

식이성 아연과 카드뮴이 흰쥐의 체내 지질대사에 미치는 영향

이미경 · 조수열[†] · 박은미 · 김명주

영남대학교 식품영양학과

The Effect of Dietary Zinc on Lipid Metabolism in Cadmium Treated Rats

Mi-Kyung Lee, Soo-Yeul Cho[†], Eun-Mi Park and Myung-Joo Kim

Dept. of Food and Nutrition, Yeungnam University, Kyungsan 712-749, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of dietary levels of zinc (Zn) on lipid metabolism in cadmium (Cd) treated rats. Sixty male Sprague-Dawley rats weighing about 110 ± 10 g were divided into 6 groups. The Zn levels were low (0ppm), control (30ppm) and high (300ppm) and Cd-treated groups were administered with Cd chloride (5.0mg/kg of body weight) by oral intubation at the same time once a week. Serum total lipid, triglyceride, total cholesterol and HDL-cholesterol contents decreased significantly in low Zn group. In serum dietary high Zn group, it decreased significantly in the content of triglyceride but total cholesterol and HDL-cholesterol revealed increase slightly. Total lipid and triglyceride contents increased by Cd oral intubation, but triglyceride content of control group decreased significantly in Cd-treated groups. HDL-cholesterol content also decreased by Cd oral intubation. Cd-treatment increased total cholesterol content in low Zn group. Liver triglyceride content increased as dietary Zn level became more increasing and total lipid was not influenced by dietary Zn levels. Liver cholesterol content was higher in low and high Zn groups than that of control group. Liver phospholipid content decreased in low Zn group. Oral intubation of Cd increased in the contents of triglyceride and total lipid. The content of liver Zn was not influenced by the dietary low Zn but that of serum showed a remarkable increase. Oral Cd intubation increased the Cd contents of liver and serum.

Key words : dietary Zn, Cd, lipid metabolism

서 론

식이성 아연은 여러 효소들의 구성원소 및 조효소로서 생체에서 metalloenzyme으로 작용하는데 아연의 결핍증세로는 빈혈, 간과 비장의 중량 감소, 식욕감퇴 및 성장정지 등이 보고¹⁾되어 있다. 과량의 아연 섭취는 구토를 초래하며 발열, 빈혈, 전해질 불균형 등의 증상을 나타낸다. 또한 아연의 생리적 기능 중 하나는 체내 당질 및 지질대사에 관여하는 것이다²⁾.

최근 아연과 지질대사의 관계에 대한 연구를 보면 아연이 결핍된 흰쥐의 경우 장내에서 중성지방의 흡수가 현저히 감소되었고³⁾ 식이성 아연의 섭취량이 적을수록 혈청과 간의 지방함량이 감소하는 경향이었으며

"아연 결핍식으로 사육된 흰쥐의 경우 chylomicron을 구성하는 단백질 합성에 영향을 미쳐 지질흡수를 저해하는 것으로 보고⁴⁾되어 있다. 또한 과잉의 아연 공급은 혈청 HDL-cholesterol 함량을 유의적으로 감소시키므로 아연의 과잉공급은 atherogenic 하다는 보고⁵⁾가 있어 아연함량과 지질대사와의 관심이 모아지고 있다.

카드뮴은 독성이 강한 중금속으로 체내에 흡수되면 Zn-metallotioneine을 합성하여 무독화되거나 간과 신장에 축적되기도 한다. 카드뮴이 체내에 미치는 영향으로서 카드뮴이 많이 오염된 환경에서는 혈액순환에 영향을 미쳐 고혈압 등 순환기계통 환자들의 사망율이 높다는 보고⁶⁾ 및 구리, 철, 아연 등의 2가 이온의 흡수를 방해하므로 카드뮴이 빈혈을 초래하는 것으로 보고

[†]To whom all correspondence should be addressed

되어 있다.

식이성 아연의 섭취상태와 카드뮴 독성과의 관련성에 관한 연구로는 아연이 카드뮴의 독성을 억제하였다는 Goering과 Klaassen의 보고⁹⁾와 흰쥐에 있어 카드뮴 투여로 상승된 혈압이 아연 공급으로 정상치가 되었으며¹⁰⁾, 다량의 아연은 카드뮴의 발암작용을 촉진¹⁰⁾하거나 억제¹¹⁾할 수 있다고 알려져 있으나 그 기전과 생화학적 측면에서의 연구는 미비하다. 또한 식이성 아연 결핍은 준임상적이나 최저 적정수준일 때 사람에게 있어 질병을 유발한다는 것이 일반적 견해일 뿐 아연 결핍시에 관하여서는 명확히 알려져있지 않다.

