

아연의 섭취 수준이 흰쥐의 당대사와 체내 아연, 마그네슘 및 크롬 함량에 미치는 영향

박현미* · 송정자 · 김현숙

대한영양사회 조직정책부* · 숙명여자대학교 식품영양학과

Effect of Dietary Zinc on the Carbohydrate Metabolism and the Serum Concentration
of Magnesium and Chromium in Rats

Park, Hyun-Mi* · Sung, Chung-Ja · Kim, Hyun-Sook

*Dept. of Strategy & Planning, The Korean Dietetic Association**

Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of dietary zinc on the carbohydrate metabolism and the serum content of magnesium and chromium in rats fed normal diet. Animals were divided into three groups by different dietary zinc levels which were low(15ppm), normal(30ppm) or high(60ppm).

Serum glucose and insulin concentrations were assessed by the glucose oxidase method and the radio immuno assay respectively. Serum zinc, magnesium and chromium contents were measured by Inductively Coupled Plasma(ICP). Results of the study were as follows :

1. Feed intake in a zinc deficiency experimental animals were significantly higher than that of other two groups, however the weight gain in high zinc diet experimental animals were significantly lower than that of other groups.
2. There were no significant differences in liver, kidney and spleen weight.
3. Serum glucose, insulin and zinc concentrations were not significantly different among different dietary zinc groups. However serum magnesium and chromium concentrations were significantly decreased as the level of dietary zinc was increased.

KEY WORDS : zinc, magnesium, chromium, insulin, glucose

서 론

최근 우리나라는 식생활 패턴의 변화로 당뇨병, 심순환계 질환, 암 등의 만성퇴행성 질환의 발병률이 점차 증가하고 있다. 그 중에서 당뇨병은 인슐린의 분비 부족과 인슐린 작용의 이상으로 생체내 당대사 조절에 장애가 초래되어 고혈당과 뇨중으로 당이 배설되는 질병이다. 당뇨병은 그 유병률이 전체인구의 약 2%, 65세 이상 성인인구의 6.5%를 상회하면서 현저하게 증가하고 있는 추세이다.¹⁾

아연은 인슐린과 밀접한 관계가 있는 무기질로 인슐린과 복합체를 형성하여 췌장의 β 세포에서 인슐린의 저장과 분비에 관여하고²⁾ 인슐린의 작용기간을 연장한다고 보고하였다.³⁾ 일부연구에 의하면^{4,5)} 아연결핍은 당내응의 손상과 인슐린 분비의 감소, 그리고 인슐린 저항성을 증가시키는 것으로 나타났다. 정상체중의 양을 대상으로 아연 결핍군(3.7mg zinc/kg diet), 정상군(8.7mg zinc/kg diet), 그리고 과잉군(43.7mg zinc/kg diet)으로 나누어 18주간 사육했을 때 아연의 공급수준에 따라 혈당은 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 혈청 인슐린 농도는 아연 결핍군에서만 유의적으로 낮고, 아연의 과잉공급에 따른 인슐린의 농도에는 영향을 미치지 않았다고 보고하였다.⁶⁾ 이와 같이 아연공급 수준이 당대사에 미치는 영향에 관한 연구가 이루어지고 있으나 좀 더 확실한 결과를 얻기 위해서는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

인슐린은 마그네슘을 세포외에서 세포내로 이동시키며 마그네슘의 농도가 높을 경우 인슐린의 감수성을 증가시켜 인슐린의 요구량이 감소되는 등 직·간접적으로 마그네슘의 절약작용과 상승작용에 관여한다.^{7,8)} 한편 마그네슘은 인슐린의 감수성을 증가시키는데,^{9,10)} Sjogren 등¹¹⁾은 아동에게 마그네슘을 보충시켰을 때 인슐린의 요구량이 감소되는 것을 관찰했다. 마그네슘은 당질의 이용과 밀접한 관계가 있어¹²⁾ 토끼에게 당질을 투여했을 때 마그네슘 농도가 감소되었고¹³⁾ 정상인이나 당뇨병자에게서 혈장 마그네슘 농도가 낮을 경우 혈당 농도가 증가함을 보고하였다.^{7,14-15)} 그러나 동물 실험에서 인슐린과

당질의 투여에 따라 마그네슘 농도의 변화가 나타나지 않았다¹²⁾는 보고도 있다. 그러므로 본 연구에서는 아연 공급 수준에 따른 인슐린 변화에 있어 마그네슘의 변화를 함께 관찰하고자 한다.

