

단백질과 칼슘의 급여 수준이 납중독된 흰쥐의 체내 무기질함량에 미치는 영향

이정숙[†] · 조수열*

고신대학교 식품영양학과

*영남대학교 식품영양학과

Effects of Dietary Protein and Calcium Levels on Ca, Fe, Cu, Zn and Mg Level of the Tissues of the Pb-administered Rats

Jeong-Sook Lee[†] and Soo-Yeul Cho*

Dept. of Food and Nutrition, Kosin University, Pusan 606-701, Korea

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

Abstract

This study was designed to investigate the effects of dietary protein and calcium levels on Ca, Fe, Cu, Zn and Mg accumulation of the tissue of the Pb-administered rats. Male Sprague-Dawley rats were assigned to a 3×3×2 factorial design with 3 levels of protein (40%, 15%, 6%), 3 levels of Ca (1.2%, 0.6%, 0.12%) and 2 feeding periods (3 and 7 weeks). The control group was included separately. The rats were exposed to the drinking water containing 2,000ppm of lead. Calcium contents in serum, liver and femur were decreased with Pb administration. Calcium contents in serum and femur were reduced with dietary protein and Ca levels. Level of serum Fe showed no significant difference with Pb administration in the rats fed the high Ca diet. Iron content in liver was not affected by the lead when the rats fed the diet containing high protein and Ca. Level of serum Cu was lower in the Pb added groups than in the control group and tended to be reduced with decreasing dietary protein and Ca levels. Copper content in liver was not affected by the lead when the rats fed the high Ca diet. Level of serum Zn was decreased in the low protein-low Ca group. Magnesium content in serum was decreased with Pb administration when the rats fed the diet containing low protein and Ca. However, magnesium content in liver was reduced with Pb administration and affected only by dietary protein level.

Key words : lead, protein, calcium

서 론

산업의 발달에 따라 심화된 환경 오염은 식품 오염을 거쳐 궁극적으로 국민 건강을 위협하게 되므로, 중금속의 피해는 심각한 사회 문제로 대두되게 되었다.

그 가운데서도 납은 자연계에 널리 존재하고 산업에 많이 이용되는 중금속 중의 하나로, 음식물이나 호흡기, 피부를 통해 흡수되며 체내에 축적되면 오심, 구토, 체중 감소, 빈혈, 뇌 손상, 장기의 변화 등의 중독증상을 일으킬 뿐만아니라¹⁾ 무기질의 흡수, 이동, 이용에

도 지장을 주므로 혈액과 조직의 무기질 함량이 달라지게 되고 따라서 생리적 장애가 유발된다²⁾.

생체가 납에 노출되었을 때는 식이 중의 영양소의 구성에 따라 혈액과 조직의 무기질 함량이 달라질 수 있고, 특히 단백질 섭취량과 칼슘 배설량은 밀접한 관련이 있는 것으로 보고^{3,4)}되고 있어 이 두 영양소와 납과의 상호 작용에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

따라서 본 연구는 단백질과 칼슘의 급여 수준이 납중독된 흰쥐의 체내 칼슘, 철, 구리, 아연, 마그네슘 등의 무기질 함량에 미치는 상호 작용을 살펴보고자 계획되었다.

[†]To whom all correspondence should be addressed

재료 및 방법

실험동물 및 계획

실험 동물은 Sprague-Dawley계 젖병 숫쥐 140마리를 표준 식이로 2주간 적응시킨 후, 평균 체중이 97.4g 인 것을 체중에 따라 난피법에 의해, 대조군(Control), 고단백-고칼슘군(H. Prot-H. Ca), 고단백-정상칼슘군(H. Prot-N. Ca), 고단백-저칼슘군(H. Prot-L. Ca), 정상단백-고칼슘군(N. Prot-H. Ca), 정상단백-정상칼슘군(N. Prot-N. Ca), 정상단백-저칼슘군(N. Prot-L. Ca), 저단백-고칼슘군(L. Prot-H. Ca), 저단백-정상칼슘군(L. Prot-N. Ca), 저단백-저칼슘군(L. Prot-L. Ca)으로 각군당 7마리씩 나누었다.

실험 동물은 규격이 18×21×35cm인 P. V. C. cage에 한 마리씩 분리 사육하였고, 물과 식이는 제한없이 먹도록 하였다. 사육시 이용된 모든 기구들은 0.4% EDTA용액으로 세척하여 무기질의 오염을 방지하였으며, 실험 기간 동안 물은 모두 탈이온 증류수를 사용하였다. 사육실의 온도는 20±2°C로 유지하였으며, 조명은 12시간 주기(08:00~20:00)로 조절하였다.

