韓國營養學會誌 : 第 17 卷 · 第 2 號 · 1984
Korean J. Nutr. Vol. 17, No. 2, 1984

식이내 Zn의 수준과 지방의 종류가 흰쥐의 지방대사에 미치는 영향

황 경 숙 • 김 미 경

이화여자대학교 식품영양학과

Effects of Dietary Zn Levels and Kinds of Lipid on the Lipid Metabolism in the Rats

Hwang Kyoung Suk, Kim Mi Kyung

Dept. of Food & Nutrition, Ewha Womans University

= ABSTRACT =

This study was performed to investigate the effect of various levels of Zn(0, 30, 3000 ppms) and different kinds of lipid(corn oil, sesame oil or butter) in the diet upon lipid metabolism and Zn & Cu concentration in various organs and tissues in weanling rats.

The results obtained were summarized as following :

1) Food consumptions, body weight gains and F.E.R.s showed no significant differences among groups.

2) The contents of total lipids and total cholesterols in serum tended to increase with increase in lipid saturation and Zn levels. Those in per *g* liver were higher in butter groups and tended to be higher in low Zn groups. Total lipids contents in per *g* muscle tended to be higher in butter and high Zn groups, but total cholesterols contents in per *g* muscle tended to be higher in corn oil and low Zn groups.

3) Liver, serum and fecal Zn concentrations tended to be higher in high Zn groups than other Zn groups. The Cu concentrations in liver and serum tended to be lower in high Zn groups. On the contrary, the Cu concentrations in urine tended to be higher in high Zn groups.

접수일자 : 1984. 4. 10.

서 론

최근 전 세계적으로 혈액 순환계 질병으로 인한 사망율이 증가하는 추세에 있으며, 그리하여 현재 혈액순환계 질병의 발생 요인으로 주목되고 있는 혈청 콜레스테롤의 증가에 대해 많은 관심이 쏠리고 있다[1)2)]. Klevay[1)3)]는 혈청의 콜레스테롤에 영향을 주는 요인으로 식이내 지방의 종류와 양을 비롯하여 설탕의 섭취, 식수의 경도(water hardness), 운동, 섬유소 섭취 등을 들었는데, 특히 후자의 네 가지 요인들은 작은 창자로부터 흡수되는 Zn/Cu ratio를 변화시키거나 혹은 흡수된 후 신체 여러 조직내에 보유되는 Zn/Cu ratio를 변화시킨다고 하였으며, Zn/Cu ratio가 증가될 때 혈청의 콜레스테롤 농도가 증가되어 혈액 순환계 질병을 초래한다고 하였다. 즉 콜레스테롤 대사에 Cu의 절대적인 양도 중요하지만, Zn/Cu ratio도 중요한 역할을 한다고 하여 최근에는 Cu 자체의 양보다 Zn/Cu ratio의 중요성이 대두되고 있다.

또한 식이내 지방의 종류를 변화시켰을 때 혈청 콜레스테롤에 미치는 영향에 대해서는 광범위하게 연구되어 지고 있는데, 많은 연구[4)5)6)]에서 동물성 지방을 식물성 지방으로 대치했을 때 혈청 콜레스테롤이 감소하였음을 보고하였다.

따라서 본 연구는 식이의 Cu 수준을 고정시키고 Zn의 수준과 지방의 종류를 달리 하였을 때 흰쥐의 체내 지방 대사 및 조직내의 Zn과 Cu 농도에 미치는 영향에 대해 알아보고자 시도되었다.

실 험 재 료

1) 실험동물의 사육

젖뗀 Spraque-Dawley종 수컷 흰쥐 54마리를 실험 시작전 2일간 환경에 적응시켜 평균 체중이 49.1±0.8 g인 쥐들을 체중에 따라 난괴법(Randomized Complete Block Design)에 의해 6마리씩 9군으로 나누어 6주간 Table 1과 같은 내용으로 사육하였다. 실험 동물의 사육시 일어날 수 있는 무기질의 오염을 방지하기 위하여 실험 시작전에 사육에 필요한 모든 기구, 즉 쥐장(aluminium wire cage), 대사장(metabolic cage), 식이 그릇, 물병 등을 ethylene diamine tetraacetate (EDTA, 4g/ℓ 탈이온 증류수) 용액으로 씻어서 탈이온 증류수로 헹군 뒤 실험 동물을 한 마리씩 분리 사육하였고, 물은 탈이온 증류수로 제한없이 먹게 하였다.

2) 실험 동물의 식이

실험 식이는 쥐의 Zn 요구량[7)]인 30ppm을 기준으로 하여 Zn의 수준을 0, 30, 300ppm으로 달리하여 식이내 Zn/Cu ratio를 변화시키고, 지방의 종류를 옥수수기름, 참기름, 버터로 달리해서 Table 2와 같이 준비하였다.

탄수화물 급원으로는 설탕(제일제당)을 사용하였고, 단백질 급원으로는 casein(호주 North Western Cooperative Dairy Co.)을 사용하였는데, 이때 casein은 그 속에 함유되어 있는 Zn 및 기타 무기질을 제거하기 위하여 casein을 EDTA 0.15% 용액에 씻고 탈이온 증류수로 3번 헹군뒤 건조시켜 마쇄한 것을 사용하였으며, 이렇게 처리된 casein 내 Zn 함량을 Atomic Absorption Spectrophotometer (Varian A.A. 180-80)로 측정해 본 결과 측정될 수 있는 양은 남아있지 않았다.

