

식이내 단백질과 철분수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사에 미치는 영향

정 해 랑 · 김 미 경

이화여자대학교 식품영양학과

Effect of Different Levels of Dietary Protein and Iron on the Fe, Cu and Zn Metabolism in Rats

Jung Hae - Rang, Kim Mi - Kyung

Department of Food & Nutrition, Ewha Womans University, Seoul, Korea

= ABSTRACT =

This study was performed to investigate the effect of different levels of protein and iron in the diet upon Fe, Cu and Zn metabolism in rats during four weeks of growing period.

Forty-five male weanling rats of Sprague-Dawley strain weighing $68.5 \pm 1.1g$ were divided into 9 groups and each group was given with one of the 9 different kinds of diets for four weeks. The three dietary protein levels used were 5, 20 and 40% and Fe levels 0, 35, and 350 ppms.

The results obtained were summarized as following ;

1) Food intake and body weight gain in 20%(SP) and 40%(HP) dietary protein groups tended to be significantly higher than 5%(LP) protein groups. Protein efficiency ratio (PER) was higher in LP groups than in HP and SP groups. With dietary Fe levels, there were no significant differences among groups in food intake, body weight gain, and PER.

2) In LP groups, the Fe concentrations in liver, kidney, and hind limb muscle were higher than in SP and HP groups. Regarding with dietary protein levels, the liver Cu concentrations in LP groups were slightly higher, but the liver Zn concentrations were lower in LP groups. The Fe concentrations in liver and kidney tended to decrease with decrease in dietary Fe levels, but Cu and Zn concentrations showed no consistent tendency with dietary Fe levels.

3) The Fe, Cu and Zn concentrations in serum were not different from dietary treatments

접수일자 : 1982. 11. 10.

except that the serum Fe concentrations increased slightly in LP groups.

4) The Fe and Cu concentrations in urine tended to be higher in HP groups. Fecal Cu and Zn concentrations showed no significant differences in dietary protein or Fe levels, but the Fe concentrations tended to increase with increase in dietary Fe levels.

서 론

단백질은 무기질의 체내 대사에 영향을 미쳐 단백질의 결핍은 철분의 체내이용율을 저하시키며¹⁾²⁾³⁾ 간내 구리의 농도를 증가시키고⁴⁾ 단백질 부족이 이차적으로 아연의 결핍을 초래한다⁵⁾는 등의 연구보고들이 있다.

한편 Hoekstra⁵⁾는 철분, 구리, 아연이 체내에서 상호 밀접한 영향을 미침을 보고하였는데 이것은 이들 원소가 장내결합부위에서 서로 경쟁함으로써 흡수율이 나 체내 보유량에 영향을 미치기 때문이라고 하였다⁶⁾ 7)8). 또한 식이내 철분의 수준을 증가시키면 조직내 구리 농도가 감소되며⁹⁾ 식이내 구리를 결핍시킨 쥐에서 간내 많은 량의 철분이 축적되었다¹⁰⁾고 하였으며 철분결핍 쥐에서 아연의 흡수는 유의적으로 증가하였고⁸⁾ 인체에 아연이 결핍되면 철분 결핍성 빈혈이 나타난다고 하였다⁷⁾

이에 본 연구에서는 철분의 결핍이 인류에게 빈번하게 나타나는 결핍증 중의 하나이며 특히 성장기 동안에 발생빈도가 높다^{7) 11) 12)}는 점에 비추어 이유기의 쥐의 식이내 단백질과 철분의 수준을 달리 하였을 때 이들이 체내 철분, 구리, 아연의 이용에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 시도되었다.

실 험 방 법

1. 실험동물의 사육 :

실험동물은 젃 펜 Sprague-Dawley 종 수컷 45마리를 20% casein 표준식이로 3일간 적응시킨 후 체중에 따라 9군으로 나누어 4주 동안 Table 1 과 같은 내용으로 사육하였다. 이때 평균 체중은 $68.5 \pm 1.1g$ 이었다.

흰 쥐는 스테인레스 스틸 쥐장에 분리 사육하였고 물은 탈이온증류수 (deionized distilled water)를 매일 주어 제한없이 먹게 하였다. 무기질 오염을 방지하기 위하여 쥐장 및 사육에 사용되는 모든 기구는 4g/l EDTA (Ethylene Diamine Tetra-Acetic acid)에 세

척 후 탈이온증류수로 헹구어 사용하였다.