납은 lead acetate를 탈이온 증류수에 녹여, 2,000ppm 납용액으로 만든 것을 급여하였다. 침전을 방지하기 위해 5% acetic acid를 리터당 3ml씩 첨가하였으며, 대조군에도 동일한 처리를 하였다.

각 실험 식이의 조성은 Table 1에 나타내었다. 식이 내 칼슘과 인의 비는 1.1 : 1이 되도록 CaCO₃와 Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O로 조절했다.

시료의 채취

실험 동물은 12시간 절식시킨 뒤 에테르로 가볍게

마취시킨 다음 단두하여 채혈하고 즉시, 간, 신장, 비장 및 뇌를 적출하여 무게를 측정하였다.

혈액은 3,000rpm에서 10분간 원심 분리하여 혈청을 얻은 다음 분석시까지 -20°C에 보관하였다.

혈액 및 각 장기를 채취한 후의 도체는 -20°C에서 보관하였고, 오른쪽 대퇴골은 냉동 보관한 도체를 냉장고에서 녹인 후 채취하여 105±5°C에서 건조시켜 무게를 측정했다.

시료의 분석

각 조직의 무기질 함량은 조직을 습식회화하여 산용액으로 만든 후, atomic absorption spectrophotometer (Varian AA-30)을 이용하여 측정하였다⁵⁾.

통계처리

실험 결과는 분산 분석을 한 후, 처리 평균치 간의 유의성은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

또한, 식이 단백질과 칼슘 수준 및 사육 기간에 따른 영향과 각 요인 간의 상호 작용을 분석하였다⁶⁾.

결과 및 고찰

혈청, 간, 신장, 대퇴골의 칼슘 함량

혈청, 간, 신장, 대퇴골의 칼슘 함량을 분석한 결과는 Table 2와 3에 나타내었다. 혈청 칼슘 함량은 3주 사육시, 정상 단백질과 저단백군들은 대조군에 비해 유의적인 감소를 나타내었으나, 고단백 군은 차이를 보이지 않았고, 식이 칼슘 함량에 따른 차이는 나타나지 않았다. 7주 사육시는 납급여군이 대조군에 비해 감소를

Table 1. Composition of experimental diets

	Control	H. Prot - H. Ca	H. Prot - N. Ca	H. Prot - L. Ca	N. Prot - H. Ca	N. Prot - N. Ca	N. Prot - L. Ca	L. Prot - H. Ca	L. Prot - N. Ca	L. Prot - L. Ca
Ingredients ;	g/kg									
Cornstarch	646.87	370.57	398.94	421.25	618.91	646.87	669.57	707.89	736.26	758.96
Casein	150	400	400	400	150	150	150	60	60	60
Corn oil	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cellulose	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Vitamin mixture ²⁴⁾	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Salt mixture ²⁴⁾	15.77	15.77	15.77	15.77	15.77	15.77	15.77	15.77	15.77	15.77
CaCO ₃	6.84	13.73	7.52	2.95	12.63	6.84	1.88	12.66	6.46	1.50
Ca (H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	20.52	39.93	17.77	0.03	42.69	20.52	2.78	43.68	21.51	3.77
Composition ;										
Crude protein	144	384	384	384	144	144	144	57.6	57.6	57.6
Calcium	6	12	6	1.2	12	6	1.2	12	6	1.2
Phosphate	5.45	10.90	5.45	1.09	10.90	5.45	1.09	10.90	5.45	1.09

Table 2. Effect of dietary protein and calcium levels on calcium content in serum, liver, kidney and femur

Diet groups	Serum		Liver		Kidney		Femur	
	3 ^b	7	3	7	3	7	3	7
	— mg/100ml —		— µg/g —		— mg/g —		— mg —	
Control	20.27 ^{ab}	16.45 ^a	11.64 ^a	11.15 ^b	10.24 ^a	9.57 ^a	80.48 ^a	93.22 ^a
H. Prot-H. Ca	19.16 ^a	12.85 ^b	12.43 ^a	14.66 ^a	10.68 ^a	10.01 ^a	83.29 ^a	91.29 ^a
H. Prot-N. Ca	21.75 ^a	13.24 ^b	12.12 ^a	14.60 ^a	12.14 ^a	10.36 ^a	74.63 ^a	90.70 ^a
H. Prot-L. Ca	19.26 ^a	9.73 ^c	10.08 ^{ab}	13.29 ^a	12.21 ^a	10.87 ^a	46.42 ^b	67.62 ^{bcd}
N. Prot-H. Ca	15.71 ^b	13.22 ^b	7.66 ^b	14.08 ^a	10.12 ^a	9.93 ^a	74.05 ^a	89.19 ^a
N. Prot-N. Ca	15.92 ^b	9.41 ^c	7.82 ^b	13.60 ^a	10.08 ^a	9.93 ^a	76.42 ^a	74.65 ^b
N. Prot-L. Ca	15.69 ^b	7.50 ^c	7.55 ^b	13.29 ^a	10.52 ^a	9.85 ^a	56.49 ^b	62.68 ^{cd}
L. Prot-H. Ca	16.10 ^b	7.23 ^c	7.08 ^b	13.02 ^a	9.69 ^a	9.93 ^a	72.34 ^a	71.91 ^{bc}
L. Prot-N. Ca	15.66 ^b	7.29 ^c	8.55 ^b	13.66 ^a	10.16 ^a	9.85 ^a	75.10 ^a	70.64 ^{bc}
L. Prot-L. Ca	14.87 ^b	6.83 ^c	10.71 ^{ab}	13.29 ^a	10.32 ^a	9.57 ^a	51.32 ^b	58.94 ^d