실 험 방 법

1) 식이 섭취량, 체중, 사료효율

전 실험기간을 통하여 각 군마다 식이 섭취량과 체중을 측정하였고, 사료 효율을 산출하였다.

2) 뇨, 변 혈액, 각종 장기의 채취

뇨와 변은 실험 마지막 주에 실험동물 54마리를 대

Table 1. Experimental design

Group[1)]	Zn level (ppm)	Lipid source (P/S ratio[2)])	
LZn-C	0	corn oil	(4.8)
LZn-S	0	sesame oil	(2.5)
LZn-B	0	butter	(0.08)
CZn-C	30	corn oil	(4.8)
CZn-S	30	sesame oil	(2.5)
CZn-B	30	butter	(0.08)
HZn-C	300	corn oil	(4.8)
HZn-S	300	sesame oil	(2.5)
HZn-B	300	butter	(0.08)

1) LZn : low Zn, CZn : control Zn, HZn : high Zn, C : corn oil, S : sesame oil, B : butter.
2) polyunsaturated fatty acid/saturated fatty acid ratio.

사장(metabolic cage)으로 옮겨 2일간 적응시킨 후 2일간 채취하였다. 뇨와 변의 채취에 필요한 모든 기구, 즉 대사장, 뇨 채취병, 핀셋트, 원심분리 시험관 등은 EDTA용액(4g/ℓ 탈이온 증류수)으로 씻어서 탈이온 증류수로 헹군 뒤 사용하였고, 뇨의 부패 방지와 질소 안정을 위해 뇨 채취병에 0.1% Hcl과 toluene을 소량 넣어 주었으며, 채취한 뇨는 탈이온 증류수로 100 mℓ가 되게 희석한 후 원심분리하여 상등액을 취하여 냉동 보관하였다. 변은 채취하여 젖은 상태로 냉동 보관하였다가 분석에 사용하였다.

Table 2. Composition of diets (/kg diet)

diets / ingredients	Corn oil diet	Sesame oil diet	Butter diet
Surcrose	710 g	710 g	710 g
Casein	200 g	200 g	200 g
Corn oil	45 g	–	–
Sesame oil	–	45 g	–
Butter	–	–	45 g
Cholesterol	10 g	10 g	10 g
Salt mixture*	35 g	35 g	35 g
VitaminA.D mixture[8]	1cc	1cc	1cc
Fat soluble vitamins[8]	2cc	2cc	2cc
Water soluble vitamins[8]	+	+	+
Vitamin B_{12}	1cc	1cc	1cc

* Salt Mixture[7]	(g/kg salt mixture)
Calcium phosphate, dibasic	500.0
Sodium chloride	74.0
Potassium citrate, monohydrate	220.0
Potassium sulfate	52.0
Manganous carbonate	3.5
Magnesium oxide	24.0
Ferric citrate	6.0
Zinc carbonate	※
Cupric carbonate	0.3
Potassium iodate	0.01
Sodium selenite	0.01
Chromium potassium sulfate	0.05
Sucrose, finely powdered	to make 1,000.0

※ low Zn diet : 0g/kg salt mixture
control Zn diet : 1.6g/kg salt mixture
high Zn diet : 16g/kg salt mixture

혈액은 실험 기간 종료후 12시간 굶긴 쥐들을 ethyl-ether로 마취시킨 뒤 심장으로부터 채취하였으며, 채취한 혈액을 2,000r.p.m.에서 30분간 원심분리시켜서 혈청을 얻은 후 분석전까지 냉동 보관하였고, 원심분리 시험관은 EDTA용액(4g/ℓ 탈이온 증류수)으로 씻어서 탈이온 증류수로 헹구어서 말린 것을 사용하였다.

혈액을 채취한 즉시 실험 동물로부터 간과 뒷다리 근육(Gastrocnemius, Soleus, Plantaris를 합한 부위)을 떼어 내어 무게를 측정한 후 냉동 보관하였다가 분석에 사용하였는데, 이 때 해부도구는 무기질의 오염을 방지하기 위해 EDTA용액 (4g/ℓ 탈이온 증류수)으로 씻어 탈이온 증류수로 헹군 뒤 건조시켜 사용하였다.

3) 뇨, 변, 혈액 각종 장기의 분석

혈청과 간, 뒷다리 근육, 변내의 총 지방(total lipids) 함량 및 총 콜레스테롤(total cholesterol) 함량과 혈청, 간, 뇨, 변내의 Zn 및 Cu 농도를 측정하였다. 혈청내의 총 지방 함량은 Frings의 방법[9]을 이용하여 측정하였고, 간, 뒷다리 근육, 변내의 총 지방함량은 Folch 등의 방법[10]을 이용하였고 혈청, 간, 뒷다리 근육변내의 총 콜레스테롤 함량은 Zak의 방법[11]을 이용하여 측정하였다. 혈청, 간, 뇨, 변내의 Zn과 Cu농도는 Thomson-Blanchflower법[12]에 의하여 Atomic Absorption Spectrophotometer(Varion A.A. 180-80)로 Zn은 213.9nm, Cu는 324.8nm에서 측정하였는데, 무기질 측정 실험에 사용된 모든 기구는 EDTA용액(4g/ℓ 탈이온 증류수)으로 씻어서 탈이온 증류수로 헹군뒤 사용하였다.