크롬은 마그네슘과 같이 인슐린 감수성과 관련성이 있다는 결과가 보고되고 있으며,^{10,16)} 1959년부터 glucose tolerance factor(GFT)로 규정되었으나,¹⁷⁻¹⁹⁾ 인슐린 기능에 대한 크롬의 역할에 대해서는 아직 확실하게 규명되어 있지 않다. 크롬은 인슐린과 인슐린 수용체의 결합을 도와 인슐린과 조직의 상호작용을 촉진하는 것으로 보고되고 있다.¹⁷⁻¹⁹⁾ 동물실험과 인체실험 모두에서 크롬의 결핍은 당이용능의 손상과 고인슐린혈증을 보였으며, 크롬 보충으로 당이용능이 정상으로 회복되었다고 한다.²⁰⁻²²⁾

이상의 연구 결과를 종합할 때 당대사 이상시 마그네슘과 크롬의 함량이 변화되며 마그네슘은 당대사와 상호작용을 하는 것으로 보여지므로 당대사와 마그네슘과의 관계, 그리고 아연의 공급에 의한 당대사와 마그네슘, 크롬의 변화에 관한 연구는 매우 필요하다고 본다.

따라서 본 연구에서는 현재까지 일관성이 없는 당대사와 이와 관련된 일부 무기질의 변화에 따른 아연 공급의 효과에 대해 명확히 알아보기 위해 아연을 결핍·적정·과잉 수준으로 공급하여 혈당, 혈청 인슐린, 혈청과 조직의 아연, 마그네슘, 크롬의 함량을 비교, 분석함으로써 당대사와 관련된 무기질의 역할을 규명하고 당대사 이상의 예방과 치료를 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

연구 내용 및 방법

1. 실험동물 및 사육실 조건

체중 100 ± 10 g인 Sprague-Dawley계 숫쥐 24마리를 이용하여 실험시작 전 고형사료로 1주일간 적응시킨 후 아연 공급 수준에 따라 세 군으로 나누어 각 군당 8마리씩 완전임의배치법(completely randomized design)으로 사육하였다. 사육실의 조건은 온도 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 와 습도 $65 \pm 2\%$ (Relative Humidity)를 항상 유지시켜 주었으며, 12시간 주기로 명암이 자동 조절되도록 하였다. 모든 사

료와 물(2차 증류수)은 매일 같은 시각에 급여하였고 자유급식 시켰다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 사육 및 실험에 필요한 모든 기구들 즉, 쥐장 · 먹이통 및 물병 등은 0.4% EDTA.(ethylene diamine tetra acetate) 용액에 하루 이상 담갔다 증류수로 3번 이상 세척하여 완전히 말린 후 사용하였다.

2. 실험식이

10주간 정상식이 공급하여 성장시킨 후 표 1과 같이

Table 1. Diet groups fed diet and the formulations

Dietary group ¹⁾	Lipid type & amount(%)	Zn(ppm)	Number of animals
No/Zn-L	Corn oil, 5	15	8
No/Zn-A	Corn oil, 5	30	8
No/Zn-H	Corn oil, 5	60	8

1) In the abbreviated names No, L, A and H indicate normal, low, adequate and high levels of zinc, respectively.

Table 2. Experimental diet composition

Ingredient	Composition(%)
Casein	20
Sucrose	50
Corn starch	15
Corn oil	5
Lard	-
α-cellulose	5
Vitamin mixture ¹⁾	1.0
Mineral mixture ²⁾	3.5
DL-Methionine	0.3
Choline bitartrate	0.2
Butylated hydroxytoluene ³⁾	0.001
Metabolizable calories (kcal/g diet)	3.34

- 1) AIN-76 vitamin mixture : The mixture provided(g/100g diet)
 Thiamin · HCl, 600mg; Riboflavin, 600mg; Pyridoxine · HCl, 700mg; Nicotinic acid, 3g; D-Calcium pantothenate, 1.6g; Folic acid, 200mg; D-Biotin, 20mg; Cyanocobalamin, 1mg; Retinyl acetate, 400,000 I.U.; dl-α-Tocopherol acetate, 5,000 I.U.; Cholesterol, 2.5mg; Menaquinone, 5mg; Sucrose, finely powdered to make 1,000g
- 2) AIN-76 mineral mixture : The mixture provided(g/100g diet)
 Calcium phosphate · dibasic, 500.0g; Sodium chloride, 74g; Potassium citrate · monohydrate, 220.0g; Potassium sulfate, 52.0g; Magnesium oxide, 24g; Manganous carbonate, 3.5g; Ferric citrate, 6.0g; Zinc carbonate, 1.6g; Cupric carbonate, 0.3g; Potassium iodate, 0.01g; Sodium selenite, 0.01g; Chromium potassium sulfate, 0.55g; Sucrose, finely powdered to make 1,000g
- 3) Antioxidant added at a conc.of 0.02g/100g of lipid