^bRepresents experimental period in weeks

^aValues with the same superscripts in the column are not significantly different at 5% level

Table 3. ANOVA statistics for calcium content in serum, liver, kidney and femur

Sources	Serum	Liver	Kidney	Femur
Protein (A)	**	**	**	**
Calcium (B)	**	NS	NS	**
Period (C)	**	**	NS	**
A × B	**	**	NS	**
A × C	**	**	NS	**
B × C	**	NS	NS	**
A × B × C	**	**	NS	**

**Significant at 1% level

NS : Not significant

보였으며, 고단백-고칼슘군, 고단백-정상칼슘군, 정상단백-고칼슘군이 다른 식이군 보다 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 또한 단백질, 칼슘 급여 수준 및 사육 기간 사이에 상호 작용이 있어 ($p < 0.01$), 사육 기간이 길어질수록 식이 단백질이나 칼슘 수준이 낮아질수록 납의 영향을 많이 받아, 혈청 칼슘 함량이 감소하는 것으로 나타났다.

이는 납용액을 식수로 공급하면서 정상 칼슘 식이와 저칼슘 식이로 흰쥐를 사육하였을 때, 정상 칼슘 식이를 섭취한 군에서는 혈청 칼슘 함량이 납으로 인한 유의적 변화를 보이지 않았으나, 저칼슘 식이를 섭취한 군에서는 감소되었으며, 그 까닭을 칼슘과 납이 흡수될 때 서로 경쟁적으로 작용하기 때문으로 설명한 보고들^{2,7}과 비슷한 결과이다.

간의 칼슘 함량은 3주 사육시에는 고단백군들은 대조군과 차이가 없었으나 저단백-저칼슘군을 제외한 나머지군들은 감소를 나타내었다 ($p < 0.05$). 7주 사육시는 납급여군 모두에서 대조군보다 증가했으며, 식이 종류에 따른 변화는 보이지 않았고, 3주 사육시 보다

는 7주 사육시 현저한 증가를 보였다. 식이 단백질과 칼슘, 식이 단백질과 사육 기간 사이에는 상호 작용이 있었다 ($p < 0.01$).

이는 Mahaffey 등⁸이 정상 단백질 식이로 흰쥐를 사육했을 경우, 간의 칼슘 함량이 납의 영향을 받지 않았다고 보고한 것과 Quarterman과 Morrison⁹, Wallwork 등¹⁰이 간의 칼슘 함량이 칼슘 급여 수준이나 납 투여에 의한 차이가 나지 않았다고 보고한 것과 유사하다. 이로 미루어, 간은 칼슘 대사에서 비교적 납의 영향을 덜 받는 장기로 보인다.

신장 칼슘 함량은 3주와 7주 사육시 모두, 납급여나 식이 단백질 및 칼슘 함량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다.

이는 200ppm 납용액을 식수로 공급하면서 20% 단백질 식이로 10주간 흰쥐를 사육했을 때, 신장 내 칼슘 함량에 변화를 보이지 않았다는 보고⁸, 저칼슘 식이와 정상 칼슘 식이로 납투여 실험을 하였을 때, 신장 내 칼슘은 식이 내의 납이나 칼슘의 영향을 받지 않았다는 보고들^{3,10}과 유사한 결과이다.

대퇴골 내의 칼슘 함량은 3주 사육시 저칼슘군들만 감소를 보였으며, 나머지 군들은 대조군과 차이가 없었다. 7주 사육시에는 고단백-고칼슘군, 고단백-정상칼슘군, 정상단백-고칼슘군을 제외한 군에서는 대조군에 비해 유의적인 감소를 나타내었으며, 단백질과 칼슘 급여 수준이 낮을수록 대퇴골 칼슘 함량이 감소했다 ($p < 0.05$). 3주 사육시 고단백-저칼슘군의 대퇴골 칼슘 함량이 가장 낮게 나타난 것이 특이했으며, 식이 단백질, 칼슘 및 사육 기간 사이 모두에서 상호 작용이 나타났다 ($p < 0.01$).