따라서 본 연구에서는 식이성 아연이 지질대사에 미치는 영향을 검토하고자 카드뮴을 투여한 후 아연의 수준을 달리 공급한 흰쥐의 혈청과 간조직 중의 지질 함량을 비교한 바를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험동물 사육 및 식이

실험동물은 Sprague-Dawley종의 이유한 음성 흰쥐 60마리를 10일간 기본식으로 적응시킨 후, 평균체중이 110±10g인 것을 난괴법에 의해 6군 (Table 1)으로 나누어 stainless steel cage에 한마리씩 분리하여 6주간 사육하였다. 실험동물 사육시 일어날 수 있는 무기질의 오염을 방지하기 위하여 실험 시작 전 사육에 필요한 모든 기구는 0.4% EDTA용액으로 세척하여 사용하였다. 기본식은 AIN-76¹²⁾(Table 2)에 따랐으며 단백질

Table 1. Experimental groups

Group ¹⁾	Zn(ppm) ²⁾	Administration Cd ³⁾
LZn	0	-
LZn-Cd	0	+
CZn	30	-
CZn-Cd	30	+
HZn	300	-
HZn-Cd	300	+

¹⁾ LZn : Low zinc

LZn-Cd : Administration cadmium, low zinc

CZn : Control zinc

CZn-Cd : Administration cadmium, control zinc

HZn : High zinc

HZn-Cd : Administration cadmium, high zinc

²⁾ Zinc : ZnCO₃(Sigma Co.)

Rats were fed on diet containing three levels of zinc carbonate (0, 1.6, 16g/kg salt mixture)

³⁾ Cadmium : CdCl₂ · 2 1/2H₂O(Sigma Co.)

Rats were administrated oral intubation with cadmium chloride (5.0mg/kg body weight) at the same time once a week and sacrificed after 24hrs from the last oral intubation of Cd

질 공급으로는 아연이 제한된 egg white (Teklad, Co. 미국)를 공급하였고 물은 3차 증류수로 제한없이 공급하였다.

혈액의 분리 및 간의 적출

6주간 사육한 흰쥐를 마취시켜 개복하고 복부대동맥으로부터 채혈하여 실온에서 30분간 방치시킨 후 600 Xg에서 10분간 원심분리하여 혈청을 얻어 분석실험에 사용하였다. 간조직은 채혈 직후 냉냉의 0.25M sucrose 액으로 간을 관류하여 조직내에 남아 있는 혈액을 제거한 다음 적출하여 이를 생리식염수로 씻어내고 여과지로 수분을 제거한 뒤 사용하였다.

혈청 및 간조직중의 지질함량 측정

혈청 total lipid 함량은 Frings와 Dunn법¹³⁾에 준하여 혈청 0.1ml를 취해 c-H₂SO₄ 2.0ml를 넣고 혼합한 후 5~10분간 식혀, 그 혼합액 0.1ml를 취한 다음 phosphovanillin액 5.0ml를 넣어 혼합 후 37°C에서 15분간 가온하여 냉각시킨 후 540nm에서 흡광도를 측정하고 계산식에 의해 함량을 구하였다. Triglyceride 함량은 Muller의 방법¹⁴⁾에 준한 효소법으로, triglyceride 측정용 Kit

Table 2. Composition of basal diet

Ingredients	Content (%)
Dried egg white	20.0
Corn starch	50.0
Sucrose	15.0
Cellulose ¹⁾	5.0
Corn oil	5.0
AIN-mineral mixture ²⁾	3.5
AIN-vitamin mixture ³⁾	1.0
DL-Methionine	0.3
Choline chloride	0.2

¹⁾ Cellulose : Sigma Co.