아연 공급 수준에 따라 세 군으로 나누어 재배치하였다. 아연(zinc carbonate)의 공급은 NRC와 AIN-76에 의한 아연 요구량의 50%(15ppm, 결핍군), 100%(30ppm, 적정군), 200%(60ppm, 과잉군) 수준으로 결정하였다. 실험 식이의 배합은 NRC와 AIN-76을 참고로 하였으며 식이 조성은 표 2와 같다. Corn oil을 5% 수준으로 공급하였으며, 탄수화물 · 지방 · 단백질의 비율(% w/w)이 70 : 5 : 20이 되도록 조성하였다. 무기질과 비타민은 AIN-76 조성으로 조제된 것을 구입하여 전체 식이 성분 중 각각 5.3%와 1%가 되도록 하였다. 전체 사료의 에너지 밀도는 3.34kcal/g이었다.

3. 사료섭취량

사료 섭취량은 매일 같은 시각에 측정하였고, 전날 채워 둔 사료통의 무게에서 그날의 무게를 뺀 값으로 계산하였다. 체중은 일주일에 한번씩 같은 시각에 측정하였고, 사료 섭취로 인한 갑작스러운 체중의 변화를 막기 위하여 2시간 전에 사료통을 제거한 후 실시하였으며, 매 주마다 각 군별 체중 증가량을 계산하였다. 사료 효율은 일주일간 측정된 체중과 같은 기간의 사료 섭취량을 이용하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{사료 효율(feed efficiency ratio)} = \frac{\text{일주일간 체중 증가량(g)}}{\text{일주일간 사료 섭취량(g)}}$$

1) 혈액과 조직의 채취

16주간 사육이 끝난 후 혈액과 조직을 채취하였으며, 혈액이 혼탁해지는 것을 막기 위하여 15시간 정도 절식시킨 후 개체별로 체중을 측정하고 ether로 마취시켰다. 채혈은 heart puncture 방법을 사용하였으며 분석에 필요한 전혈 3ml은 항응고제가 처리된 C.B.C 관에 수거하였고, 나머지 혈액은 혈청을 얻기 위하여 1시간 정도 실온에 방치한 후 3,000rpm에서 20분간 원심 분리하였다. 혈청은 소량씩 분주하여 분석시까지 -70°C에 냉동 보관하였다. 채혈한 후 간장, 신장 그리고 비장을 떼어내어 생리 식염수로 표면에 묻은 혈액을 씻어 내고 지방을 제

거한 다음 여과지로 표면의 습기를 제거하고 무게를 측정하여 -70°C 에서 20일간 냉동 보관하였다.

2) 혈액의 분석

혈액은 다음과 같이 분석하였다.

(1) 혈당과 혈청 인슐린 농도

혈당은 Glucose Oxidase 법²³⁾(Lawry Method)으로, 혈청 인슐린은 Radio Immuno Assay(RIA)(Morgan²⁴⁾) 법에 의하여 측정하였다.

(2) 시료 중의 무기질 함량

가) 혈청의 분해

시료 중의 무기질 함량을 측정하기 위하여 임²⁵⁾의 습식 분해법을 이용하였다. 혈청은 잘 균질화시켜 50ml 분해용 flask에 시료 1g을 취하고 nitric acid 15ml를 넣어 시료를 잘 적신 후 가열판에서 처음에는 천천히 가열하다가 차차 온도를 올려 $180\sim 200^{\circ}\text{C}$ 에서 가열하였다. 그 후 ternary solution($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HClO}_4 = 10 : 1 : 4$) 10ml을 첨가한 후 갈색 가스(NO_2)가 없어지고 sulfuric acid 및 perchloric acid의 흰 연기가 나면서 분해액이 백색이 되거나 갈색으로 투명하게 되면 분해를 멈춘다. 분해가 완전히 되지 않았을 경우 다시 반복하여 분해하였고, 분해가 완료된 것은 냉각시켜 뜨거운 증류수를 가해 50ml mass flask에 여과지를 놓고 여과한 후 분해 용기 내부를 깨끗이 씻어 내리면서 표선까지 채웠다.

나) 분석 시료의 무기질 함량 측정

습식 분해법으로 전처리하여 준비한 혈청의 아연, 마그네슘과 크롬 함량을 AA-ICP(Inductively coupled plasma, Japan)로 측정하였다.