식이 내 단백질은 뼈의 성장과 뼈의 칼슘 축적을 촉진

Table 4. Effect of dietary protein and calcium levels on iron and copper contents in serum and liver

Diet groups	Iron				Copper			
	Serum		Liver		Serum		Liver	
	3 ¹⁾	7	3	7	3	7	3	7
	ppm		μg/g		ppm		μg/g	
Control	11.76 ^{2b)}	10.53 ^a	11.09 ^a	22.11 ^d	0.14 ^a	0.17 ^a	1.05 ^a	1.28 ^a
H. Prot-H. Ca	10.47 ^a	9.39 ^{ab}	11.18 ^a	20.56 ^d	0.13 ^{ab}	0.14 ^b	1.28 ^a	1.21 ^a
H. Prot-N. Ca	10.65 ^a	5.13 ^b	15.31 ^{ac}	20.52 ^d	0.13 ^{ab}	0.14 ^b	0.64 ^b	0.64 ^{bc}
H. Prot-L. Ca	6.03 ^{bc}	5.10 ^b	21.53 ^{cd}	55.09 ^b	0.12 ^b	0.11 ^{bc}	0.65 ^b	0.48 ^c
N. Prot-H. Ca	9.92 ^{ab}	9.44 ^{ab}	25.81 ^c	33.29 ^e	0.12 ^b	0.14 ^b	1.38 ^a	1.01 ^a
N. Prot-N. Ca	10.22 ^a	5.78 ^b	30.30 ^{bc}	37.67 ^{cd}	0.13 ^{ab}	0.13 ^b	0.66 ^b	0.64 ^{bc}
N. Prot-L. Ca	7.92 ^b	4.06 ^{bc}	36.95 ^b	36.13 ^c	0.13 ^{ab}	0.09 ^c	0.68 ^b	0.70 ^{bc}
L. Prot-H. Ca	11.45 ^a	3.24 ^c	36.43 ^b	32.56 ^c	0.14 ^a	0.10 ^c	1.09 ^a	1.36 ^a
L. Prot-N. Ca	7.23 ^b	4.69 ^{bc}	31.33 ^{bc}	36.53 ^c	0.13 ^{ab}	0.10 ^c	0.69 ^b	0.83 ^b
L. Prot-L. Ca	4.30 ^c	3.35 ^c	48.53 ^a	62.13 ^a	0.12 ^b	0.09 ^c	0.69 ^b	0.61 ^{bc}

¹⁾Represents experimental period in weeks

²⁾Values with the same superscripts in the column are not significantly different at 5% level

한다는 보고¹¹⁾도 있으나, 본 실험에서는 납 급여시 뼈 칼슘 함량은 단백질보다는 칼슘의 영향을 더 받는 것으로 나타났다. 이는 Wallwork 등⁹⁾이 보고한 바와 같이 단백질 섭취가 부족하면 bone matrix의 성장은 위축된다 해도 미량금속의 축적은 정상적으로 되므로 나타난 결과라고 생각된다. 돼지골 칼슘 함량도 혈청 칼슘 농도와 같은 경향으로, 식이 단백질과 칼슘 함량이 충분할 때는 납의 영향을 덜 받는 것으로 보이며, Mahaffey 등⁷⁾도 비슷한 보고를 한 바 있다.

혈청과 간의 철 함량

혈청과 간의 철함량을 분석한 결과는 Table 4와 5에 나타난 것과 같다.

혈청 철 함량은 3주 사육시에는 고단백군과 정상 단백질군 내에서는 저칼슘 섭취시 감소를 보였고, 저단백군에서는 정상 칼슘과 저칼슘 섭취시 감소를 나타냈다 ($p < 0.05$). 7주 사육시에는 고단백-고칼슘군, 정상단백-고칼슘군만 대조군과 비슷하였고 나머지 군은 감소를 보였으며, 식이 칼슘 함량과 사육 기간 사이에 상호 작용이 있었다($p < 0.01$).

이는 Klauder와 Petering¹²⁾이 55% 탈지 우유 식이와 500ppm 납용액을 흰쥐에게 급여한 결과, 혈청 철함량이 거의 정상 수준을 유지했다고 보고하면서 철은 혈류로 전이·이동될 때는 납의 방해 작용을 받으나, 장내의 흡수 부위에서는 철의 결합이 납의 결합보다 용이하므로 납이 철의 흡수를 방해하지 못하기 때문으로 설명한 것과 유사하다.

