

철보충이 납중독된 흰쥐의 δ -Aminolevulinic Acid Dehydratase 활성과 해독에 미치는 영향

이정숙[†] · 조수열* · 김영로**

고신대학교 식품영양학과

*영남대학교 식품영양학과

**영남대학교 환경학과

Effects of Dietary Iron Supplementation on δ -Aminolevulinic Acid Dehydratase Activity and Detoxification of the Pb-administered Rats

Jeong-Sook Lee[†], Soo-Yeul Cho* and Young-Ro Kim**

Dept. of Food and Nutrition, Kosin University, Pusan 606-080, Korea

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

**Dept. of Environmental Health, Yeoungnam University, Kyungsan 713-800, Korea

Abstract

This study was designed to investigate the effects of dietary iron supplementation on δ -aminolevulinic acid dehydratase (DALAD) activity and liver damage of the lead (Pb)-administered rats. The iron (Fe) supplement levels were 100ppm (Fe₁₀₀) and 500ppm (Fe₅₀₀) and the Pb-exposed rats were given 2,000ppm-Pb in drinking water, while control rats were given neither iron nor lead. Hematocrit was lower in the Pb, Fe₁₀₀-Pb, Fe₅₀₀-Pb group than in the control, but was not affected by the Pb administration when the rats fed the Fe supplementation diet. DALAD activity were reduced by Pb added but, were higher in the Fe₅₀₀-Pb group than in the Fe₁₀₀-Pb group. No significant difference was found in serum Pb content due to Pb administration and Fe supplementation. The liver Pb content was higher in the Fe supplementation group than in the Pb-group. Level of serum Fe was lower in the Pb added groups than in the control group. Liver Fe contents were increased with Pb administration and higher in the Fe supplement groups than in the Pb-group. Levels of serum and liver copper was decreased with the Fe supplementation. Aminotransferase activity of serum and liver were increased in the Pb group.

Key words : lead, iron supplementation, δ -aminolevulinic acid dehydratase (DALAD)

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 일으키게 된다¹⁾. 특히 납은 철의 이동과 이용을

방해하며, 헴합성에 필요한 효소의 활성을 저해시킴으로써 헴생성에 지장을 주는 것으로 알려져 있다²⁻⁴⁾.

철 부족시는 납의 흡수 이용이 용이해져 간, 신장, 뼈 등의 납축적이 증가하고, 소변의 δ -aminolevulinic acid의 배설이 늘어난다고 보고되고 있다⁵⁾. 철과 다른 영양소와의 상호작용이 납중독에 미치는 영향에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔으나, 납중독시의 철의 보충 효과에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 철의 보충이 납중독된 흰쥐의 체내 무기질 함량 및 중독증상 완화에 미치는 영향을 살펴보고자 계획되었다.

[†]To whom all correspondence should be addressed

재료 및 방법

실험동물 및 계획

실험동물은 생후 5주된 Sprague-Dawley계 숫쥐 40마리를 표준 식이로 2주간 적응시킨 후, 평균 체중이 197.4g인 것을 체중에 따라 난괴법에 의해, 10마리씩 4군으로 나누어, 5주동안 Table 1과 같이 사육하였다.

실험동물은 stainless steel cage에 한마리씩 분리 사육하였고, 물과 식이는 제한없이 먹도록 하였다. 사육실의 온도는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, 조명은 12시간 주기 (8:00~20:00)로 조절하였다.

납은 lead acetate를 탈이온 증류수에 녹여, 2,000 ppm 납용액으로 만든 것을 급여하였다¹⁾. 침전을 방지하기 위해 5% acetic acid를 리터당 3ml씩 첨가하였으며, 대조군에도 동일한 처리를 하였다.

각 실험 식이의 조성은 Table 2에 나타내었다. 단백질 공급원으로는 casein (Wako Co. 일본)을 사용하였고, 탄수화물 공급원으로는 옥수수전분(미원)과 설탕(제일제당)을, 지방 공급원으로는 옥수수기름(동방유량)을 사용하였다. 그 밖의 성분들은 모두 Sigma chemical Co. (미국) 제품을 사용하였다.