4. 통계 분석

모든 결과는 각 군별 평균치와 표준 편차를 구하였으며 측정된 모든 값들은 아연 공급 수준이 장기 무게, 혈당과 혈청 인슐린 및 혈청 아연, 마그네슘, 크롬 함량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 SAS(statistical analysis system) 프로그램을 이용하여 이원분산분석을 실

시하였다. 종속변수에 미치는 독립변수의 영향이 유의적으로 나타났을 때는 각 군별 차이를 관찰하기 위해 Duncan's multiple range test로 $\alpha=0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율

아연 공급수준에 따라 세군으로 분류하여 6주간 사육한 후 사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율을 측정한 결과는 표3과 같다. 사료 섭취량은 아연 공급 수준에 따라 유의적으로 감소하여($p<0.001$) 결핍군은 31.69 ± 2.35 , 적정군은 29.40 ± 0.64 , 과잉군 28.11 ± 0.11 로 나타났다. 이는 아연이 결핍된 쥐가 높은 식이 섭취량을 보였다는 Eder 등²⁶⁾의 연구와 일치하였고, Van Reen²⁷⁾과 Begin-Heick 등²⁸⁾도 아연 과잉 공급(5000ppm과 2000ppm)에 의한 사료 섭취량 감소를 보고하였다. 그러나 본 연구 결과는 Wallwork 등²⁹⁾의 연구에서 아연이 결핍된 식이를 15일간 흰쥐에게 공급했을 때 사료 섭취량이 감소했다는 보고와는 상반된 결과를 보였는데, 이는 본 연구에서 아연의 결핍수준이 15ppm으로 다른 연구보다 심각한 수준이 아니었기 때문으로 사료된다. 본 연구에서 사용된 아연 과잉군의 수준은 60ppm이었다.

체중 증가량은 아연의 공급 수준에 따라 유의적으로 감소하여 아연 결핍군이 18.89 ± 5.30 , 아연 적정군 17.75 ± 3.35 로 나타나 과잉군 11.54 ± 4.84 에 비해 유의적으로 높았다($p<0.05$). 이 결과는 아연이 결핍된 쥐가 적정 수준의 아연을 공급 받은 쥐보다 체중증가량이 감소했다는 Park 등³⁰⁾과 Wallwork 등²⁹⁾의 연구결과와는 다른 결과를 보였다. 이는 본 연구의 아연 결핍 수준이 적정 수준의 50%(15ppm)로 심각한 수준이 아닌데 반해 Park 등³⁰⁾의 연구에서는 1ppm로 극심한 결핍 수준이었기 때문인 것으로 사료된다.

본 연구에서 사료효율은 아연 공급 수준에 따른 유의적인 차이를 나타내어($p<0.05$) 아연 과잉군의 사료효율이 2.87 ± 1.23 으로 결핍군 1.76 ± 0.37 과 적정군의 1.71 ± 0.32 보

다 높게 나타났다. 이는 쥐를 대상으로 한 황 등³⁰⁾이 사료효율에서 아연 공급 수준에 따른 차이를 보이지 않았다는 결과와는 다른 결과였고, 식이량을 제한하면서 65ppm의 아연을 공급받은 쥐와 10ppm의 결핍 수준으로 아연을 공급받은 쥐의 사료효율이 4.4와 5.1로 아연 결핍 쥐의 사료효율이 더 높게 나타난 Prasad 등³⁰⁾의 결과와는 다른 양상을 보였다.

Table 3. Food intake, weight gain and feed efficiency ratio

Dietary group	Food intake (g/day)	Weight gain	FER
No/Zn-L	31.69±2.35 ^{1)ab2)}	18.89±5.30 ^a	1.76±0.37 ^b
No/Zn-A	29.40±0.64 ^{ab2)}	17.75±3.35 ^a	1.71±0.32 ^b
No/Zn-H	28.11±0.11 ^b	11.54±4.84 ^b	2.87±1.23 ^a
Significance	p<0.001	p<0.05	p<0.05

- 1) Values are mean(standard deviation).
- 2) Means with different letters(a, b) within a column are significantly different from each other at $\alpha=0.05$ as determined by Duncan's multiple range test(a,b).