간의 철함량은 3주와 7주 사육시 모두, 고단백-고칼슘군과 고단백-정상 칼슘군은 대조군과 비슷하였으

Table 5. ANOVA statistics for iron and copper contents in serum and liver

Sources	Iron		Copper	
	Serum	Liver	Serum	Liver
Protein (A)	**	**	**	NS
Calcium (B)	**	**	**	**
Period (C)	**	**	**	NS
A × B	NS	**	NS	*
A × C	NS	**	**	**
B × C	**	**	**	NS
A × B × C	**	**	*	**

*Significant at 5% level, **Significant at 1% level

NS : Not significant

나, 나머지 군들은 대조군보다 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 또한 식이 단백질, 칼슘 및 사육기간 사이에 상호 작용의 영향을 받는 것으로 나타났다 ($p < 0.01$).

이는 납급여시 간장의 철함량이 유의적으로 증가했다는 여러 보고들¹²⁻¹⁴⁾과 일치하는 결과로, 철이 납보다 장내 흡수 부위에서의 결합이 용이하므로 흡수를 방해받지는 않으나, 납은 간 조직에 저장되어 있던 철이 이용되는 데 필요한 ceruloplasmin의 활성을 약하게 하므로 철의 이동에 장애가 일어나, 혈청의 철함량은 떨어지고 간의 철함량은 높아지는 것으로 설명되고 있다.

Suzuki와 Yoshida¹³⁾가 납급여시 빈혈은 관찰되나 조직의 철 함량 감소는 나타나지 않았다고 한 보고도 이를 뒷받침해 주고 있다.

혈청과 간의 구리 함량

혈청과 간의 구리 함량은 Table 4와 5에 나타내었다. 혈청 구리 함량은 3주 사육시에는 고단백-저칼슘군, 정상단백-고칼슘군, 저단백-저칼슘군이 대조군보다 낮

게 나타났으나 7주 사육시에는 납급여군 모두에서 대조군에 비해 유의적인 감소를 보였고, 단백질 급여 수준에 의한 영향이 나타나 저단백군들이 가장 감소하였다 ($p < 0.05$). 또한 식이 단백질 수준이 동일한 군 내에서는 저칼슘군이 낮은 경향을 보였으며, 저단백군과 저칼슘 군에서는 납에 노출되는 기간이 길수록 감소를 나타내었다.

이는 Klauder와 Petering¹²⁾이 500ppm 납용액으로 12주 동안 흰쥐를 사육했을 때, 혈청 구리가 감소했다고 한 보고와 유사한 결과이다. 혈청 구리의 감소는 ceruloplasmin의 활성 감소를 초래하여 철이 transferrin으로 병합되는 데 중요한 과정인 Fe^{++} 에서 Fe^{+++} 로의 산화에 영향을 받게되므로, 헤마토크릿치와 헤모글로빈 함량이 감소하게 되어 저혈구성 빈혈, 저색소성 빈혈이 발생하게 되는 것으로 설명되고 있다¹⁵⁾.

간의 구리 함량은 3주와 7주 사육시 모두, 고칼슘 섭취하는 식이 단백질 함량에 따른 차이가 나타나지 않아 고단백-고칼슘군, 정상단백-고칼슘군, 저단백-고칼슘군은 대조군과 비슷하였으나, 나머지는 대조군보다 감소하였다 ($p < 0.05$). 식이 단백질과 사육 기간 사이에도 상호 작용이 관찰되었는데 ($p < 0.01$), 저단백 식이 섭취하는 납에 노출되는 기간이 길어질수록 간장의 구리 함량이 증가하는 것으로 나타났다.

이는 Wallwork 등⁹⁾이 단백질 수준을 달리한 식이로 흰쥐를 사육하였을 때, 간의 구리 함량은 식이 단백질 수준이 낮을수록 감소하는 경향을 나타내었다고 한 것과 유사한 결과이다.

또한 Klauder와 Petering¹²⁾은 500ppm 납용액으로 8주 동안 흰쥐를 사육했을 때, 간의 구리 함량이 납급여군에

서 대조군보다 낮게 나타났다고 보고하면서, 헴 합성시 철의 체내 이용에 영향을 주는 것은 구리가 구성요소가 되는 ceruloplasmin으로, 납에 노출되면 ceruloplasmin의 활성이 감소하게 된다는 주장을 한바 있다.

칼슘 함량이 높은 식이를 섭취한 군의 간의 구리 함량이 감소하지 않은 것은, 칼슘이 구리와 아연의 길항작용을 감소시켜 아연의 이용성을 떨어뜨리고 구리의 이용성을 높여주는 데¹⁶⁾에도 원인이 있을 것으로 사료된다.

혈청과 간의 아연 함량

혈청과 간의 아연 함량은 Table 6과 7에 나타내었다.

혈청 아연 함량은 3주 사육시에는 식이 단백질 수준이나 칼슘 수준에 따른 유의적인 변화를 보이지 않았으며, 7주 사육시에는 저단백-저칼슘군에서만 유의적인 감소를 보였다 ($p < 0.05$).