²⁾ Mineral mixture (g/kg min. mix.) according to AIN-76

Calcium phosphate, dibasic	500.0	Zinc carbonate	1.6
Sodium chloride	74.0	Cupric carbonate	0.3
Potassium citrate, monohydrate	220.0	Potassium iodate	0.01
		Sodium selenite	0.01
Potassium sulfate	52.0	Chromium potassium sulfate	
Manganese carbonate	3.5		0.55
Magnesium oxide	24.0	Ferric citrate	6.0
		Powdered to make	1000.0g

³⁾ Vitamin mixture (g/kg vit. mix.) according to AIN-76

Thiamin-HCl	0.6	Biotin	0.02
Riboflavin	0.6	Cyanocobalamin	0.001
Pyridoxine-HCl	0.7	Retinyl acetate	0.8
Nicotinic acid	3.0	DL-tocopherol	3.8
Ca-pantothenate	1.6	7-dehydrocholesterol	0.0025
Folic acid	0.2	Menadione	0.005
		Powdered to make	1000.0g

(Eiken Co.)를 사용하여 측정하였으며, total cholesterol 함량은 효소법¹⁵⁾에 의한 Kit(Eiken Co.)를 사용하여 측정하였다. HDL-cholesterol 함량은 Richmond방법¹⁵⁾에 준한 효소법에 의한 Kit(Eiken Co.)를 사용하여 측정하였다.

간조직의 지질 함량은 간조직 1.0g을 glass teflon homogenizer를 사용하여 0.15M NaCl로 10% 조직막쇄액을 만든 후 Folch법¹⁶⁾에 준하여 chloroform : methanol (C : M) 혼합액으로써 지질을 추출하여 각종 지질성분을 정량하였다. Total lipid 함량은 C : M 추출액 0.5ml를 휘발시킨 후 혈청 total lipid와 동일한 방법으로 측정하였으며, cholesterol 함량은 C : M 추출액 2.0ml를 휘발시킨 후 Zak-Dickman법¹⁷⁾으로 측정하였다. Triglyceride 함량은 C : M 추출액 0.5ml를 휘발시킨 후 혈청과 동일한 방법¹⁸⁾으로 측정하여 계산식에 의해 그 함량을 구하였고 phospholipid 함량은 Eng과 Noble¹⁹⁾의 방법에 준하여 측정하였다.

조직 및 혈장중의 무기질 함량

간조직과 혈청 중의 아연과 카드뮴 및 구리의 함량은 Thomson과 Blanchflower²⁰⁾ 방법에 의하여 atomic absorption spectrophotometry (Thermo Jarrell Ash 12)로 측정하였다.

조직 중의 무기질 측정은 Kjeldahl flask에 조직 1.0g을 취하여 진한 질산과 과염소산을 가하여 산분해시켜 역과하여 시료로 사용하였다. 혈청은 1.0ml을 취하여 증류수로 희석하여 조직과 동일한 방법으로 처리한 후 아연은 213.9nm, 카드뮴 228.8nm와 구리는 324.8nm에서 흡광도를 측정하였다.

통계처리

실험 성적은 실험군마다 평균±표준편차로 표시하였고 각 군간의 평균치의 통계적 유의성은 $\alpha=0.05$ 수

준에서 Duncan's multiple test²⁰⁾에 의해 검정하였다.

결과 및 고찰

혈청중의 total lipid, triglyceride, total cholesterol과 HDL-cholesterol 함량변화

실험식이와 카드뮴 투여로 사육한 흰쥐의 혈청 중 total lipid (TL), triglyceride (TG), total cholesterol (TChol)과 HDL-cholesterol (HDL-Chol)의 성적은 Table 3과 같다.

혈청 중의 TL 함량은 아연결핍군이 정상군에 비하여 유의적으로 감소되었으며, 과잉군은 변화가 없었다. 또한 카드뮴 투여시 혈청 TL 함량은 증가되는 경향이 나 유의적이지는 않았다. 이는 카드뮴이 reacylation 기전을 손상시키므로써 arachidonic acid의 축적을 유발하여 일어난 것으로 생각된다. 식이성 아연 결핍은 arachidonic acid 함량을 낮추고 아연 공급으로 docosahexaenoic acid가 유의적으로 증가한다는 Cunnane의 보고²¹⁾와 같으며, 본 실험의 결과는 아연 결핍에 비하여 아연 과잉공급이 카드뮴으로 인한 혈중 TL 함량증가를 억제할 수 있을 것으로 나타났다.