2. 간장, 신장 및 비장의 무게

아연 공급 수준에 따른 장기 무게의 변화에 대한 여러 다른 연구결과를 명확히 하기 위해 측정된 각 조직의 무게는 표 4와 같다. 간의 무게는 아연 공급 수준에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 쥐 실험을 통한 Boquist 등³⁰⁾의 연구와 Kimball 등³⁰⁾의 연구에서는 아연 결핍군과 적정군 간에 유의적인 차이를 보이지 않아 아연의 결핍이 간의 무게에 영향을 주지 않는 것으로 나타나 본 실험 결과와 같았으며, Begin-Heick 등³⁰⁾의 연구에서도 아연을 보충 받은 쥐의 간 무게에는 차이가 없어 본 실험과 같은 결과를 보였다. 그러나 쥐를 대상으로 한 Park 등³⁰⁾의 연구에서 아연을 1ppm으로 결핍되게 공급했을 때 간의 무게가 지질과 글리코겐 함량 증가와 함께 유의적으로 증가했다는 결과와는 다른 결과를 보여, 본 연구에서 아연 결핍 수준이 Park 등³⁰⁾의 연구에서와 같이 심각한 정도가 아니었기 때문에 아연 결핍시 간의 무게에 변화가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

본 실험에서 신장의 무게는 아연의 공급 수준에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 이러한 결과는 쥐

를 대상으로 아연의 결핍 수준이 신장의 무게에는 영향을 미치지 못했다고 보고한 Boquist 등³⁰⁾의 연구와 일치하였다.

비장의 무게는 아연의 공급 수준에 따라 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 이는 김 등³⁰⁾이 보고한 아연 섭취량에 따른 비장의 무게에 변화가 없었다는 결과와 일치하여 아연의 공급에 따라서는 간장, 신장, 비장의 무게에 변화가 없었다.

Table 4. Liver, kidney and spleen weight of rats fed different levels of Zn

Dietary group	Liver	Kidney	Spleen
	(g)		
No/Zn-L	16.43±3.14 ^{1)NS2)}	3.14±0.49 ^{NS}	0.79±0.14 ^{NS}
No/Zn-A	15.42±2.08	3.51±0.49	0.64±0.06
No/Zn-H	12.90±1.48	3.08±0.45	0.73±0.10
Significance	N.S. ³⁾	N.S.	N.S.

- 1) Values are mean(standard deviation).
- 2) Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by Duncan's multiple range test.
- 3) Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by one-way analysis of variance(ANOVA).

3. 혈당과 혈청 인슐린 농도

혈당과 혈청 인슐린 농도는 표 5에 나타내었다. 아연 공급 수준에 따른 혈당의 변화가 나타나지 않았으며, 이러한 결과는 3일간 1ppm이하의 아연을 공급받은 결핍쥐가 25ppm의 아연을 공급받은 쥐보다 혈당이 유의적으로 높아 손상된 당내능을 보였다라는 Park 등³⁰⁾의 결과와 일치하지 않았다. 이는 10주간 성장한 쥐에게 아연의 공급 수준을 달리하여 6주간 사육한 본 실험과는 달리 Park 등³⁰⁾은 단기간(3일)동안 아연 공급 실험을 하였으며, 아연의 결핍 수준도 본 실험의 15ppm보다 15배 낮게 공급하였기 때문인 것으로 사료되며, 본 실험의 결과로 보아 아연 결핍·적정·과잉군의 혈당이 쥐의 정상 혈당치인 50~135g/dl의 범위로 나타나 아연의 결핍이나 과잉이 극심하지 않는 한 혈당에는 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

혈청 인슐린의 농도는 아연의 공급 수준에 따라 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 양을 대상으로 한 Droke 등³⁰⁾

의 연구에서는 아연이 결핍되었을 때 식후 인슐린의 농도가 감소했다고 보고했으며 Park 등³⁰⁾의 연구에서도 3일간 1ppm이하의 아연을 공급받은 결핍쥐가 25ppm 아연을 공급받은 쥐보다 혈청 인슐린 농도가 감소했다고 보고하였다. 또한 Roth 등³⁶⁾도 1.3ppm의 아연을 공급받은 쥐의 혈청 인슐린이 25ppm으로 아연을 공급받은 쥐에 비해 25%가량 낮았다고 보고하여 인슐린 농도에 유의적인 변화가 나타나지 않은 본 실험결과와는 차이를 보였다. 이는 아연 결핍식이와 실험기간, 그리고 실험 대상에 차이가 있었기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 햄스터에게 아연 결핍군과 정상군의 인슐린 농도를 실험한 Boquist 등³⁹⁾의 연구와 아연 결핍쥐를 대상으로 한 Brown 등³⁷⁾, Quarterman 등³⁸⁾의 연구결과는 본 실험결과와 일치하였다.

Table 5. Serum glucose and insulin concentrations of rats fed different level of zinc

Dietary group	Glucose(g/ dl)	Insulin(μ U/ml)
No/Zn-L	55.33 \pm 26.28 ^{1)N.S.2)}	16.25 \pm 4.29 ¹⁾⁵⁾
No/Zn-A	64.60 \pm 47.10	16.76 \pm 2.40
No/Zn-H	63.60 \pm 19.27	25.13 \pm 15.08
Significance	N.S. ³⁾	N.S.