2. 실험동물의 사료 :

실험에 사용한 사료의 구성성분은 Table 2 와 같다.

사료의 탄수화물 급원으로 옥수수 녹말, 지방 급원으로는 면실유를 사용하였으며 단백질은 casein을 사용하였다. 각종 무기질을 제거한 casein 을 얻기 위하여 casein 을 1.5% EDTA 로 씻고 탈이온증류수로 헹군 뒤 40~50℃의 오븐에서 24 시간 건조하였다. 건조된 casein 은 20mesh 로 분쇄하여 사용하였다.

3. 실험방법 :

전 실험기간을 통하여 각 군마다 사료섭취량과 체중을 측정하였고 단백질효율 (PER) 을 산출하였다. 간, 신장, 뒷다리근육, 혈청, 뇨, 변내의 Fe, Cu, Zn 농도를 Thompson-Blanchflower 법 (14) 에 의하여 Atomic Absorption Spectrophotometer (IL-751형) 로 Fe 는 248.3nm, Cu 는 324.7nm, Zn 은 213.9nm 에서 측정하였다.

무기질 측정 실험에 사용된 가위, 핀셋 등의 기구는

Table 1. Experimental design

Group*	Dietary levels	
	Protein(%)	Fe (ppm)
LP - LFe	5	0
LP - SFe	5	35
LP - HFe	5	350
SP - LFe	20	0
SP - SFe	20	35
SP - HFe	20	350
HP - LFe	40	0
HP - SFe	40	35
HP - HFe	40	350

* LP : 5% protein, LFe : 0 ppm Fe
 SP : 20% protein, SFe : 35 ppm Fe
 HP : 40% protein, HFe : 350 ppm Fe

Table 2. Compositions of diets

Ingredients	Diets (/kg diet)		
	5 % Casein diet	20 % Casein diet	40 % Casein diet
Corn-starch	870 g	720 g	520 g
Casein	50 g	200 g	400 g
Cotton seed oil	45 cc	45 cc	45 cc
Salt mixture ①	40 g	40 g	40 g
Vitamin A, D mixture ②	1 cc	1 cc	1 cc
Fat soluble vitamins ③	2 cc	2 cc	2 cc
Water soluble vitamins ④	+	+	+
Vitamin B ₁₂ ⑤	1 cc	1 cc	1 cc

① Salt mixture

(g/kg Salt mixture)

Calcium carbonate	300.0
Dipotassium phosphate	322.5
Magnesium sulfate · 7H ₂ O	102.0
Monocalcium phosphate · 2H ₂ O	75.0
Sodium chloride	167.5
Ferric citrate · 6H ₂ O	*
Potassium iodide	0.8
Zinc chloride	1.56
Copper sulfate · 5H ₂ O	0.59
Manganous sulfate · H ₂ O	5

* LFe group : 0g
SFe group : 5.53g
HFe group : 55.30g

② Vitamin A, D mixture

(mg/cc corn oil)

Vitamin A	0.1 (850 I. U)
Vitamin D	0.01(85 I. U)

③ Fat soluble vitamin mixture

Alpha tocopherol acetate (Vit. E)	5 g
Menadion (Vit. k)	200 mg
Corn oil	200 cc

④ Water soluble vitamin mixture

(mg/kg diet)

Choline chloride	200
Thiamine hydrochloride	10

Riboflavin	20
Nicotinic acid	120
Pyridoxine	10
Calcium pantothenate	100
Biotin	0.05
Folic acid	4
Inositol	500
Para-amino benzoic acid	100

⑤ Vitamin B₁₂ solution

5 mg vitamin B₁₂/500 cc distilled water

외부로부터의 오염을 방지하기 위하여 0.5N HCl 용액에 24 시간 담가둔 후 탈이온증류수로 3번 헹궈내어 말려서 사용하였다.

실험 결과

1. 사료섭취량은 Table 3 과 같이 HP 군들과 SP 군들은 전 실험기간을 통하여 유의적인 차이가 없었으나 LP 군들은 실험 첫 주부터 사료섭취량이 다소 낮았으며 그 후 실험기간에도 SP, HP 군들에 비하여 유의적으로 낮았다. 철분수준에 따른 사료섭취량에는 식이 단백질 수준에 관계없이 유의적인 차이가 없었다.