Table 1. Experimental design

| Diet groups | | Pb content | Fe content |
|-----------------------|------------|------------------------|----------------------|
| Control | Basal diet | - | - |
| Pb | Basal diet | 2,000ppm ¹⁾ | - |
| Fe ₁₀₀ -Pb | Basal diet | 2,000ppm | 100ppm ²⁾ |
| Fe ₅₀₀ -Pb | Basal diet | 2,000ppm | 500ppm ³⁾ |

¹⁾ 2,000ppm of lead was added into drinking water as lead acetate

²⁾ Iron was added in the diet as $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (498mg/kg diet)

³⁾ Iron was added in the diet as $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (2,488mg/kg diet)

Table 2. Composition of basal diet

(g/100g diet)

| Ingredients | Content |
|-------------------------------|---------|
| Casein | 20.0 |
| DL-Methionine | 0.3 |
| Corn starch | 50.0 |
| Sucrose | 15.0 |
| Cellulose | 5.0 |
| Corn oil | 5.0 |
| Mineral mixture ¹⁾ | 3.5 |
| Vitamin mixture ¹⁾ | 1.0 |
| Choline chloride | 0.2 |

¹⁾ According to AIN⁷⁶

시료의 채취

실험동물은 12시간 절식시킨 후 에테르로 마취시켜 개복한 후 복부대동맥으로 채혈하고, 즉시 간장, 신장, 비장, 심장을 적출하여 무게를 측정하였다.

시료의 분석

헤마토크릿치는 혈액을 11,000rpm에서 5분간 원심 분리시킨 후, packed red cell volume의 백분율을 측정하였다. 혈중 δ -aminolevulinic acid dehydratase (DALAD) activity는 Cerklewski와 Forbes⁷⁾, Weissberg 등⁸⁾의 방법을 응용하여 측정하였다. 즉, 혈액 0.2ml에 증류수 0.4ml와 0.2M phosphate buffer (pH 6.8) 0.2ml를 넣어 용혈시켜 0.02M δ -aminolevulinic acid (DALA) 1ml를 넣고 37°C 항온기에서 1시간 동안 반응시켰다. 여기에 0.1M HgCl_2 를 함유한 10% TCA용액 1ml를 넣어 반응을 정지시킨 다음 2,500rpm에서 10분간 원심분리시키고 상등액에 Ehrlich's reagent 1ml를 넣어 발색시켜 553nm에서 그 흡광도의 변화를 측정하였다. 간조직의 DALAD는 Cerklewski와 Forbes의 방법⁷⁾으로 측정하였다. 즉, 간조직 1g을 20mM phosphate buffer (pH 6.8) 3배량을 넣어 homogenize하여 homogenate 0.2ml에 0.2M phosphate buffer 0.5ml를 첨가하고 0.01M DALA 0.3ml를 첨가하여 37°C 항온기에서 30분간 반응시켰다. 반응액을 2,000rpm에서 10분간 원심분리시켜 상등액 1ml를 취하여 Ehrlich's reagent 1ml를 넣고 잘 혼합한 다음 553nm에서 흡광도를 측정하였다.

혈청과 간의 aminotransferase는 Reitman과 Frankel의 방법⁹⁾에 의해 조제된 kit (Eiken Co.)을 사용하여 측정하였다.

조직의 무기질 함량은 조직을 습식회화하여 산용액으로 만든 후, Atomic Absorption Spectrophotometer (Varian AA-30)를 이용하여 측정하였다¹⁰⁾.

통계처리

실험 결과는 통계처리하여 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하였고, 처리 평균치 간의 유의성은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test로 검정하였다¹¹⁾.

결과 및 고찰

체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율

체중증가량, 식이섭취량, 식이효율 및 납섭취량은 Table 3에 나타내었다. 납급여군들의 납섭취량은 하루 평균 29.94~30.80mg이었다.

납급여군들은 모두 대조군보다 체중증가량이 감소하였는데, 철보충납급여군보다 납단독급여군이 유의적으로 낮게 나타났으며, 철보충 수준이 높은 군에서 다소 높게 나타났다.

식이섭취량도 납급여군이 대조군보다 감소를 나타내었으며 철보충납급여군의 섭취량이 납단독급여군보다 높은 것으로 나타났다.

식이효율은 납급여군 모두 대조군보다 낮게 나타났다.