- 1) Values are mean(standard deviation).
- 2) Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by Duncan's multiple range test.
- 3) Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by one-way analysis of variance(ANOVA).

4. 혈청 아연, 마그네슘 및 크롬 함량

아연 공급 수준에 따른 혈청 아연, 마그네슘 및 크롬의 함량은 표 6과 같다. 혈청 아연 농도는 아연 공급 수준에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 Park 등³⁰⁾과 Al-Bader³⁶⁾의 연구에서도 아연을 공급받은 쥐의 혈청 아연 농도가 유의적으로 증가했다는 것과 Nakamura 등⁴⁰⁾은 아연 결핍이 심하지 않은 어린이에게 아연을 하루 5mg 공급했을 때 혈청 아연 농도가 증가했다고 보고하여 본 실험 결과와는 달랐는데 이는 본 실험에서 장기간의 아연 공급으로 아연이 체내에서 항상성을 유지하려는 경향을 갖고 있기 때문인 것으로 사료된다.⁴¹⁾

혈청 마그네슘의 농도는 아연의 공급 수준에 따른 유

의차를 나타내어($p<0.01$) 아연 공급 수준이 높을수록 혈청 마그네슘이 감소하는 것으로 나타났다(결핍군 57.66 \pm 3.94, 적정군 51.03 \pm 4.56, 과잉군 44.69 \pm 4.73). 이는 Song 등⁴²⁾이 당뇨병환자에게 아연 20mg을 함유하는 Bovin prostate powder로 치료를 했을 때 아연의 흡수가 높아져 혈장 아연의 함량은 높아진 반면 혈장 마그네슘의 함량은 유의적으로 감소했다는 결과와 일치하였다. Rosolova 등⁴³⁾은 혈장의 마그네슘 농도가 낮은 그룹에서 인슐린의 농도가 높았음을 보고하였는데 이는 Durlach⁷⁾와 Paolisso⁸⁾에 의하면 마그네슘의 체내 농도를 조절하는 인슐린에 의해 마그네슘 절약작용이 나타난 것으로 보고하였으나 본 실험에서는 인슐린 농도에 변화가 없어 아연의 공급이 마그네슘의 흡수에만 영향을 미친 것으로 보인다.

혈청 크롬의 농도는 아연의 공급 수준에 따른 차이를 보였다($p<0.05$). 아연 공급 수준이 증가할수록 혈청 크롬 농도는 감소하는 것으로 나타나 결핍군이 31.87 \pm 8.05, 적정군 24.47 \pm 9.15, 과잉군이 17.60 \pm 0.25 이어서 아연의 공급 수준의 증가에 따라 혈청 크롬의 흡수가 저해되는 것으로 사료된다.

Table 6. Serum concentrations of Zn, Mg and Cr of rats fed different levels of Zn

Dietary group	Zn	Mg	Cr
	(μ g/ml)		
No/Zn-L	2.43 \pm 0.13 ^{1)N.S.2)}	57.66 \pm 3.94 ³⁾	31.87 \pm 8.05 ⁴⁾
No/Zn-A	2.95 \pm 0.50	51.03 \pm 4.56 ³⁾	24.47 \pm 9.15 ⁴⁾
No/Zn-H	2.96 \pm 0.46	44.69 \pm 4.73 ³⁾	17.60 \pm 0.25 ⁴⁾
Significance	N.S. ⁴⁾	$p<0.01$	$p<0.05$

- 1) Values are mean(standard deviation).
- 2) Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by Duncan's multiple range test.
- 3) Means with different letters(a, b, c) within a column are significantly different from each other at $\alpha=0.05$ as determined by Duncan's multiple range test.
- 4) Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by one-way analysis of variance(ANOVA).

결론 및 제언

아연 공급이 당대사와 이와 관련된 일부 무기질에 미치는 효과를 알아보기 위하여 쥐를 고형식으로 10주간

사육한 후 아연 공급 수준을 요구량의 50%(결핍군), 100%(적정군), 200%(과잉군)로 하여 6주간 공급했을 때 아연 공급이 당대사와 혈액 및 조직내 아연, 마그네슘, 크롬 함량에 미치는 영향을 살펴본 결과는 다음과 같다.