본 실험 결과에서는 혈청 중의 아연 함량은 단기간 납에 노출되었을 때는 납의 영향을 받지 않고, 장기간 노출되었을 때에도 식이 단백질과 식이 칼슘이 모두 결핍된 경우에만 영향을 받는 것으로 나타났다.

이는 Hsu 등⁶⁾이 납을 0.1% 함유한 0.7%와 1.1% 칼슘 식이로 9주 동안 흰쥐를 사육하였을 때, 혈청 아연 함량에 차이가 나타나지 않았으며, 납급여시에도 혈청 아연 함량의 차이가 나지 않았다고 한 것과, Hardie-Muncy와 Rasmussen¹⁷⁾이 식이 단백질 함량을 달리했을 때 혈청 아연 함량에 차이가 나지 않았다고 한 보고와 유사한 결과이다. 혈청 알부민은 아연이 혈액으로 이동될 때 주요 결합 부위가 되므로 혈청 단백질 함량과 혈청 아연 함량은 상관 관계가 크며, 식이 단백질 부족은

Table 6. Effect of dietary protein and calcium levels on zinc and magnesium contents in serum and liver

Diet groups	Zinc				Magnesium			
	Serum		Liver		Serum		Liver	
	3 ¹⁾	7	3	7	3	7	3	7
	ppm		μg/g		ppm		μg/g	
Control	5.51 ^{a2)}	5.45 ^a	5.51 ^a	5.79 ^a	44.67 ^a	60.05 ^d	5.90 ^a	7.58 ^a
H. Prot-H. Ca	4.98 ^a	5.36 ^a	5.52 ^a	4.62 ^{ab}	47.81 ^a	77.34 ^a	4.86 ^a	7.45 ^a
H. Prot-N. Ca	5.38 ^a	5.20 ^a	5.53 ^a	4.60 ^{ab}	44.54 ^a	71.72 ^b	4.48 ^a	7.01 ^a
H. Prot-L. Ca	5.46 ^a	4.98 ^{ab}	4.52 ^a	4.61 ^{ab}	42.55 ^a	65.93 ^c	5.43 ^a	7.46 ^a
N. Prot-H. Ca	5.32 ^a	5.25 ^a	4.51 ^a	4.53 ^a	35.99 ^c	58.35 ^d	6.25 ^a	6.83 ^{ab}
N. Prot-N. Ca	5.15 ^a	5.39 ^a	4.50 ^a	4.56 ^{ab}	37.80 ^b	53.55 ^c	6.41 ^a	7.21 ^a
N. Prot-L. Ca	4.98 ^a	5.34 ^a	4.50 ^a	4.60 ^{ab}	34.10 ^c	48.44 ^c	6.14 ^a	6.54 ^b
L. Prot-H. Ca	5.32 ^a	5.27 ^a	4.50 ^a	4.62 ^{ab}	33.27 ^c	49.13 ^c	6.46 ^a	5.58 ^c
L. Prot-N. Ca	5.34 ^a	5.34 ^a	4.53 ^a	4.50 ^b	35.36 ^c	40.49 ^c	6.31 ^a	6.16 ^c
L. Prot-L. Ca	5.28 ^a	4.77 ^b	4.53 ^a	4.60 ^{ab}	32.49 ^c	40.40 ^c	6.27 ^a	6.70 ^b

¹⁾ Represents experimental period in weeks

²⁾ Values with the same superscripts in the column are not significantly different at 5% level

Table 7. ANOVA statistics for zinc and magnesium contents in serum and liver

Sources	Zinc		Magnesium	
	Serum	Liver	Serum	Liver
Protein (A)	NS	NS	**	*
Calcium (B)	NS	NS	**	NS
Period (C)	NS	NS	**	**
A x B	NS	NS	NS	NS
A x C	NS	NS	**	**
B x C	NS	NS	**	NS
A x B x C	NS	NS	NS	NS

*Significant at 5% level, **Significant at 1% level
NS : Not significant

아연의 감소를 초래한다는 보고^{18,19)}, 식이 단백질 수준이 높아질수록 혈청 아연 함량이 감소했다는 전혀 상반된 보고⁹⁾도 있으나, 본 실험에서는 단백질과 칼슘이 동시에 부족할 때만 혈청 아연의 감소가 나타났다. 간의 아연 함량은 7주 사육시 저단백-정상칼슘군을 제외하고는 대조군과 유의적인 차이가 나지 않았으며, 식이 단백질이나 칼슘 함량에 따른 차이를 보이지 않았다.