4) 통계처리

Pooled sample을 사용한 경우를 제외한 모든 실험 분석결과는 통계처리를 하여 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하였고, 각 실험군의 평균치간의 유의성 검정은 $\alpha=0.05$ 수준으로 Scheffé법 또는 Tukey 법에 의하여 행하여졌는데, 각 실험군의 sample 수가 같은 경우에는 Tukey법을, 다를 경우에는 Scheffé법을 이용하였다.

결과 및 고찰

1) 식이섭취량, 체중증가량, 사료효율(Table 3)

식이섭취량은 실험 전 기간을 통하여 식이내 Zn 수준과 지방의 종류에 관계없이 통계적으로 유의성을 찾아볼 수 없었다. 이는 흰쥐에게 Zn 결핍 식이를 주었을 때 6주간의 총 식이섭취량에 거의 차이가 없었던

Prasad의 실험[13]과 같은 결과를 보이며, 과잉의 Zn 섭취시 식이섭취량이 감소한다는 Van Reen[14]의 보고와는 일치하지 않았는데, Van Reen의 실험에서 투여한 Zn 수준은 5,000ppm으로 본 실험에서 투여한 300ppm보다 매우 높기 때문이라고 생각된다.

체중증가량은 대체적으로 실험군간에 유의적인 차이가 없었고, 간과 뒷다리 근육의 무게 역시 본 표에는 수록하지 않았으나 실험군간에 유의적인 차이가 없었다. 이것은 쥐에게 식이 지방의 종류를 달리하였을 때 모든 실험군들에서 체중증가량에 차이가 없었다는 O'brien등의 실험[15] 결과와 일치하였고 또한 Fischer등의 실험[2]에서 식이내 Zn과 Cu의 수준을 변화시켰을 때 성장율에 영향이 없었다는 보고와 일치하였다.

사료효율은 Prasad의 실험[13]에서는 Zn 결핍 쥐의 경우 표준 쥐보다 사료효율이 낮다고 보고하였으나, 본 실험에서는 식이내 Zn 수준에 따른 차이가 나타나지 않았다.

Table 3. Food consumptions, Body weight gains and Feed efficiency ratios

	Food consumption (g/day)	Body weight gain (g/6 weeks)	Feed efficiency ratio
LZn-C	14.9 ± 1.1[1] N.S[2]	210.6 ± 13.9 N.S.	0.34 ± 0.03 N.S.
LZn-S	15.9 ± 1.5	237.9 ± 13.5	0.37 ± 0.03
LZn-B	15.8 ± 1.1	225.7 ± 15.5	0.35 ± 0.03
CZn-C	17.0 ± 1.4	246.5 ± 20.2	0.36 ± 0.03
CZn-S	16.1 ± 1.2	229.9 ± 11.4	0.35 ± 0.04
CZn-B	16.2 ± 1.3	222.5 ± 4.8	0.34 ± 0.03
HZn-C	15.1 ± 1.2	225.1 ± 11.9	0.36 ± 0.03
HZn-S	15.8 ± 1.2	225.2 ± 10.0	0.35 ± 0.02
HZn-B	15.6 ± 1.1	216.4 ± 11.9	0.34 ± 0.03

1) Mean ± S.E.
2) N.S. : Not significant among 9 groups at $\alpha = 0.05$ level by Tukey's test.

Table 4. Total lipid contents in serum, liver, hind limb muscle and feces

	Serum (mg/100ml serum)	Liver (mg/g wet liver)	Hind limb muscle (mg/g wet muscle)	Feces (mg/g wet feces)
LZn-C	593.67 ± 39.99[1]c[2]	96.50 ± 5.94 N.S.[3]	19.22 ± 1.04 N.S.	137.30
LZn-S	663.33 ± 119.18 bc	124.50 ± 11.57	19.20 ± 1.05	102.90
LZn-B	1206.67 ± 122.33 a	123.08 ± 12.66	19.78 ± 1.31	135.75
CZn-C	688.00 ± 82.74 abc	92.90 ± 11.50	20.48 ± 0.85	126.05
CZn-S	750.40 ± 84.04 abc	117.95 ± 17.66	20.12 ± 1.06	128.45
CZn-B	1180.67 ± 83.55 ab	107.43 ± 8.41	21.50 ± 0.74	148.80
HZn-C	742.00 ± 33.52 abc	99.12 ± 8.78	21.12 ± 1.12	129.90
HZn-S	853.20 ± 92.43 abc	106.02 ± 5.74	21.08 ± 0.63	129.00
HZn-B	1166.40 ± 70.39 ab	111.93 ± 7.90	22.27 ± 0.87	143.10

1) Mean ± S.E.
2) Values not followed by the same letter are significantly different among groups at $\alpha = 0.05$ level by Scheffé's test.
3) Not significant among 9 groups at $\alpha = 0.05$ level by Tukey's test.