납급여서 식이섭취량이 감소하는 것은 납에 의한 식욕 감퇴의 유발때문으로 사료되며, 납이 성장저해를 초래하고, 납급여가 식이섭취에 직접 영향을 주어 사료 섭취를 감소시킨다는 여러 보고들¹²⁻¹⁴⁾과 일치한다. 식이섭취량의 감소 및 흡수장애로 체중 증가량의 감소가 나타나는 것으로 보이며, 체단백이 납의 해독과 헤모글로빈 재생에 필요한 아미노산으로 전환됨으로써 체중감소가 일어난다는 보고¹⁵⁾가 있다.

본 결과로 볼 때, 철의 보충이 식욕 감퇴와 체중증가량의 감소를 완화시킬 수 있을 것으로 사료되는 데, Suzuki와 Yoshida¹⁶⁾는 철보충이 납으로 인한 성장지연을 방지한다는 보고를 한 바 있다.

장기무게

실험동물의 체중 100g당 장기 무게는 Table 4와 같다.

간과 심장은 납급여군과 대조군 사이에 유의적인 차

이를 보이지 않았다. 신장은 납급여군이 대조군보다 크게 나타났으며, 비장은 철보충시에는 대조군과 차이를 나타내지 않았으나 납급여군에서는 유의적으로 크게 나타났다.

이는 김과 유¹⁷⁾의 2,000ppm 납용액을 식수로 급여했을 때 흰쥐의 신장과 비장 무게가 증가하였다는 보고와 유사한 결과이며, Suzuki와 Yoshida¹⁶⁾는 납이 신장의 hypertrophy를 촉진한다고 보고하였다. 본 실험 결과에서는 철보충이 비장 비대의 완화는 보였지만 신장에서는 차이를 나타내지 않았다.

헤마토크릿치와 δ -aminolevulinic acid dehydratase activity

헤마토크릿치는 Table 5에서 보는 바와 같이 철보충 납급여군은 대조군과 차이를 보이지 않았으나, 납단독 급여군은 유의적으로 낮게 나타났다. Klauder와 Petering¹⁸⁾은 35ppm의 철보충시 헤마토크릿치가 대조군보다 유의적인 증가를 보였다는 보고를 하였다. 혈장의 철은 transferrin에 의해 골수의 망상 적혈구까지 이동하며, 망상 적혈구의 특정 부위에 transferrin이 결합되면 ATP와 acetic acid의 도움을 받아 세포내로 이동된 후, 헴 형성에 사용된다. 납은 ferritin과 결합하여 적혈구 세포내로 철이 이동되는 것을 방해함으로써 헴 형성을 저해하는 것으로 알려져 있다¹⁹⁻²¹⁾.

DALAD의 활성은 혈액과 간 모두 납급여군이 대조군보다 유의적인 감소를 보인 반면, 납단독급여군보다 철보충납급여군에서 유의적인 증가를 나타내었으며, 철보충량이 높은 군에서 많은 증가를 보였다. 철의 DALAD 활성억제 정도는 간보다 혈액에서 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 김²²⁾의 보고와 일치한다. DALAD는 헴합성 과정에서 δ -aminolevulinic acid를 porphobilinogen으로 전환시키는 데 이용되는 효소로서, 납은 DALAD의 활성을 저해시킴으로써 헴생성에 지장을 주는 것으로 알려져 있다²³⁾. 철보충납급여군의 헤마토크릿치 증가는 철분이 간과 혈액 중의 DALAD 활성을 증가시킴을 시사하는 것으로 생각된다. Conrad와 Barton²⁴⁾

Table 3. Effect of dietary iron on net weight gain, feed intake and feed efficiency ratio in rats

| Group | Net weight gain | Feed intake | FER |
|-----------------------|--|------------------------|---------------------------|
| | -g- | -g/day- | |
| Control | ¹⁾ 84.9±15.0 ^{2a)} | 20.2±1.0 ^{b)} | 0.120±0.021 ^{a)} |
| Pb | 44.2± 8.4 ^{c)} | 14.3±1.4 ^{c)} | 0.088±0.017 ^{b)} |
| Fe ₁₀₀ -Pb | 54.3± 8.2 ^{b)} | 16.3±1.3 ^{b)} | 0.095±0.014 ^{b)} |
| Fe ₅₀₀ -Pb | 57.0±10.0 ^{b)} | 16.7±1.2 ^{b)} | 0.098±0.017 ^{b)} |

