ^a		1527.99± 12.33 ^{ab}		2779.30± 54.00 ^a	
MP-Pb	186.99± 21.11 ^{ab}		64.56± 7.94 ^a		1056.94± 22.14 ^c		2994.30± 79.45 ^a	
LP-Pb	117.90± 20.13 ^{bc}		32.63± 1.87 ^b		1108.49± 15.19 ^a		1988.51± 22.91 ^{ab}	

1) Mean± SE

2) Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple test.

발견하고, thionein은 Cd의 해독 작용을 하는 것 같이 납의 해독 작용을 하지는 못할 것이라는 보고¹⁹⁾도 있다.

변으로의 납 배설은 3주 사육한 군에서는 HP-Pb군이 MP-Pb군과 LP-Pb군보다 높게 나타났으며, 7주 사육한 군에서는 HP-Pb군과 MP-Pb군이 LP-Pb군보다 높게 나타났다. 흡수된 납은 담즙을 경유하여 소장을 통해 대변으로 배설되지만, 대변 중의 대부분은 흡수되지 않은 납으로 구성되어 있는 데,²⁸⁾ Quarterman 등¹⁰⁾은 단백질이 납과 복합체를 이루어 납의 흡수를 방해함으로써, 대변을 통한 배설을 촉진시킨다고 보고한 바 있다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 납중독을 완화하기 위해서는 단백질의 충분한 섭취가 필요하며, 납에 노출되었을 때, 납에 기인한 구리 결핍으로 철의 이동, 이용에 장애가 생겨 발생한 제2차 효과로, hematocrit, hemoglobin이 감소될 수 있으므로, 철, 구리의 보충이 권장 되어야할 것으로 사료된다.

요 약

납중독된 흰쥐의 무기질 축적과 식이 단백질 수준과의 관계를 관찰하기 위해 흰쥐에게 납 2,000 ppm을 함유한 식수를 제한없이 주면서, 식이 단백질 수준을 6% (저단백납급여군), 15% (중단백납급여군), 40% (고단백납급여군)로 하여 각 3주, 7주동안 사육시켜 얻은 결과는 다음과 같다.

납급여군들의 체중 증가는 대조군에 비해 적었으나, 간, 신장, 비장, 뇌의 단위 체중당 무게는 대조군에 비해 증가하였다. Hematocrit치, hemoglobin 함량, RBC수는 납급여군들이 대조군에 비해 감소하였으며, 식이내 단백질 수준이 낮을 수록 감소하는 경향을 보였다. 혈청, 간의 단백질 함량은 저단백납급여군이 대조군에 비해 감소하였다. 혈청, 간, 신장의 납 축적량은 저단백납급여군이 유의적으로 높았다. 철의 함량은 혈청에서는 고단백납급여군이 높게 나타난 반면, 간에서는 저단백납급여군이 높게 나타났다. 구리의 함량은 혈청 내에서는 각 군 사이에 유의성이 없었고, 간에서는 저단백납급여군은 대조군과 비슷했으나, 고단백납급여군, 중단백납급여군은 대조군에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

문 헌

1. Clausen, J. and Rastogi, S. C., Heavy metal pollution among autoworkers, Lead, *Bri. J. Ind. Med.*, **34**, 208(1977)
2. 송철: 식품중 유해성 미량 금속에 대한 연구, 국립보건연구원보, **13**, 249(1976)
3. 김길생, 야채 및 과일류 중의 미량 금속의 분포에 관한 연구, 국립보건연구원보, **18**, 363(1981)
4. Edward J. C.: Nutrition and Environmental Health, John Wiley&Sons, Inc., New York (1981)

5. Motto, H. L., Daines, R. H., Chipko D. M., and Motto C. K., Lead in soils and plants : Its relationship to traffevolume and proximity to high ways. *Environ. Sci. Tech.*, **4**, 231(1970)
6. Committee on Toxicology, Assembly of life sciences, National research council : Recommendation for the prevention of lead poisoning in children, *Nutr. Rev.*, **34**, 321(1976)
7. Schroeder H. A., and Nason A. P., Cd, Cu, Fe, Pb, Mn, and Zu in evaporater milk infant products and human milk, *J. Invest. Dermatol.*, **53**, 71(1962)
8. Mahaffey K. P., Goyer R., and Haseman J. K., Dose-response to lead ingestion in rats fed low dietary calcium, *J. Lab. Clin. Med.*, **82**, 92(1973)
9. Forbes, G. B., and Reina, J. C., Effect of age on gastrointestinal absorption(Fe, Sr, Pb) in the rat, *J. Nutr.*, **102**, 647(1972)
10. Quarterman J., and Morrison J. N., The effect of dietary Ca and P on the retention and excretion of lead in rats, *Bri. J. Nutr.* **34**, 351 (1975)
11. American Institute of Nutrition : Ad Hoc committee on standards for nutritional studies. *J. Nutr.*, **107**, 1340(1977)
12. Cooper T. G. : The tools of biochemistry, John Wiley&Sons Inc., New York(1977)
13. Wapnir R. A., Exeni R. A., Mrcicar M., and Lifsheita F., Experinental lead poisoning and intestinal transport of glucose, amino acid sodium. *pediat. Res.*, **11**, 153(1977)
14. Levander O. A., Lead toxicity and nutritional deficiencies, *Environ Health perspect*, **29**, 115 (1979)
15. 김미경, 조경희 : 납과 단백질 수준을 달리한 식이로 사육한 성장기 흰쥐의 체내 대사 변화 한국영양학회지, **19**, 323(1986)
16. Barenstein H. D., and Grand J. A., The relation of protein intake to lead poisoning in rats ; *J. Pharmacol. Exp. Therapeutics*, **74**, 18(1942)
17. 권혁희, 유정열 : Cellulose, Ginseng 및 α -tocopherol의 쥐의 연중독 방어 효과에 관한 연구. 한국영양학회지, **17**, 193(1984)
18. Tadashi, S., and Akira Y., Effect of dietary supplementation of iron and ascorbic acid on lead toxicity in rats., *J. Nutr.* **109**, 982(1979)
19. Stephen, R. O., Behaviral effects of asymptomatic lead exposure during neonatal development in rats., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **41**, 459(1971)
20. 김옥경, 서정숙, 이명환 : 단백질 급원과 수준을 달리한 식이가 흰쥐의 납축적에 미치는 영향 한국영양학회지, **19**, 211(1986)
21. Augusta A. M., Lornald M., and Erogbo U., Influence of dietary factors on blood and tissue lead concentrations and lead toxicity, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **41**, 361(1977)
22. Thompson, J., Jones P. D., and Beasley, W. H., The effect of metal ions on the activity of aminolevulinic acid dehydratase, *Br. J. Int. Med.*, **34**, 32(1977)
23. Klauder, D. S., and Petering, H. G., Anemia of lead intoxication : A role for copper, *J. Nutr.*, **107**, 1779(1977)
24. Lee, G. R., Nacht S., Luken J. N., and Cartwright G. E., *J. Clin. Invest.*, **47**, 2058(1968)
25. Bush J. A., The role of trace elements in the therapy of anemia, *pediatrics*, **17**, 586(1956)
26. Barltrop, D., and Khoo H. E., The influence of factors on lead and absorption, *J. postgrad. Med.*, **51**, 797(1975)
27. 김기남 : 비타민 광물질 영양학. 향문사, 503 (1985)
28. Milton R. H, Earl B. D., Williams B. J., Tissue distribution of lead in rat pups nourished by lead poisonde mothers., *J. Toxicol, Environ. Health*, **9**, 77(1982)

(Received June 13, 1989)