2) 혈청, 간, 뒷다리 근육, 변내의 총 지방함량(Table 4)

혈청의 총 지방 함량은 지방의 포화도가 클수록 높게 나타나, 버터군들이 식이내 Zn 수준에 관계없이 다른 지방 식이군에 비해 유의적으로 높았으며, 참기름군들은 옥수수 기름군들에 비해 유의적은 아니나 높은 경향을 보였고, Zn의 수준에 따라서는 Zn의 수준이 높을수록 혈청의 총 지방 함량이 높은 경향을 보였다. 식물성 지방군이 동물성 지방군보다 혈청의 총 지방량이 낮다는 것은 Beveridge의 실험[16]에서도 나타났는데 Beveridge의 실험에 의하면 5명의 건강한 남자에게 총 열량에 대한 지방의 함량을 28%에서 58%로 증가시킬 때 지방의 종류를 식물성 지방으로 주었을 때는 혈청의 지방이 증가되지 않는 반면, 동물성 지방으로 준 경우 유의적으로 증가되었다. Spritz등[17]은 식이내 지방의 불포화도가 클수록 혈청의 지방량이 감소하는 것은 불포화 지방산이 혈장내의 지단백질(lipoprotein) 내에서 포화 지방산보다 많은 공간을 차지하기 때문에 결과적으로 지단백질내 지방 함량이 감소되기 때문이라고 하였다.

간의 g당 총 지방량은 유의적으로 큰 차이가 없으나 버터(P/S ratio = 0.08)군들과 참기름(P/S ratio=2.5)군들이 옥수수 기름(P/S ratio = 4.8)군들에 비해 높은 경향을 보였다. 이러한 결과는 필수 지방산 결핍시 간에서 콜레스테롤이 포화지방산과 콜레스테롤 에스터(cholesterol ester)를 많이 형성하는데 이 포화된 콜레스테롤 에스터는 간에서 대사가 잘 일어나지 않으므로 간에 축적되고 따라서 필수지방산 결핍군이 간의 총 콜레스테롤과 지방량이 높았다는 Alfin-Slater의 보고[18]와 linoleic acid 함량이 높은 지방이 간내 지방산 합성을 억제한다는 Sabine등의 보고[19]로 설명할 수 있다.

변의 g당 지방 함량은 대체로 버터군들이 다른 두 지방군들에 비해 높게 나타났으나 Zn의 수준에 따른 일정한 경향은 볼 수 없었다. Koo등[20]은 Zn 결핍시 TG의 흡수가 감소된다고 보고했는데, 이는 Zn의 결핍시 장점막 세포내 단백질 합성이 손상되며, 따라서 단백질이 부족되기 때문에 TG의 흡수 과정중 chylomicron의 형성이 잘 되지 않기 때문으로 보았다. 그러나 본 실험에서는 식이내 Zn의 수준에 따른 일정한 경향이 나타나지 않았는데, 시료량의 부족으로 pooled sample을 사용하였기 때문에 일정한 경향 파악이 어려웠다.

3) 혈청, 간, 뒷다리 근육, 변내 콜레스테롤 함량 (Table 5)

혈청의 총 콜레스테롤 함량은 식이내 지방의 종류에 따라서는 포화도가 높을수록, 즉 버터군이 참기름군보다, 참기름군이 옥수수 기름군보다 높은 경향을 보였고, 식이 Zn 수준에 따라서는 Zn의 수준이 높을수록 즉, 식이내 Zn/Cu ratio가 증가될수록, 혈청 콜레스테롤 함량이 높은 경향을 보여 LZn-C(0 ppm Zn-옥수수)군이 가장 낮고 HZn-B(300 ppm Zn-버터)군이 가장

Table 5. Total cholesterol contents in serum, liver, hind limb muscle and feces

	Serum (mg/100ml serum)	Liver (mg/g wet liver)	Hind limb muscle (mg/g wet muscle)	Feces (mg/g wet feces)
LZn-C	38.33 ± 6.50[1]c[2]	46.67 ± 2.49 ab[3]	1.78 ± 0.07 a[3]	25.55
LZn-S	59.67 ± 7.45 bc	59.73 ± 3.39 a	1.59 ± 0.07 ab	19.17
LZn-B	90.67 ± 15.66 bc	56.13 ± 9.29 a	1.24 ± 0.07 ab	21.00
CZn-C	53.50 ± 3.17 bc	24.20 ± 7.56 b	1.38 ± 0.07 ab	23.16
CZn-S	100.25 ± 6.59 abc	36.80 ± 5.84 ab	1.43 ± 0.05 ab	25.50
CZn-B	131.00 ± 19.31 ab	58.90 ± 5.42 a	1.42 ± 0.05 ab	28.60
HZn-C	43.00 ± 3.08 bc	38.60 ± 7.07 ab	1.69 ± 0.09 ab	36.86
HZn-S	110.50 ± 16.13 abc	49.67 ± 4.97 ab	1.27 ± 0.04 ab	29.30
HZn-B	173.25 ± 14.73 a	50.60 ± 6.37 ab	1.05 ± 0.04 b	24.51

1) Mean ± S.E.
2) Values not followed by the same letter are significantly different among groups at $\alpha = 0.05$ level by Scheffé's test.
3) Values not followed by the same letter are significantly different among groups at $\alpha = 0.05$ level by Tukey's test.