혈청내 TG 함량은 식이성 아연 결핍과 과잉시 정상군에 비하여 유의적으로 감소되었다. 이는 Koo와 Turk의 아연 결핍시 TG의 소화과정은 정상이나 췌장 lipase 활성이 유의적으로 감소되므로써 흡수를 저해하고, 또한 chylomicron 생성에 영향을 미쳐 장점막 세포내에 lipid droplets의 축적을 일으키므로써 혈청 TG 함량 감소가 초래되었다는 보고²²⁾로 뒷받침된다. 카드뮴 투여는 정상군의 TG 함량을 유의적으로 감소시켰으며, Cd 투여시 아연 결핍과 과잉시에는 Zn이 정상으로 공급된 Cd 투여군에 비하여 유의성은 나타나지 않았으나 다소 높아지는 경향으로 이것은 Hove 등의 보고²²⁾와 유사한 결과이다.

Table 3. Effect of dietary Zn level on serum total lipid, triglyceride, total cholesterol and HDL-cholesterol content in Cd-treated rats (mg/dl)

Group	Total lipid	Triglyceride	Total cholesterol	HDL-cholesterol
LZn	123.83±15.85 ^a	23.69±1.91 ^b	50.37±5.05 ^c	17.71±2.38 ^c
LZn-Cd	146.64±16.90 ^{bc}	24.30±3.48 ^b	70.13±7.64 ^d	16.91±2.82 ^c
CZn	162.20±33.61 ^{ab}	26.80±2.80 ^b	59.78±7.36 ^b	25.63±3.68 ^d
CZn-Cd	177.58±22.51 ^a	21.49±2.00 ^a	55.63±9.53 ^{bc}	20.25±6.16 ^{bc}
HZn	162.01±20.07 ^{ab}	22.70±3.68 ^b	61.60±6.86 ^b	26.27±3.82 ^d
HZn-Cd	168.26±22.83 ^{ab}	23.32±4.16 ^b	60.07±5.96 ^b	23.11±3.07 ^{bc}

Values are mean±S.D. (n=6)

Values with a common superscript letter within the same column are not significantly different ($p < 0.05$)

혈청 TChol 함량은 아연결핍군이 정상군에 비해 유의적으로 감소하였으며 아연 과잉시는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 본 실험에서 아연 과잉에 대한 결과는 혈청 지질 중 total, free, esterified Cholesterol 함량이 증가되는 경향이나 유의성이 없었다는 Peter 등의 보고²³⁾와 일치하나, 아연의 과잉공급시 Zn/Cu비가 증가되어 간으로부터 혈액내로 Cholesterol 방출이 증가되었기 때문에 TChol 함량을 증가시킨다는 보고²²⁾와 상이한 결과이다. 아연은 구리와 길항적인 특성이 있으므로 과잉의 아연은 구리의 흡수를 저해하여 TChol 함량을 증가시켜 동맥경화 유발 요인이 된다는 보고²⁴⁾도 있으나 본 실험의 결과에서는 나타나지 않았다.

아연결핍군의 혈청 TChol 함량이 감소된 것은 Koo와 Dale의 보고²⁵⁾와 일치하며, 이것은 HDL-Cholesterol 함량의 감소에서 기인한 것으로 볼 수 있다. 카드뮴 투여시 아연 결핍군의 함량이 모든 군에 비하여 유의적으로 증가되었으며, 아연 과잉공급군은 카드뮴 투여시 그 함량이 정상군치에 가깝게 회복되었다. 따라서 아연 과잉공급은 카드뮴 독성으로 인한 지질대사 이상을 억제시킨 것으로 생각된다.

식이성 아연 공급수준에 따른 혈청 HDL-Cholesterol 함량은 정상군에 비하여 결핍군에서 유의적으로 감소되었으며, 과잉시 유의적인 차이는 나타나지 않았다. HDL-Cholesterol 함량이 높으면 간 이외의 조직 Cholesterol을 간으로 운반하여 Cholesterol의 분해 및 배설을 촉진하므로써 관상심장 질환의 발병 위험을 낮추는 지단백으로 보고되어 있다.

카드뮴 투여로 HDL-Cholesterol 함량은 감소 경향을 나타내었으며, 아연결핍군에 비하여 과잉군에서의 감소 정도가 유의적으로 억제되었는데 이는 김과 승의 보고²⁶⁾와 일치하는 결과이다. 따라서 본 실험에서 아연 결핍보다 아연의 공급이 카드뮴 독성으로 인한 체내 혈청 중 지질대사의 변화를 완화시킬 수 있을 것으로 생각되어진다.