납은 조직의 아연 함량을 높여주는 작용을 하고, 아연은 혈청의 칼슘, 인의 함량을 낮추는 작용을 하며, 칼슘과 인의 정상적인 이동을 방해하므로 납흡수를 높여주는 구실을 하게 된다¹⁶⁾. 반면, 식이 칼슘은 소화관강에 존재하는 organic ligand와 불용성 복합체 형성을 촉진시키거나, 소화관에서 아연 흡수를 방해하는 다른 어떤 기전에 관여하거나, 아연의 용해도를 떨어뜨림으로써 흡수를 방해하는 작용을 하여, 아연이 과도하게 축적되는 것을 막아주므로 납중독의 영향을 완화시킬 수 있다는 보고¹⁰⁾도 있다.

Magee와 Grainger²⁰⁾는 식이 단백질 함량이 낮을 때 간의 아연 함량이 높게 나타났다고 보고하였으나, Wall-work 등⁹⁾은 식이 단백질 함량이 높을수록 아연 함량이 높았다는 상반된 보고도 한 바 있다. Hsu 등⁶⁾은 납침가가 저칼슘 식이에서는 간의 아연 수준을 낮추어 주었지만 고칼슘 식이에서는 간의 아연 수준을 높여 주었다고 보고하면서 아연 함량이 증가하면 인의 소화관 이동을 방해하므로 인 대신 납의 흡수를 용이하게 만든다고 설명하였다.

혈청과 간의 마그네슘 함량

혈청과 간의 마그네슘 함량은 Table 6과 7과 같다. 혈청 마그네슘 함량은 3주와 7주사육시 모두 고단백 군들은 대조군과 차이가 없거나 오히려 높았으나, 나머지 군들은 유의적인 감소를 보였으며, 식이 단백질 함

량이 동일한 군내에서는 저칼슘군이 낮게 나타났고, 사육 기간이 길어질수록 증가를 보였다 ($p < 0.05$).

혈청 마그네슘 함량의 감소는 신세뇨관의 마그네슘 재흡수의 감소를 시사하므로²¹⁾, 본 실험 결과로써는 납 급여시라도 식이 칼슘 함량이 적당하고 단백질 함량이 높을 경우에는 납으로 인한 신장 장애가 적음을 간접적으로 나타낸다고 볼 수 있겠으나, 10,000ppm 납용액을 6주간 급여했을 때, 혈청 마그네슘 함량의 변화가 나타나지 않았다는 보고¹⁰⁾도 있다.

간의 마그네슘 함량은 3주 사육시는 납급여군과 대조군 사이에 차이를 보이지 않았으며, 7주 사육시는 납급여군이 대조군보다 감소하는 경향을 보였고, 정상 단백질-저칼슘군, 저단백-고칼슘군, 저단백-저칼슘군은 유의적으로 낮아졌다 ($p < 0.05$). 식이 단백질과 사육 기간 사이의 상호 작용에는 유의성을 보였다 ($p < 0.01$).

간의 마그네슘 함량 감소는 조직 손상을 의미한다고 볼 때¹⁶⁾, 본 실험에서 납에 단기간 노출 되었을 때는 식이 단백질이나 칼슘 함량에 관계없이 납의 영향을 받지 않으며, 장기간 노출되었을 때라도 식이 단백질 함량이 낮을 경우만 영향을 받는 것으로 보아, 납이 간 조직이나 간기능 손상에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 생각되며, 이는 다른 보고들^{6,22)}과도 유사하다. Narayani 등²³⁾은 납 급여시 간장의 마그네슘 함량이 오히려 증가했다는 보고를 한 바 있다.

요 약

식이 단백질과 칼슘의 수준이 납중독된 흰쥐의 체내 무기질 함량에 미치는 영향을 관찰하기 위해, 흰쥐에게 납 2,000ppm을 함유한 식수를 제한없이 주면서, 식이 단백질과 칼슘 수준을 각각 3수준, 사육 기간을 3주와 7주로한, 3×3×2 요인 실험으로 설계하고 대조군을 별도로 설정하여 조사한 결과는 다음과 같다. 혈청, 간 및 대퇴골의 칼슘 함량은 납 급여시 감소하였고, 혈청과 대퇴골에서는 식이 단백질과 칼슘 함량이 낮을수록 감소를 나타냈으나, 간의 식이 종류에 따른 차이를 보이지 않았다. 신장의 칼슘 함량은 납 급여나 식이 종류에 따른 영향을 받지 않았다. 혈청 철 함량은 칼슘 섭취량이 많으면, 납 급여의 영향을 받지 않았지만, 간의 철 함량은 칼슘이 충분한 고단백 식이를 섭취한 경우만 영향을 받지 않았다. 혈청 구리 함량은 납 급여시 감소하였고, 식이 단백질과 칼슘 함량이 적을수록 감소하였다. 간의 구리 함량은 고칼슘군은 납 급여의 영향을 받지 않았으나, 나머지 군들은 감소하였다. 혈청 아

연 함량은 저단백-저칼슘군에서만 납 급여의 영향을 받아 감소하였고, 간의 아연 함량은 납 급여나 식이 단백질 및 칼슘의 영향을 받지 않았다. 혈청 마그네슘 함량은 식이 단백질과 칼슘이 동시에 부족할 때, 납 급여의 영향을 받아 감소하였다. 간의 마그네슘 함량은 납 급여시 감소하였고, 식이 단백질 함량이 낮을수록 감소하였다.