높았다. 지방의 포화도가 클수록 혈청의 콜레스테롤 함량이 높은 것은 식물성 지방에 많은 고급 불포화지방산이 혈청 콜레스테롤을 감소시키는 효과가 있고, 포화지방산은 혈청 콜레스테롤을 증가시킨다는 많은 보고들[5)15)21)22)23)]과 일치한다. 불포화 지방산의 이러한 효과는 고급 불포화 지방산의 섭취 증가시 변으로의 콜레스테롤과 담즙산의 배설이 증가되고[4)24)], 고급 불포화 지방산이 콜레스테롤과 형성한 콜레스테롤 에스터가 포화 지방산의 콜레스테롤 에스터보다 근육 및 기타 체조직내로 더 많은 양이 흡수, 축적되므로써[6)15)], 혈액내 콜레스테롤을 감소시키기 때문이라 하였다. 그러나 콜레스테롤과 plant sterol을 동시에 섭취할 경우 콜레스테롤 섭취에 의하여 초래되는 hypercholesterolemic effect가 감소되며, plant sterol의 첨가 비율을 높일 경우 hypercholesterolemic effect가 없어졌다는 O'brien 등의 실험[15)]으로 미루어 볼 때 식물성 지방인 옥수수 기름과 참기름에 의한 혈청 콜레스테롤의 감소는 앞에서 언급한 지방의 P/S ratio에 의한 효과 뿐만 아니라 plant sterol 자체의 영향도 받았으리라 추측된다. 또한 혈청 콜레스테롤이 Zn이 수준이 높을수록 증가하는 것은 과잉의 Zn 섭취시 식이 Zn/Cu ratio가 증가되어 혈청의 콜레스테롤이 증가한다는 보고[1)2)3)25)]와 Zn를 결핍시킨 두 명의 지원자들의 있어서 혈청 콜레스테롤이 감소되었다는 보고[25)]와 일치하였다. Klevay[1)3)26)27)]는 Zn/Cu ratio의 증가가 혈청 콜레스테롤을 증가시키는 원인을 다음과 같이 설명하였다. Cu의 결핍시 체내에서 담즙산의 합성과 분비가 감소되고[26)], 간에서의 콜레스테롤 합성이 증가되며[26)], 간으로부터 혈장 내로 콜레스테롤 방출이 증가되고[26)27)] 간외의 다른 부위에서의 콜레스테롤 이용율이 감소되어[26)] 결과적으로 혈청의 콜레스테롤이 증가한다. 그런데 Zn은 이러한 역할을 하는 Cu에 대하여 길항작용을 하기 때문에 적당량의 Cu를 섭취한 경우에도 과잉 섭취한 Zn에 의하여 Cu 결핍 현상이 나타나 혈청내 콜레스테롤이 증가하며[28)], Cu의 결핍시 초래되는 hypercholesterolemic effect가 과잉 Zn의 섭취에 의해 더욱 악화된다고 한다[25)].

간의 g당 총 콜레스테롤 함량은 식이 지방의 종류에 따라 보면 대체로 포화도가 높을수록 높으며, 식이내 Zn 수준에 따라 보면 Zn의 수준이 낮을수록 높았다. 지방의 포화도가 높을수록 높은 경향을 보인 것은 앞의 간의 g당 지방 함량에서 언급한 Alfin-Slater 등의 실험[18)]으로 설명할 수 있고, Zn 결핍시 Zn 과잉군에 비해 간의 g당 총 콜레스테롤 함량이 높은 것은 Zn의 과잉 섭취시 식이내 Zn/Cu ratio가 증가되어 간으로부터 혈액내로 콜레스테롤 방출이 증가되었기 때문[26)]으로 본다.

뒷다리 근육의 g당 총 콜레스테롤 함량은 대체로 Zn 결핍군들이 Zn 과잉군들에 비해 높은 경향을 보였으며, 식이내 지방의 종류에 따라 보면 옥수수 기름군들과 참기름군들이 버터군들에 비해 높은 경향을 보였다. Bieberdorf 등[6)]은 고급 불포화 지방산이 콜레스테롤과 형성한 콜레스테롤 에스터가 포화 지방산의 콜레스테롤 에스터보다 근육 및 기타 체조직에 더 많은 양이 흡수 축적된다고 하였고, Gerson의 실험[21)] 에서는 흰쥐에게 10% 옥수수 기름을 주었을 때 근육 및 기타 체조직의 콜레스테롤이 증가되었음을 보여주었다. 따라서 포화 지방군에 비해 불포화 지방군에서 혈청 콜레스테롤이 낮은 것은 부분적으로 근육이나 기타 체조직에 콜레스테롤의 축적이 증가됨에 기인한 것으로 생각된다. Zn의 수준에 따라 볼 때 Zn 결핍군들보다 Zn 과잉군들의 총 콜레스테롤 함량이 낮은 것은 Zn 과잉 섭취시 식이내 Zn/Cu ratio의 증가로 인하여 간이외의 다른 조직에서 혈청 콜레스테롤 이용율이 감소되기 때문[26)]이다.