¹⁾ Mean±SE

²⁾ Values with different superscripts in the same column are significantly different each other at 5% level

Table 4. Effect of dietary iron on wet weight of liver, kidney, heart and spleen in rats

(g/100g body weight)

| Group | Liver | Kidney | Heart | Spleen |
|-----------------------|--|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Control | ¹⁾ 2.86±0.14 ^{NS)} | 0.67±0.07 ^{2b)} | 0.35±0.03 ^{NS)} | 0.34±0.08 ^{b)} |
| Pb | 2.88±0.19 | 0.79±0.10 ^{b)} | 0.34±0.02 | 0.41±0.07 ^{b)} |
| Fe ₁₀₀ -Pb | 2.85±0.29 | 0.82±0.05 ^{b)} | 0.35±0.04 | 0.36±0.04 ^{a)} |
| Fe ₅₀₀ -Pb | 2.78±0.21 | 0.85±0.13 ^{b)} | 0.32±0.02 | 0.33±0.09 ^{a)} |

¹⁾ Mean±SE ^{NS)} Not significantly different at 5% level

²⁾ Values with different superscripts in the same column are significantly different each other at 5% level

는 철 보충시는 철이 납흡수를 저해함으로써 섭취한 납에 역효과를 주어 빈혈을 방지하는 것으로 설명하고 있다.

혈청 alanine aminotransferase와 aspartate aminotransferase의 활성

혈청 alanine aminotransferase (ALT)와 aspartate aminotransferase (AST)의 활성은 Table 6에 나타내었다.

ALT와 AST 모두 대조군보다 납단독투여군에서 유의적인 증가를 나타냈으며, 철보충납급여군에서는 대조군과 비슷한 경향을 보였고, 철보충량이 높은 군에서 다소 낮은 경향을 보였다.

Table 5. Effect of dietary iron on hematocrit value, blood and liver δ -aminolevulinic acid dehydratase activity in rats

| Diet group | Hematocrit | DALAD activity | |
|-----------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| | | Blood | Liver |
| | - % - | - $\mu\text{mol PBC/ml RBC/min}$ - | - $\mu\text{mol PBC/g/min}$ - |
| Control | 42.2 ± 4.7^{2a} | 56.1 ± 4.2^2 | 176.3 ± 18.9^3 |
| Pb | 34.9 ± 1.7^b | 12.7 ± 1.2^d | 115.4 ± 3.3^d |
| Fe ₁₀₀ -Pb | 39.0 ± 2.7^a | 19.0 ± 1.2^c | 130.5 ± 3.9^c |
| Fe ₅₀₀ -Pb | 40.4 ± 2.6^a | 22.0 ± 1.1^b | 136.0 ± 5.0^b |

¹⁾ Mean \pm SE

²⁾ Values with different superscripts in the same column are significantly different each other at 5% level

Table 6. Effect of dietary iron on serum alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST) activities in rats (Karmen unit/ml)

| Groups | ALT | AST |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
| Control | 114.42 ± 2.42^{2c} | 59.80 ± 4.30^b |
| Pb | 22.30 ± 2.50^b | 70.30 ± 12.70^b |
| Fe ₁₀₀ -Pb | 18.82 ± 2.58^{ab} | 64.02 ± 5.62^a |
| Fe ₅₀₀ -Pb | 16.76 ± 1.24^a | 62.56 ± 2.44^a |

¹⁾ Mean \pm SE

²⁾ Values with different superscripts in the same column are significantly different each other at 5% level

Table 7. Effect of dietary iron on lead contents in serum and liver in rats

| Diet group | Serum | Liver |
|-----------------------|----------------------|---------------------|
| | - ppm - | - $\mu\text{g/g}$ - |
| Control | 0.58 ± 0.04^{2a} | 1.02 ± 0.13^a |
| Pb | 5.46 ± 0.48^b | 6.27 ± 1.31^b |
| Fe ₁₀₀ -Pb | 4.93 ± 0.31^b | 9.61 ± 1.56^c |
| Fe ₅₀₀ -Pb | 4.41 ± 0.31^b | 8.33 ± 0.81^c |