1. 사료 섭취량과 체중 증가량, 사료 효율은 아연 공급 수준에 따른 유의적인 차이를 나타내어($p < 0.001$, $p < 0.05$, $p < 0.05$), 사료 섭취량은 아연 결핍군이 과잉군 보다 유의적으로 높았고($p < 0.001$), 체중 증가량은 아연 과잉군이 결핍군과 적정군보다 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), 사료효율은 아연 과잉군이 결핍군이나 적정군에 비해 높았다($p < 0.05$).
2. 간, 신장 및 비장의 무게는 아연 공급 수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 혈당과 인슐린 농도도 유의적인 차이를 보이지 않았다.
3. 혈청의 아연 함량은 아연 공급 수준에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았으나 마그네슘과 크롬은 차이를 나타내어($p < 0.01$, $p < 0.05$), 마그네슘과 크롬 모두 아연 결핍군이 다른 군에 비해 높게 나타났다.

본 연구에서는 아연의 결핍수준을 아연 적정수준의 50%로, 그리고 과잉을 200%로 설정하였으나 앞으로 좀 더 세분화된 아연의 결핍과 과잉 수준에 대한 체계적인 연구가 필요하다고 사료된다.

참고 문헌

1. Annual report on the cause of death statistics, Korean statistical association, 1991.
2. Davies, N. T., The clinical significance of the essential biological metals, 1972.
3. 승정자. 극미량 원소의 영양. 민음사, 1996.
4. Janet, C.K. and Carl, L.K., Zinc In. modern nutrition in health and disease(1).(8ed.), Lea and Febiger, pp.214-230, 1994.
5. Prasad, A.S., Zinc and glucose metabolism : In Biochemistry of zinc, pp.106-109, Plenum, 1993.
6. Droke, E.A., Spears, J.W., Armstrong, J.D., Kegley, E.B. and Simpson, R.B., Dietary zinc effects serum concentrations of insulin and insulin-like growth factor I in growing lambs. *J. Nutr.*, 123:13-19, 1993.
7. Durlach, J., Magnesium in clinical practice, pp.156-170, John Libbey, 1988.
8. Paolisso, G., Barbagallo, M., Hypertension, diabetes mellitus and insulin resistance : the role of intracellular magnesium, *Am. J. Hypertens.*, 10(3):346-355, 1997.
9. Wester, P.O., Magnesium, *Am. J. Clin. Nutr.*, 45:1305-1312, 1987.
10. Preuss, H.G., Effects of glucose/insulin perturbations on aging and chronic disorder of aging : the evidence, *J. Am. Coll. Nutr.*, 16(5):397-403, 1997.
11. Sjogren, A., Floren, C.H., Nilsson, A., Magnesium deficiency--clinical findings, diagnosis and treatment, *Lakartidningen* 2:85(44):3670-2, 1988.
12. Aikawa, J.K., Effects of glucose and insulin on magnesium metabolism in rabbits, A study with Mg28, *Proc. Exp. Biol. Med.*, 103:363-366, 1960.
13. Stutzman, F.C., Microfilms, *Ann. Arbor. MI.*, 1952.
14. Rosolova, H., Mayer, O.Jr., Reaven, G., Effect of variation in plasma magnesium concentration on resistance to insulin-mediated glucose disposal in nondiabetic subjects, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 82(11):3783-3785, 1997.
15. Siegel, D., Saliba, P., Haffner, S., Glucose and insulin levels during diuretic therapy in hypertensive men, *Hypertension* 23(6pt1):688-