변의 g당 총 콜레스테롤 함량은 대체로 옥수수 기름과 참기름군들이 버터군들에 비해 높았고 Zn과잉군들이 표준 Zn군들과 결핍 Zn군들에 비해 높았다. 이것은 쥐나 사람에 있어서 식이내 포화 지방산을 불포화 지방산으로 대치시켰을 때 변으로의 콜레스테롤 배설이 증가되어 hypocholesterolemic effect가 있다는 많은 보고[4)21)24)]와 일치하는 것이다.

4) 혈청, 간, 뇨, 변의 Zn 및 Cu 농도(Table 6)

간의 g당 Zn 농도는 실험군들간에 유의적인 차이는 없었으나 과잉 Zn군이 결핍 Zn과 표준 Zn군에 비해 높은 경향을 보였고 Cu의 농도는 유의적인 차이는 없었으나 결핍 Zn군이 다른 군들에 비해 다소 높은 경향을 보였다. Huber 등의 실험[29)]에서는 식이내 Zn의 수준을 결핍(1~6ppm), 표준(15~16.3ppm), 과잉(1550 ppm)수준으로 달리 하였을 때 과잉 수준 섭취시 대부분의 조직에서 Zn 수준이 증가하였고, Magee 등의 연구[30)]에서는 5000~10000ppm의 Zn를 섭취시켰을 때 간내 Cu 농도가 유의적으로 감소하였는데, 본 실험에서 간내 Zn과 Cu 농도가 식이 Zn 수준에 따라 유의적인 큰 차이를 보이지 않았던 것은 가장 높았던 식이 Zn수준이 300ppm으로 위의 실험들에 비하여 다소 낮았기 때문이라 생각된다.

Table 6. Zn and Cu concentrations in liver, serum, urine and feces

(ppm)

	Liver		Serum		Urine		Feces	
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
	N.S.[2]	N.S.[2]			N.S.[3]	N.S.[3]		N.S.[2]
LZn－C	29.08± 5.84[1]	5.73±1.63	1.90	1.44	0.84±0.20	0.28±0.05	313.99± 13.65 b[4]	147.25±27.28
LZn－S	44.49± 3.20	6.53±0.50	2.35	1.20	1.65±0.35	0.22±0.08	304.68± 31.89b	155.34±11.25
LZn－B	29.98± 2.14	4.52±0.41	2.40	1.26	2.09±0.48	0.24±0.06	187.65± 54.05 b	109.79±22.32
CZn－C	32.35± 2.19	4.68±1.56	2.10	1.59	0.69±0.13	0.32±0.07	870.41±170.28 b	108.31±15.39
CZn－S	29.63± 1.60	3.82±0.65	2.88	1.11	1.38±0.37	0.63±0.17	1177.75± 72.46 b	137.24±23.58
CZn－B	33.06± 4.00	4.49±0.68	2.86	1.58	1.55±0.32	0.43±0.15	970.43±291.74 b	151.45±22.68
HZn－C	37.68± 4.38	4.18±1.50	2.45	1.02	1.68±0.12	0.39±0.03	2398.91±244.77 a	138.81±17.63
HZn－S	47.85± 5.37	3.97±0.36	2.75	0.99	1.83±0.38	0.48±0.14	3527.44±164.74 a	220.08±68.62
HZn－B	56.12±17.30	4.21±1.32	3.65	1.38	1.52±0.15	0.58±0.16	3364.07±312.56 a	161.52±21.02

1) Mean±S.E.
2) Not significant among 9 groups at $\alpha=0.05$ level by Scheffé's test.
3) Not significant among 9 groups at $\alpha=0.05$ level by Tukey's test.
4) Values not followed by the same letter are significantly different among groups at $\alpha=0.05$ level by Scheffé's test.

혈청내 Zn과 Cu의 농도는 시료량의 부족으로 각 실험군당 시료를 모아 분석하였기 때문에 통계처리는 할 수 없었으나, 혈청내 Zn의 농도는 식이 Zn 수준에 따라 보면 과잉의 Zn를 섭취한 군들이 Zn 결핍군들보다 대체로 높았다. 혈청내 Cu의 농도는 Zn 과잉 섭취군들이 다른 수준의 Zn군들보다 낮았으나 실험군들간에 큰 차이는 없었다. 식이 Zn 수준이 표준 이하인 쥐에서 혈청내 Zn수준이 낮은 것은 조직내 Zn가 혈청의 Zn 농도를 유지하기 위하여 이용되지 않기 때문에 혈청의 Zn 농도가 감소하였다는 Smith의 보고[31]와 일치하였다. 한편 과잉 Zn섭취시 혈청의 Cu 농도가 감소된 것은 Magee[30]가 보고한 것과 같이 과잉의 Zn 섭취시 뇨를 통한 Cu의 배설이 증가되었기 때문으로 보인다.