간조직중 total lipid, triglyceride, cholesterol과 phospholipid 함량변화

흰쥐에 있어 카드뮴 투여와 아연의 수준별 공급에 따른 간조직 중의 total lipid(TL), triglyceride(TG), cholesterol(Chol)과 phospholipid(PL)에 미치는 영향은 Table 4와 같다.

간조직 중의 TL 함량 변화는 식이성 아연 결핍과 과잉군이 정상군 보다 감소되는 경향이었다. 카드뮴 투여로 TL 함량은 증가하는 경향이었으며, 특히 아연 결핍과 과잉시는 그 증가가 유의적인 차이가 나타나므로써 아연의 공급수준은 카드뮴으로 인한 간지질대사 변화에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 이는 황과 김의 보고²⁷⁾에서 아연 섭취가 낮은 수준일 때 지방함량이 감소한다는 보고와 일치하며 아연 결핍시 단백질 합성과 관련된 세포 소기관의 구조적 변화가 일어나 이로 인한 chylomicron 형성에 요구되는 단백질 합성의 손상으로 지질이 장점막 세포를 통과하지 못하고 축적되어 흡수가 지연되기 때문²⁸⁾이라는 보고로 뒷받침된다.

간조직 중의 TG 함량은 정상군에 비하여 아연결핍군은 감소하였으며 과잉군은 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 식이성 아연이 간의 TG 함량에 영향을 미치지 않았다는 보고²⁹⁾와는 상반된 결과이나 Philip 등의 보고³⁰⁾와는 일치되는 경향이다. 카드뮴 투여에 따른 간조직의 TG 함량은 각군 모두 증가하는 경향이었으며 특히 과잉군에서 그 증가가 현저하게 나타났다.

간조직 중의 Cholesterol 함량은 정상군에 비하여 아연결핍군과 과잉군 모두 유의적으로 증가되었다. 이 결과는 혈청내 Cholesterol 함량의 감소는 조직내 축적이 증가된 때문으로 아연 결핍시에도 과잉군과 마찬가지로 Cholesterol 함량이 증가하였다는 보고³⁰⁾와 같은 경향이었다. 또한 카드뮴 투여는 간의 Cholesterol 함량을 유의적으로 감소시켰는데 이는 카드뮴이 간에 축적되므로써 간의 Cholesterol 합성을 저해한 때문으로 생각된다.

Table 4. Effect of Zn on liver triglyceride, total lipid, cholesterol and phospholipid content in Cd-treated rats

(mg/dl)				
Group	Total lipid	Triglyceride	Cholesterol	Phospholipid
LZn	47.34±9.89 ^b	7.16±1.66 ^c	3.65±0.48 ^a	12.17±1.04 ^c
LZn-Cd	56.32±5.63 ^a	8.46±1.20 ^b	2.83±0.18 ^b	12.84±0.30 ^c
CZn	54.63±6.40 ^{ab}	8.88±1.19 ^{ab}	3.07±0.18 ^b	13.44±0.69 ^{bc}
CZn-Cd	61.86±5.21 ^a	9.26±1.74 ^{ab}	2.52±0.15 ^c	15.04±1.91 ^a
HZn	48.47±6.33 ^b	9.47±1.43 ^{ab}	3.57±0.26 ^a	14.73±1.45 ^{ab}
HZn-Cd	57.47±6.46 ^a	10.67±1.83 ^a	2.36±0.20 ^c	12.78±0.67 ^c

Values are mean±S.D. (n=6)

Values with a common superscript letter within the same column are not significantly different (p<0.05)

간조직내 PL 함량은 식이성 아연결핍군이 정상군 보다 감소하는 경향인 반면 과잉군은 정상군에 비하여 증가하는 경향이었다. 카드뮴 투여는 정상군에 비하여 결핍과 과잉시 모두 PL의 함량을 유의적으로 감소시켰다. 본 실험의 결과는 아연 결핍시 PL의 감소가 있다는 Philip 등의 보고²⁹⁾와 일치하나 과잉시에는 상반되는 결과를 나타내고 있는데, 이는 과잉공급된 아연량의 차이에 따른 결과로 생각된다.

각 장기 및 혈청의 아연, 카드뮴 및 구리의 함량

식이성 아연과 카드뮴 투여로 6주간 사육한 흰쥐의 간과 혈청의 아연·카드뮴 및 구리의 함량변화를 Table 5에 나타내었다.