¹⁾ Mean \pm SE

²⁾ Values with different superscripts in the same column are significantly different each other at 5% level

Aminotransferase는 간세포의 변성이나 괴사를 반영하는 효소로 간조직 손상시 혈중으로 유출되어 활성이 증가한다²⁵⁾. 본 결과로서는 철 보충이 간조직의 손상이나 세포투과성 변화를 어느 정도 안정화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

혈청과 간의 납함량

혈청과 간의 납함량은 Table 7에서 보는 바와 같이, 대조군보다 납급여군에서 높게 나타났으며, 철보충에 따른 차이는 나타나지 않았다. 간의 경우도 대조군보다 납급여군에서 증가했으며, 철보충납급여군이 납단독급여군보다 높게 나타났다.

이는 Carol과 Matilda²⁶⁾가 FeSO₄를 경구 투여했을 때 혈청 납함량이 증가하였다는 보고와 일치하는 것으로, 납은 ceruloplasmin의 활성을 약하게 하여 철의 이동과 이용에 지장을 주므로¹⁸⁾ 철의 보충만으로는 철이용에 도움을 주지는 않을 것으로 생각되며, ceruloplasmin에 관련이 있는 단백질, 구리 등의 영양소의 동시 보충이 요구되는 것으로 사료된다.

Suzuki와 Yoshida¹⁶⁾는 철을 보충하였을 때 간의 납함량이 감소하였다는 상반된 결과를 보고한 바 있다.

혈청과 간의 철 및 구리함량

혈청과 간의 철함량은 Table 8과 같다.

혈청 철함량은 납급여군이 대조군 보다 감소했으나, 간의 철함량은 납급여군에서 높게 나타났으며, 철보충 납급여군이 납단독급여군보다 증가를 보였고, 철보충량이 많은 군에서 높은 경향을 보였다.

이는 Klauder와 Petering¹⁸⁾이 철을 보충하였을 때, 간의 철함량은 크게 증가하였으나 혈청 철은 정상으로 회복되지 않았다고 보고하면서, 철은 혈류로 전이·이동될 때는 납의 방해작용을 받으나, 장내의 흡수 부위에서는 철의 결합이 납의 결합보다 용이하므로 납이 철의 흡수를 방해하지 못하기 때문으로 설명한 것과 유사하다.

납에 노출되면 간과 신장에 핵붕입체가 형성될 때 철이 그 구성성분으로 들어가게 되므로 간과 신장의 철함량이 증가한다는 보고²⁷⁾도 있다. 철은 납보다 장내 흡수 부위에서의 결합이 용이하므로 흡수를 방해받지는 않으나, 납은 간장조직에 저장되어 있던 철이 이용되는데 필요한 ceruloplasmin의 활성을 약하게 하므로 철의 이동에 장애가 일어나, 혈청의 철함량은 떨어지고 간장의 철함량은 높아지는 것으로 설명되고 있다¹⁸⁾. 이로써 간의 철 저장량이 증가한다해도 철의 이동과 이용에 도움

Table 8. Effect of dietary iron on iron and copper contents in serum and liver in rats

| Diet group | Iron | | Copper | |
|-----------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | Serum | Liver | Serum | Liver |
| | - ppm - | - $\mu\text{g/g}$ - | - ppm - | - $\mu\text{g/g}$ - |
| Control | ^a 12.25 \pm 0.40 ^{ab} | 10.82 \pm 0.71 ^a | 0.41 \pm 0.08 ^a | 7.53 \pm 1.00 ^a |
| Pb | 6.65 \pm 0.79 ^b | 15.92 \pm 1.70 ^b | 0.37 \pm 0.05 ^{ab} | 8.28 \pm 0.91 ^a |
| Fe ₁₀₀ -Pb | 6.19 \pm 0.41 ^b | 17.00 \pm 2.76 ^{bc} | 0.22 \pm 0.02 ^b | 6.17 \pm 1.23 ^b |
| Fe ₅₀₀ -Pb | 6.55 \pm 0.50 ^b | 18.70 \pm 3.22 ^c | 0.28 \pm 0.05 ^b | 5.64 \pm 1.02 ^b |

¹Mean \pm SE

²Values with different superscripts in the same column are significantly different each other at 5% level

을 주는 변인들이 작용하지 않으면 철 저장량의 증가는 생리적인 도움을 줄 수 없는 것으로 사료된다.