뇨의 Zn 농도는 실험군간에 유의적인 차이가 없었는데 이것은 체내 Zn량은 흡수를 통해 조절되기 때문에 Zn의 소변내 배설량은 식이 Zn 수준에 관계없이 거의 일정하다는 보고[32]와 일치된 결과를 보여 주었다. 뇨의 Cu 농도는 실험군간에 유의적인 차이는 볼 수 없었으나 Zn 결핍군들에 비해 과잉의 Zn섭취군들의 경우 높은 경향을 보였다. Magee 등[30]은 흰쥐에게 0.5~1% Zn(5000~10000 ppm)를 투여할 때 뇨의 Cu 농도가 유의적으로 증가하였으며, 이것은 Zn가 뇨를 통한 Cu의 배설을 증가시킴으로써 Cu 대사를 방해함을 뜻한다고 보고하였다. 본 실험에서는 과잉의 Zn 섭취시 뇨의 Cu 농도가 증가하는 경향만 나타났는데, 이는 Magee의 실험에 비해 본 실험의 Zn 과잉 식이에 첨가한 Zn 수준이 300 ppm으로 낮기 때문이라 본다.

변으로 배설되는 Zn는 대부분 체내에서 흡수되지 않는 Zn이다. 본 실험에서 변의 Zn 농도는 과잉의 Zn 섭취군들이 다른 수준의 Zn 섭취군들에 비해 유의적으로 높았으며 표준 Zn 섭취군들은 Zn 결핍군들에 비해 유의적이지는 않지만 높은 경향을 보였다. Cu 농도는 실험군들간에 유의적인 차이가 없었으나 HZn-S(300 ppm Zn-참기름)군과 HZn-B(300 ppm Zn-버터)군에서 약간 높은 경향이 있었다. Zn과 Cu는 길항 작용을 하여 Zn가 Cu의 흡수를 방해한다[2)33)34)]고 하는데, 본 실험의 변내 Cu 농도는 식이 Zn 수준에 따른 유의적인 차이를 볼 수 없었다. 이것은 Van Campen 등의 실험[35]에서 Zn/Cu ratio가 500:1인 경우 쥐의 위와 십이지장에서 Cu의 흡수가 거의 60%까지 억제되었으나 50:1인 경우에는 Cu의 흡수에 영향이 없었다는 보고로 설명할 수 있겠다. 즉 Zn 수준이 매우 높을 때(500배 정도)에만 Cu의 흡수에 영향을 주는데, 본 실험은 50배 정도이므로 Zn의 수준이 Cu 흡수에 별 영향을 미치지 못한 것으로 보인다.

결 론

본 연구는 식이내 Zn의 수준과 지방의 종류를 달리 하였을 때 흰쥐의 체내 지방 대사 및 Zn, Cu 농도에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 실시하였다. 본 실험의 결과를 종합해 보면, 혈청의 총 지방 함량과 총 콜레스테롤 함량은 Zn의 수준이 높을수록, 지방의 포화도가 클수록 증가되었고, 간의 총 지방 함량과 총콜레스테롤 함량은 Zn의 수준이 낮을수록, 지방의 포화도가 클수록 증가되었다. 뒷다리 근육의 총 지방 함량은 Zn의 수준이 높을 때 증가되었으나 총 콜레스테롤 함량은 Zn의 수준과 지방의 포화도가 낮을수록 증가되었고, 변의 총 지방 함량은 지방의 포화도가 클수록 증가되었으나 총 콜레스테롤 함량은 지방의 포화도가 낮을수록 Zn의 수준이 높을수록 증가되었다.

Zn과 Cu의 농도를 살펴 보면, 변으로 배설되는 Zn 과잉 섭취군들에서 매우 높아 다른 군들에 비해 유의적인 차이를 보였으나, 이외의 체내 Zn과 Cu 농도는 식이내 Zn 수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 과잉의 Zn 섭취시 혈청과 간에서의 Zn 농도는 다소 높았고 Cu의 농도는 다소 낮았으며, 뇨로 배설되는 Cu 농도는 식이내 Zn의 수준이 높을 수록 증가하는 경향이었다.

REFERENCES

1) Klevay, L.M.: *Hypercholesterolemia in rats produced by an increase in the ratio of zinc to copper ingested. Am. J. Clin. Nutr. 26:1060–68, 1973.*

2) Fischer, P.W.F., Giroux, A., Belonje, B. & Shah, B.G.: *The effect of dietary copper and zinc on cholesterol metabolism. Am. J. Clin. Nutr. 33: 1019–25, 1980.*

3) Klevay, L.M.: *Coronary heart disease: the zinc /copper hypothesis. Am. J. Clin. Nutr. 28:764–74, 1975.*

4) Connor, W.E., Witiak, D.T., Stone, D.B. & Armstrong, M.L.: *Cholesterol balance and fecal neutral steroid and bile acid excretion in normal men fed dietary fats of different fatty acid composition. J. Clin. Invest. 48:1363–75, 1969.*

5) Ahrens, E.H., Blankenhorn, D.H. & Tsaltas, T.T.: *Effect on human serum lipids of substituting plant for animal fat in diet. Proc. Soc. Exp. Biol. 86:872–78, 1954.*

6) Bieberdorf, F.A. & Wilson, J.D.: *Studies on the mechanism of action of unsaturated fats on cholesterol metabolism in the rabbit. J.Clin. Invest. 44:1834–44, 1965.*

7) AIN Standards for nutrition studies report.: *J. Nutr. 107:1340–48, 1977.*

8) 정해랑 · 김미경 : 식이내 단백질과 철분 수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, *15(4): 258–67, 1982.*