아연 결핍은 간의 아연 함량을 유의적으로 변화시키지는 않았으나^{21,30)}, 과잉시에는 아연 축적이 유의적으로 일어났다. 또한 카드뮴은 각군의 아연 함량을 유의적으로 증가시켰으며 특히 아연과잉에 비하여 결핍시 함량 증가가 높게 나타났다. 간의 카드뮴 함량은 아연 공급수준에 따른 차이는 나타나지 않았으나, 카드뮴 투여시 유의적이었는데 이는 카드뮴의 흡수가 대부분 간에서 이루어지기 때문³¹⁾이다. 아연과잉군에 카드뮴 투여시 카드뮴 함량을 유의적으로 감소시켰으므로 본 실험에서 카드뮴과 아연의 상호작용에 의한 영향은 유의적인 것으로 나타났다³²⁾. 간의 구리 함량은 식이성 아연수준과 유의적이지는 않았으나 아연 결핍시 증가하는 경향이었으며, 카드뮴은 구리 함량을 증가시키는 경향이었다.

Table 5. Effect of dietary Zn level on Zn, Cd and Cu contents in liver and serum in Cd-treated rats

	Zn	Cd	Cu
Liver ¹⁾			
LZn	2.24±0.38 ^c	0.04±0.01 ^d	0.41±0.07 ^{ab}
LZn-Cd	3.47±0.46 ^{ab}	0.39±0.11 ^a	0.46±0.35 ^a
CZn	2.63±0.29 ^c	0.04±0.01 ^d	0.40±0.06 ^{bc}
C-Zn-Cd	3.76±0.40 ^{ab}	0.71±0.11 ^a	0.41±0.03 ^{ab}
H-Zn	3.39±0.24 ^b	0.04±0.01 ^d	0.39±0.05 ^{bc}
H-ZnCd	3.98±0.66 ^a	0.33±0.03 ^c	0.34±0.03 ^c
Serum ²⁾			
LZn	0.29±0.04 ^a	0.030±0.01 ^b	0.15±0.02 ^{ab}
LZn-Cd	0.33±0.04 ^c	0.040±0.01 ^a	0.12±0.03 ^{cd}
CZn	0.98±0.24 ^{ab}	0.033±0.01 ^{ab}	0.18±0.03 ^b
CZn-Cd	1.31±0.35 ^a	0.034±0.01 ^{ab}	0.15±0.04 ^{bc}
HZn	0.86±0.39 ^b	0.043±0.01 ^a	0.14±0.03 ^{bc}
HZn-Cd	1.16±0.43 ^{ab}	0.043±0.01 ^a	0.08±0.01 ^d

Values are mean ± S.D. (n=6)

Values with a common superscript letter within the same column are not significantly different (p<0.05)

¹⁾mg/100g of tissue ²⁾µg/ml of serum

혈청 중의 아연 함량은 아연결핍군이 정상군 보다 유의적으로 낮았다³³⁾. 이는 혈청 아연 함량은 아연결핍시 감소되었다는 보고³⁴⁾로 뒷받침된다. 혈청 아연 함량이 중요시 되는 것은 아연이 혈청과 간의 HDL-Chol 대사에 영향을 미친다는 최근의 보고에서와 같이 아연이 HDL-Chol의 apoprotein 형성에 변화를 초래하기 때문이다³⁵⁾. 식이성 아연 수준에 따른 혈청 카드뮴 함량은 정상군에 비해 과잉시 다소 증가하는 경향이었다. 혈청 구리 함량은 아연 함량이 과잉일 경우 유의적으로 낮았으며, 카드뮴 투여시 아연결핍군과 과잉군에서는 유의적으로 감소하였다.

그러므로 식이성 아연 결핍은 체조직내 아연 결핍을 초래하여 아연 metalloenzyme의 활성 감소가 일어나 생화학적 이상을 초래하는데, 이는 혈청 아연 함량의 급속한 감소를 일으키기 때문이다. 따라서 낮은 혈청 아연 함량은 아연공급군에 비하여 간의 아연 함량을 감소시킨³⁶⁾ 것으로 나타났다.