Suzuki와 Yoshida¹⁶⁾의 납급여시 빈혈은 관찰되나 조직의 철 함량 감소는 나타나지 않았다는 보고도 이를 뒷받침해 주고 있다.

본 결과에서 철보충납급여군에서 간의 납함량이 증가하였지만 철함량이 동시에 증가함으로써, DALAD 활성을 저하시키는 납의 작용을 억제할 수 있었던 것이 아닌가 한다.

혈청과 간의 구리 함량은 Table 8에 나타내었다.

혈청과 간의 구리 함량은 납단독급여군은 대조군과 차이를 보이지 않았으나, 철보충납급여군에서는 대조군보다 낮게 나타났다. 간의 구리함량은 철보충량이 많은 군에서 더 낮게 나타났다.

여러보고^{17,20)}에서 납급여로 인해 혈청과 간의 구리함량이 감소하고 이는 ceruloplasmin의 활성 감소를 초래하여 철이 transferrin으로 병합하는 데 중요한 과정인 Fe⁺⁺에서 Fe⁺⁺⁺로의 산화에 영향을 받게되므로, 헤마토크릿치와 헤모글로빈 함량이 감소하게 되어 저혈구성빈혈, 저색소성 빈혈이 발생하게되는 것으로 설명하고 있다. Klauder와 Petering¹⁸⁾은 500ppm의 납을 급여하면서 40ppm의 철을 보충한 흰쥐에서는, 흡수 부위가 비슷한 철이 구리의 흡수를 방해하므로 ceruloplasmin의 활성과 혈청 구리의 함량이 감소하였음을 보고하였는데, 이는 본 실험결과와 일치된다.

요 약

철보충이 납중독된 흰쥐의 체내 무기질 함량과 DALAD activity 및 해독에 미치는 영향을 관찰하기 위해, 흰쥐에게 납 2,000ppm을 함유한 식수를 제한없이 주면서, 철분 100ppm, 500ppm을 보충한 식이로 5주동안 사육하여 얻은 결과는 다음과 같다. 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율은 납급여군이 대조군보다 낮게

나타났으며, 철보충납급여군은 납단독급여군보다 높은 것으로 나타났다. 간과 심장의 무게는 차이를 보이지 않았으나, 신장은 납급여군이 대조군보다 증가를 보였다. 비장은 납단독급여군에서만 증가를 보였고, 철보충납급여군에서는 대조군과 차이를 보이지 않았다. 헤마토크릿치는 철보충납급여군에서는 대조군과 차이를 보이지 않았으나, 납단독급여군은 유의적인 감소를 보였다. DALAD activity는 혈액과 간 모두 납급여군에서 대조군보다 유의적인 감소를 보였으나, 납단독급여군보다는 철보충납급여군이 높게 나타났고, 철보충수준이 높을수록 높게 나타났다. 혈청과 간의 aminotransferase activity는 철보충납급여군에서는 대조군과 비슷한 경향을 보였으나 납단독급여군에서는 유의적인 증가를 보였다. 혈청 납함량은 납단독급여군과 철보충납급여군 사이에 차이를 보이지 않았으나, 간의 납함량은 철보충납급여군이 납단독급여군보다 높게 나타났다. 혈청 철함량은 납급여군이 대조군보다 감소했으나, 간의 철함량은 납급여군에서 높게 나타났으며, 철보충납급여군이 납단독급여군보다 증가를 보였다. 혈청과 간의 구리함량은 납단독급여군은 대조군과 차이를 보이지 않았으나, 철보충납급여군은 감소를 보였다.