문 헌

- Aub, J. C., Fairhall, L. T., Minot, A. S. and Reznikoff, P. : Lead poisoning. *Medicine*, **4**, 1 (1925)
- Bryce-Smith, D. E. and Stepher, R. : *Trace elements in health*. Butter-worths, London, p.883 (1983)
- Quarterman, J. and Morrison, J. N. : The effects of dietary calcium and phosphorus on the retention and excretion of lead in rats. *Br. J. Nutr.*, **34**, 351 (1975)
- Forbes, G. B. and Reina, J. C. : Effect of age on gastrointestinal absorption (Fe, Sr, Pb) in the rat. *J. Nutr.*, **102**, 647(1972)
- Heckman, M. : Mineral in feeds by atomic absorption spectrophotometry. *J. A.O.A.C.*, **51**, 776 (1968)
- Hue, F. S., Krook, L., Pond W. G. and Duncan, J. R. : Interactions of dietary calcium with toxic levels of lead and zinc in pigs. *J. Nutr.*, **105**, 112 (1975)
- Mahaffey, K. R., Goyer, R. and Haseman, J. K. : Dose-response to lead ingestion in rats fed low dietary calcium. *J. Lab. Clin. Med.*, **82**, 92 (1973)
- Mahaffey, K. R., Stephen, G. and Bruce, A. F. : Concurrent exposure to lead, cadmium and arsenic : Effects on toxicity and tissue metal concentrations in the rat. *Lab. Clin. Med.*, **98**, 463 (1981)
- Wallwork, J. C., Johnson, L. K., Milne, D. B. and Sandstead, H. H. : The effect on interactions between dietary egg white protein and zinc on body weight, bone growth and tissue trace metals in the 30-day-old rat. *J. Nutr.*, **113**, 1307 (1983)
- Victery, W., Miller, C. R. and Goyer, R. A. : Essential trace metal excretion from rats with lead exposure and during chelation therapy. *J. Lab. Clin. Med.*, **107**, 129 (1986)
- 최남순, 조미숙, 김화영 : 식이 단백질 수준이 어린 쥐와 나이든 쥐의 bone metabolism에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **22**, 497 (1989)
- Klauder, D. S. and Petering, H. G. : Anemia of lead intoxication : A role for copper. *J. Nutr.*, **107**, 1779 (1977)
- Suzuki, T. and Yoshida, A. : Effect of dietary supplementation of iron and ascorbic acid on lead toxicity in rats. *J. Nutr.*, **109**, 982 (1979)
- Mahaffey, K. S. and Goyer, R. A. : The influence of iron deficiency on tissue content and toxicity of ingested lead in the rat. *J. Lab. Clin. Med.*, **79**, 128(1972)
- Cerklewski, F. L. and Forbes, R. M. : Influence of dietary copper on lead toxicity in the young male rat. *J. Nutr.*, **107**, 143 (1977)
- Six, K. M. and Goyer, R. A. : Experimental enhancement of lead toxicity by low dietary calcium. *J. Lab. Clin. Med.*, **76** (6), 933 (1970)
- Hardie-Muncy, D. and Rasmussen, A. I. : Interrelationships between zinc and protein level and source in weanling rats. *J. Nutr.*, **109**, 321 (1979)
- Sheila, C. V. and Love, A. H. : Zinc and copper status of the elderly. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 1472 (1979)
- Golden, B. E. and Golden, M. H. : Plasma zinc and the clinical features of malnutrition. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 249 (1979)
- Magee, A. C. and Grainger, F. P. : Zinc-protein interrelationships in young rats. *Nut. Rep. Int.*, **20**, 771 (1979)
- 강두희 : 생리학. 신광출판사, 서울, p.10 (1983)
- 김양선, 유정열 : 유년기 백서의 단백질 부족이 성장 후 납중독에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **18** (4), 318 (1985)
- Narayani, P. S., Inderjit, S. T., Leonard, F. V. and Pawlow, M. : Intake of magnesium and toxicity of lead : An experimental model. *Arch. Environ. Health*, **34**, 168 (1979)
- 이정숙, 조수열 : 식이내 단백질과 칼슘의 수준이 납중독된 흰쥐의 혈액학적 성상 및 신기능에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **20**(4), 337 (1991)

(1992년 8월 11일 접수)