요 약

식이성 아연의 결핍은 정상군에 비하여 혈청 중의 TL, TG, TChol 및 HDL-Chol 함량을 유의적으로 감소시켰으며 아연의 과잉공급시는 TG 함량을 유의적으로 감소시켰으며 반면 TChol 함량은 증가되었다. 카드뮴 투여는 TL, TG 함량을 증가시켰으며 HDL-Chol 함량을 감소시켰다. 식이성 아연결핍군이 과잉군에 비하여 카드뮴 투여시 HDL-Chol 함량의 감소 정도가 컸으며, 카드뮴 투여시 TChol 함량을 결핍군에서만 증가되므로써 식이성 아연결핍이 과잉공급 보다 카드뮴으로 인한 지질대사 이상에 더 영향을 받는 것으로 나타났다. 간조직 중의 지질대사는 아연결핍군이 정상군에 비하여 TL, TG 및 PL 함량은 감소되었으며 Chol는 유의적으로 증가하였다. 또한 아연 과잉공급시는 TL 함량은 감소하는 경향이었으나 TG와 PL은 증가하는 경향이었으며 Chol 함량은 유의적으로 증가하였다. 따라서 아연 결핍이 아연 정상공급 및 과잉에 비하여 간의 지질대사에 현저하게 영향을 미치는 것으로 생각된다. 카드뮴 투여는 TG 함량을 증가시켰으며 아연 과잉공급은 정상군 보다 그 증가가 현저하였다. 반면 Chol 함량은 감소시켰는데 아연 결핍 보다 과잉시 그 감소 정도가 심하였다. PL 함량 역시 카드뮴 투여시 아연 결핍과 과잉 모두 정상군에 비하여 유의적으로 감소되므로써 카드뮴은 간에서의 지질대사에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 간의 아연 함량은 아연 결핍시 크게 영향을 받지

않았으나 혈청은 현저하게 영향을 받는 것으로 나타났다. 카드뮴 투여시 간과 혈청의 카드뮴 함량 증가가 관찰되었으며, 아연과잉군에서는 결핍시 보다 카드뮴 축적량을 억제시키는 것으로 나타났다. 구리 함량은 체내 아연 함량에 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 아연의 공급수준에 따른 영향과 카드뮴 투여 유무의 상호작용에 있어 식이성 아연의 공급은 유의적이었다.

문 헌

1. Macapinlac, M. P., Pearson, W. N. and Darby, W. J. : Some characteristics of Zn deficiency in the albino rat. In "Zn metabolism" Prasad, A. S.(ed.), Springfield, Ill., Thomas, p.142(1966)
2. Underwood, E. J. : Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press., Inc., New York, 4th ed., p.196(1977)
3. Koo, S. I. and Turk, D. E. : Effect of Zn deficiency on intestinal transport of triglyceride in the rat. *J. Nutr.*, **107**, 909(1977)
4. Duane, P. G., Rice, K. L., Charboneau, D. E., King, M. B., Gilboe, D. P. and Niewoehner, D. E. : Relationship of oxidant-mediated cytotoxicity to phospholipid metabolism in endothelial cells. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.*, **4**, 408(1991)
5. Hooper, P. I., Visconti, L., Garry, P. L. and Johnson, G. E. : Zn lowers high-density lipoprotein cholesterol levels. *JAMA.*, **244**, 1960(1980)
6. Schroeder, H. A. and Vinton, W. H. : Hypertension induced in rats by small doses of Cd. *Am. J. Physiol.*, **202**, 515(1962)
7. Tadeus, W. : On metallothionin in Cd, Cu and Zn relationship in the liver and kidney of adult rats. *Comp. Biochem. Physiol.*, **103C**, 35(1992)
8. Goering, P. L. and Klaassen, C. D. : Tolerance to cadmium-induced hepatotoxicity following cadmium pretreatment. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **74**, 308(1984)
9. 송정자 : 극미량 원소의 영양. 민음사, p.318(1984)
10. Waalkes, M. P., Rehn, S., Riggs, C. W., Bare, R. M., Devor, D. E., Pone, L., Wenk, M. L., Henneman, J. R. and Balaschak, M. S. : Cadmium carcinogenesis in Wistar (CrI : (WI)BR) rats. : Dose-response effects of zinc on tumor induction in the prostate, in the testes and at the injection site. *Cancer Res.*, **49**, 4282(1989)
11. Gunn, S. A., Gould, T. C. and Anderson, W. A. D. : Effects of zinc on carcinogenesis by cadmium. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **115**, 653(1964)
12. American institute of nutrition : Ad Hoc committee on standards for nutritional studies. *J. Nutr.*, **107**, 1340(1977)
13. Frings, C. S. and Dunn, R. T. : A colorimetric method for determination of total serum lipids based on the sulfophosphovanillin reaction. *Am. J. Clin. Path.*, **53**, 89(1970)