문 헌

1. Aub, J. C., Fairhall, L. T., Minot, A. S. and Reznikoff, P. : Lead poisoning. *Medicine*, **4**, 1 (1925)
2. Thompson, J. J. and Beasley, W. H. : The effects of metal ions of δ -aminolevulinic acid dehydratase. *Brit. J. Ind. Med.*, **32**, 32 (1977)
3. Augusta, A. M., Lornald, M. and Uthman, E. : Influence of dietary factors of blood tissue lead. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **41**, 361 (1977)
4. 윤혜정 : 납중독에 있어서 δ -aminolevulinic acid dehydratase의 효과에 관한 연구. *J. Pharm. Sci. Korea*, **19**, 21 (1975)
5. Six, K. M. 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)
6. Edward, J. C. : *Nutrition and environmental health*. Wiley-Interscience Publication, New York, p.65 (1981)
 7. Cerklowski, F. N. and Forbes, R. M. : Influence of dietary selenium on lead toxicity in the rat. *J. Nutr.*, **106**, 778 (1976)
 8. Weissberg, J. B., Lipschutz, F. and Oski, F. : δ -aminolevulinic acid dehydratase activity in circulating blood cells. *J. Med.*, **284**, 555 (1971)
 9. Reitman, S. and Frankel, S. : A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxaloacetic and glutamic pyruvic transaminase. *Am. J. Clin. Pathol.*, **28**, 58 (1957)
 10. Heckman, M. : Mineral in feeds by atomic absorption spectrophotometry. *J. A.O.A.C.*, **51**, 776 (1968)
 11. Steel, R. G. and Torrie, J. H. : *Principles procedures of statistics*. McGraw-Hill Book Co., New York (1980)
 12. 김옥경, 서정숙, 이명환 : 단백질 공급과 수준을 달리 한 식이가 흰쥐의 납 축적에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **19**(4), 211 (1986)
 13. Mylroie, A. A., Moore, L. and Uthman, E. : Influence of dietary factors on blood and tissue lead concentrations and lead toxicity. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **41**, 361 (1977)
 14. Wapnir, R. A., Exeni, R. A., Mcvicar, M. and Lifshitz, F. : Experimental lead poisoning and intestinal transport of glucose, amino acid and sodium. *Pediat. Res.*, **11**, 153 (1977)
 15. Quarterman, J., Morrison, J. N. and Humphries, W. R. : The effects of dietary lead content and food restriction on lead retention in rats. *Environ. Res.*, **12**, 180 (1976)
 16. Suzuki, T. and Yoshida, A. : Effect of dietary supplementation of iron and ascorbic acid on lead toxicity in rats. *J. Nutr.*, **109**, 982 (1979)
 17. 김양선, 유정열 : 유년기 백서의 단백질 부족이 성장 후 납중독에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **18**(4), 318 (1985)
 18. Klauder, D. S. and Petering, H. G. : Anemia of lead intoxication : A role for copper. *J. Nutr.*, **107**, 1779 (1977)
 19. Chisolm, J. J. : Recommendations for the prevention of lead poisoning in children. *Nutr. Rev.*, **34**(11), 321 (1976)
 20. Moore, M. R., Goldberg, A. and Yeung-Laiwah, A. A. : *Lead effects on the heme biosynthetic pathway*. Annals New York Academy of Sciences, p.191 (1987)
 21. Chisolm, J. J. : Lead poisoning. *Scientific American*, **224**, 15 (1971)
 22. 김운영 : 납중독에 있어서 고려 인삼근 수침액의 해독효과에 관한 연구 (I). *중대논문집*, p.183 (1983)
 23. Vallee, B. L. and Ulmer, D. D. : Biochemical effects of mercury, cadmium and lead. *Arch. Biochem. Biophys.*, **144**, 91 (1972)
 24. Conrad, M. E. and Barton, J. C. : Factors affecting the absorption and excretion of lead in the rat. *Gastroenterology*, **74**, 731 (1978)
 25. Takeda, Y., Ichihara, A., Tanioka, H. and Inoue, H. : The biochemistry of animals cells, the effect of corticosteroids on leakage of enzyme from dispersed rat liver cells. *J. Biol. Chem.*, **239**, 3590 (1964)
 26. Carol, R. and Matilda, S. M. : Blood lead of iron deficient children—increase following iron supplementation. *Behavioral Sciences and Health Care*, **1**, 257 (1975)
 27. Galle, P. and Morel-Marager, L. : The anemia of lead poisoning. *Nephron*, **2**, 272 (1965)
 28. Cerklowski, F. L. and Forbes, R. M. : Influence of dietary copper on lead toxicity in the young male rat. *J. Nutr.*, **107**, 143 (1977)

(1993년 10월 12일 접수)