- 694, 1994.
16. Mertz, W., Toepfer, E.W., Roginski, E.E. and Polansky, M.M., Present Knowledge of the role of chromium, *Fed. Proc.*, 33:2275-2280, 1974.
 17. Groff, H.L., Gropper, S.S., Advanced nutrition and human metabolism, pp.386-387, West Publishing Co., 1995.
 18. Mertz, W., Biological role of chromium, *Fed. Proc.*, 26:186-193, 1967.
 19. Nielsen, F.H., Chromium : In modern nutrition in health and disease (8th ed.), pp.264-268, Waverly Co., 1994.
 20. Schroeder, H.A., Balassa, J.J. and Vinton, W.H. JR., Chromium, cadmium and lead in rats : Effects on life span, tumors and tissue levels, *J. Nutr.*, 86:51, 1965.
 21. Schroeder, H.A. Chromium deficiency in rats : A syndrome stimulating diabetes mellitus with retarded growth, *J. Nutr.*, 88:439, 1966.
 22. Schwarz, K. and Mertz, W., Chromium(III) and the glucose tolerance factor, *Arch. Biochem. Biophys.*, 85:292, 1959.
 23. Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J., Protein measurement with the Folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, 193:265-275, 1951.
 24. Morgan, C.R., Lazarrow, A., Immunoassay of insulin : two antibody system, *Diabetes*, 12, pp.115-126, 1963.
 25. 임정남. 식품의 무기 성분 분석, *식품과 영양*, 7(1) :42-46, 1986.
 26. Eder, K., Kirchgessner, M., The effect of zinc depletion on the fat content and fatty acid composition of the liver and brain in forcibly fed rats, *Z-Ernahryunswiss* 32(3):187-197, 1993.
 27. Van Reen, R., Effect of excessive dietary zinc in the rat and the interrelationship with copper, *Arch. Biochem. Biophys.*, 46:337-344, 1953.
 28. Begin-Heick, N., Dalpe-Scott, M., Rowe, J. and Heick, H.M.C., Zinc supplementation attenuates insulin secretory activity in pancreatic islets of the ob/ob mouse, *Diabetes*, 34:179-184, 1985.
 29. Wallwork, J.C., Fosmire, G.J. and Sandstead, H.H., Effect of zinc deficiency on appetite and plasma amino acid concentrations in the rat, *Br. J. Nutr.*, 45:127-136, 1981.
 30. Park, J.H.Y., Grandjean, C.J., Hart, M.H., Erdman, S.H., Pour, P. and Vanderhoof, J.A., Effect of pure zinc deficiency on glucose tolerance and insulin and glucagon levels, *Am. J. Physiol.*, 251:E273-E278, 1986.
 31. 황경숙, 김미경. 식이내 Zn의 수준과 지방의 종류가 흰쥐의 지방대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 17(2):145-152, 1984.
 32. Prasad, A.S., Oberleas, D., Wolf, P. and Horwitz, J.P., Studies on zinc deficiency : Change in trace elements and enzyme activities in tissue of zinc-deficient rats, *J. Clin. Invest.*, 46(4):549-557, 1967.
 33. Boquist, L. and Lernmark., Effect on the endocrine pancreas in chinese hamsters fed zinc deficient diet, *Acta. Path. Microbiol. Scand.*, 76:215-228, 1969.
 34. Kimball, S.R., Chen, S.J., Risica, R., Jefferson, L.S., Leure-duPree, A.E., Effects of zinc deficiency on protein synthesis and expression of specific mRNAs in rat liver, *Metabolism* 1995 Jan;44(1):126-33.
 35. 김현숙. 아연과 철분 섭취 수준이 고지방 식이로 유도된 비만 쥐의 면역 반응과 체내 미량 무기질

- 합량에 미치는 영향에 관한 연구, 숙명여자대학교 박사학위논문, 1989.
36. Roth, H.P., Kirchgessner, M., Influence of alimentary zinc deficiency on the concentration of growth hormone(GH), insulin-like growth factor I (IGF- I) and insulin in the serum of force-fed rats, *Horm. Metab. Res.*, 26(9):404-408, 1994.
 37. Brown, E.D., Penhos, J.C., Recant L. and Smith, J.C., Glucose tolerance, plasma and pancreatic insulin levels in zinc deficient rats, *Prec. Socie. Exp. Biol. Med.*, 150:557-560, 1975.
 38. Quarterman, J. and Florence, E., Observations on glucose tolerance and plasma levels of free fatty acids and insulin in the zinc-deficient rat, *Br. J. Nutr.*, 28:75-79, 1972.
 39. Al-Bader, A.A., Mosawi M.H., Hussain, T.A., Dashti, H.M., Effect of dietary selenium, zinc and allopurinol supplements on plasma and tissue manganese levels in rats with thioacetamide[correction of thiocetamide]- induced liver cirrhosis, *Mol. Cell. Biochem.*, 173(1-2):121-125, 1997.
 40. Nakamura, T., Nishiyama, S., Futagoishi, S.Y., Matsuda, I., Higashi, A., Mild to moderate zinc deficiency in short children : effect of zinc supplementation on linear growth velocity, *J. Pediatr.*, 124(1):163-164, 1994.
 41. Lee, D.Y., Prasad, A.S., Hydrick-Adair, C., Brewer, G. and Johnson, P.E., *J. Lab. Clin. Med.*, 112:549, 1993.
 42. Song, M.K., Rosenthal, M.J., Naliboff, B.D., Phanumas, L. and Kang, K.W., Effects of Bovine prostate powder on zinc, glucose and insulin metabolism in old patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus, *Metabolism* 47(1):39-43, 1998.
 43. Earle, K.E., Archer, A.G. and Baillie, J.E., Circulating and excreted levels of chromium after an oral glucose challenge : influence of body mass index, hypoglycemic drugs and presence and absence of diabetes mellitus, *Am. J. Clin. Nutr.*, 49:685-689, 1989.
 44. 주진순, 김종대, 최면, 박영의. 인슐린 투여가 정상쥐의 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 22(4):237-146, 1989.