9) Frings, C.S. & Dunn, R.T.: *A colorimetric method for determination of total serum lipids based on the sulfo–phospho–vanillin reaction. Am. J. Clin. Patho. 53:89–91, 1970.*

10) Folch, J., Ees, M.L. & Spaanley, G.H.S.: *A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem. 226:497–509, 1957.*

11) Seligson, B.: *Standard Method of Clinical Chemistry, p 79, New York: Academic Press Inc., 1968.*

12) Thomson, R.H. & Blanchflower, W.J.: *Wet–ashing apparatus to prepare biological materials for atomic absorption spectrophotometry. Lab. Prac. 20: 859–61, 1971.*

13) Prasad, A.S., Oberleas, D., Wolf, P. & Horwitz, J.P.: *Studies on zinc deficiency: changes in trace elements and enzyme activities in tissues of zinc–deficient rats. J. Clin. Invest. 49:549–57, 1967.*

14) Van Reen, R.: *Effects of excessive dietary zinc in the rat and the interrelationship with copper. Arch. Biochem. Biophys. 46:337–44, 1953.*

15) Obrien, B.C., Skutches, C.L., Henderson, G.R. & Reiser, R.: *Interrelated effects of food lipids on steroid metabolism in rats. J. Nutr. 107:1444–54, 1977.*

16) Beveridge, J.M.R., Connell, W.F., Mayer, G., Firstbrook, J.B. & DeWolfe, M.: *The effects of certain vegetable and animal fats on plasma lipids of humans. J. Nutr. 56:311, 1955.*

17) Spritz, N. & Hishkel, M.A.: *Effects of dietary*

fats on plasma lipids and lipoprotein: an hypothesis for the lipid-lowering effect of unsaturated fatty acids. J. Clin. Invest. 48:78-86, 1969.

18) Alfin-Slater, R.B., Aftergood, L., Wells, A.F.& Deuel, H.J. Jr. : *The effect of essential fatty acid deficiency on the distribution of endogenous cholesterol in the plasma and liver of the rat. Arch. Biochem. Biophys. 52: 180 - 85, 1954.*

19) Sabine, J.R., Mc Grath, H. & Abraham, S.: *Dietary fat and the inhibition of hepatic lipogenesis in the mouse. J. Nutr. 98:312-18, 1969.*

20) Koo, S.I. & Turk, D.E.: *Effect of zinc deficiency on intestinal transport of triglyceride in the rat. J. Nutr. 107: 909-19, 1977.*

21) Gerson, T. & Shorland, F.B. : *The effects of corn oil on the amounts of cholesterol and the excretion of sterol in the rat. Biochem. J. 81: 584-91, 1961.*

22) Ernst, N. & Levy, R.I. : *Modern Nutrition in Health and Disease, 6th ed. p. 1047, Lea & Febiger.*

23) Crocker, P.J., Fitch, M. & Ostwald, R.: *Effcets of the unsaturation of dietary fat and of arachidonate supplementation on cholesterol pool expansion in the guinea pig. J. Nutr. 109: 927-38, 1979.*

24) Moore, R.B., Anderson, J.T., Taylor, H.L., Keys, A. & Frantz, I.D. : *Effect of dietary fat on the fecal excretion of cholesterol. J. Cli. Invest. 47: 1517-34, 1968.*

25) Mertz, W. : *Nutrition, Lipids and Coronary Heart Disease, p. 183, edited by R.Levy, B.Rifkind, B. Dennis and N. Ernst. Raven Press, New York, 1979.*

26) Allen, K.G.D. & Klevay, L.M. : *Cholesterolemia and cardiovascular abnormalities in rats caused by copper deficiency. Atherosclerosis. 29: 81-93, 1978.*

27) Allen, K.G.D. & Klevay, L.M. : *Copper deficiency and cholesterol metabolism in the rat. Atherosclerosis. 31:259-71, 1978.*

28) Smith, S.E. & Larson, E.J. : *Zinc toxicity in rats. J. Biol. Chem. 163:29-38, 1945.*

29) Huber, A.M. & Gershoff, S.N. : *Effects of dietary zinc and calcium on the retention and distribution of zinc in rats fed semipurified diets. J. Nutr. 100: 949-54, 1970.*

30) Magee, A.C. & Matrone, G.: *Studies on growth, copper metabolism and iron metabolism of rats fed high levels of zinc. J. Nutr. 72: 233-42, 1960.*

31) Smith, J.C. & Halsted, J.A. : *Clay ingestion (geophagia) as a source of zinc for rats. J. Nutr. 100: 973-80, 1970.*

32) Spencer, H., Asmussen, C.R., Holtzman, R.B. & Kramer, L. : *Metabolic balances of cadmium, copper, manganese, and zinc in man. Am. J. Clin. Nutr. 32: 1867-75, 1979.*

33) Sandstead, H.H. : *Zinc interference with copper metabolism. JAMA. 240(20) : 2188-89, 1978.*

34) Van Campen, D.R. & Scaife, P.U.: *Zinc interference with copper absorption in rats. J. Nutr. 91: 473-76, 1967.*

35) Van Campen, D.R. : *Effects of zinc, cadmium, silver and mercury on the absorption and distribution of copper-64 in rats. J. Nutr. 88: 125-30, 1966.*