14. Muller, P. H. : *J. Clin. Chem. Clin. Biochem.*, **15**, 457(1977)
15. Richmond, W. : Use of cholesterol oxidase for assay of total and free cholesterol in serum by continuous flow analysis. *Clin. Chem.*, **22**, 1579(1976)
16. Folch, J., Mee, L. and Stanley, G. S. H. : A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497(1975)
17. Zak, B. and Dickman, R. C. : Rapid estimation of free and total cholesterol. *Am. J. Clin. Pathol.*, **24**, 1307(1954)
18. Eng, L. F. and Nobel, E. P. : The maturation of rat brain myelin. *Lipid*, **3**, 157(1968)
19. Thompson, R. H. and Blanchflower, W. J. : Wet-ashing apparatus to prepare biological materials for atomic absorption spectrophotometry. *Lab. Proc.*, **20**, 859(1975)
20. Snedecor, G. W. and Cochran, W. G. : Statistical methods. 6th., Iowa State University Press, Iowa, p.1(1967)
21. Cunnane, S. C. : Zinc and red cell fatty acid composition. *Lipids*, **28**, 8(1993)
22. Hove, E., Elvehjem, C. A. and Hart, E. B. : The effect of zinc alkaline phosphatase. *J. Biol. Chem.*, **134**, 425(1940)
23. Peter, W. F., Fischer, A. G., Bartholomeus, B. and Bhagwan, G. S. : The effect of dietary copper and zinc on cholesterol metabolism. *J. Clin. Nutr.*, **33**, 1019(1980)
24. Lefevre, M., Keen, C. L., Bo, L., Hurley, L. S. and Schneeman, B. O. : Different effect of zinc and copper deficiency on composition of plasma high density lipoproteins in rats. *J. Nutr.*, **115**, 359(1985)
25. Koo, S. I. and Dale, A. W. : Relationship between the nutritional status of Zn and cholesterol concentration of serum lipoproteins in adult male rats. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 2376(1981)
26. 김명희, 송정자 : 식이성 아연과 알코올의 섭취 수준이 흰쥐의 지질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **24**, 87(1991)
27. 황경숙, 김미경 : 식이내 Zn의 수준과 지방의 종류가 흰쥐의 지방대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **17**, 145(1984)
28. Allen, K. G. D. and Klevay, L. M. : Cholesterolemia and cardiovascular abnormalities in rats caused by copper deficiency. *Atherosclerosis*, **29**, 81(1973)
29. Philip, B., Nampoothiri, V. K. and Kurup, P. A. : Zinc and metabolism of lipid in normal and atherosomatous rats. *J. Experimental Biol.*, **16**, 46(1978)
30. Hawmermueller, J. P., Bray, T. M. and Bettger, W. J. : Effect of Zn and Cu deficiency on microsomal NADPH-dependent active oxygen generation in rat lung and liver. *J. Nutr.*, **117**, 894(1987)
31. Misra, H. and Fridovich, I. : The generation of superoxide radical during autooxidation of hemoglobin. *J. Biol. Chem.*, **247**, 6960(1972)
32. 배서영 : 식이내 zinc가 흰쥐의 cadmium중독과 대사에 미치는 영향. *이화여자대학교 논문집*, p.22(1990)
33. Philp, G. R. and Boyd, L. O. : Zinc deficiency in rats and angiotensin-converting enzyme activity : Comp-

- ative effects on lung and testis. *Am. Inst. Nutr.*, **118**, 622 (1988)
34. Wallwork, J. C., Johnson, L. K., Milne, D. B. and Sandstead, H. H. : The effect of 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)
35. Smith, L., Pijuan, V., Zhuang, Y. and Smith, J. B. : Reversible desensitization of fibroblasts to Cd receptor stimuli: Evidence that growth in high Zn represses a xenobiotic receptor. *Experimental Cell Res.*, **202**, 174 (1992)
(1994년 4월 28일 접수)