2. 체중증가량은 Table 4 에서와 같이 전 실험기간을 통하여 SP 군들과 HP 군들 간에는 유의적인 차이가 없었으나 LP 군들은 SP 군들과 HP 군들에 비하여 유의적으로 낮았다. 전 실험기간을 통하여 체중이 가장 많이 증가한 군은 SP-SFe 군과 HP-SFe 군으로 4 주 동안 약 190g 의 체중이 증가한 반면 LP 군들은 25~30g 의 체중이 증가하여 전체 실험군 중 가장 낮았다.

3. Table 5 에서와 같이 단백질효율은 3 주까지 유의적인 아니나 SP 군들이 다소 높은 경향이였으며, 실험 마지막 주는 LP 군들이 SP, HP 군들보다 높았다. 철분수준에 따른 차는 4 주간에 걸쳐 거의 볼 수 없었다.

4. 간, 신장, 뒷다리근육 내의 Fe, Cu, Zn 농도는 Table 6, Table 7, Table 8 과 같다. 식이내 단백질 수준에 따라 보면 간에서는 SP, HP 군들에서 LP 군들에 비하여 Fe 와 Cu 농도가 유의적인 아니나 다소 낮았고 Zn 은 식이 단백질 수준의 20%에서 가장 높았고 5%에서 가장 낮았다. 식이내 철분의 수준이 증가할

Table 3. Food consumptions*

(g/week)

Group	Periods	1 week	2 week	3 week	4 week	5 week
LP - LFe		11.3 ± 0.4 NS**	10.8 ± 0.7 bc***	11.5 ± 0.6 bcd	12.3 ± 0.7 bcd	11.5 ± 0.0 bc
LP - SFe		10.7 ± 0.2	9.6 ± 0.5 c	9.6 ± 0.8 d	9.7 ± 1.3 d	9.9 ± 0.0 c
LP - HFe		11.0 ± 0.9	10.8 ± 1.1 bc	10.5 ± 0.6 cd	11.6 ± 1.5 cd	11.0 ± 1.1 c
SP - LFe		14.4 ± 0.7	15.5 ± 0.3 ad	17.2 ± 0.7 ab	17.2 ± 0.5 abcd	16.1 ± 0.4 ab
SP - SFe		14.7 ± 0.5	18.6 ± 0.5 a	19.9 ± 0.7 a	20.6 ± 0.9 a	18.5 ± 0.6 a
SP - HFe		14.6 ± 0.7	17.5 ± 0.7 a	19.3 ± 0.4 a	19.5 ± 1.1 abc	17.7 ± 0.6 a
HP - LFe		13.2 ± 0.4	16.9 ± 0.6 a	17.1 ± 0.8 abc	18.0 ± 0.4 abc	16.3 ± 0.5 ab
HP - SFe		14.3 ± 0.4	19.4 ± 0.4 a	19.7 ± 0.1 a	20.2 ± 0.4 a	18.4 ± 0.4 a
HP - HFe		14.0 ± 0.4	16.2 ± 0.9 ab	18.6 ± 0.8 a	19.9 ± 1.0 ab	17.2 ± 0.6 a

* Mean ± S. E.

** Not significant at $\alpha = 0.05$ level by Scheffes test.

*** Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

Table 4. Body weight gains *

(g/week)

Group	Periods	1 week	2 week	3 week	4 week	Total weight gains
LP - LFe		4.9 ± 1.6 b**	3.8 ± 2.8 b	10.0 ± 2.6 c	11.8 ± 2.1 b	30.5 ± 8.6 b
LP - SFe		4.5 ± 3.9 b	3.6 ± 4.5 b	6.2 ± 3.9 c	11.5 ± 6.6 b	25.8 ± 14.2 b
LP - HFe		4.2 ± 5.4 b	1.8 ± 1.7 b	6.8 ± 3.5 c	12.5 ± 8.2 b	25.2 ± 11.8 b
SP - LFe		37.4 ± 3.6 a	50.9 ± 4.5 a	24.0 ± 6.2 b	34.2 ± 6.4 ab	146.5 ± 19.9 a
SP - SFe		47.5 ± 1.6 a	61.4 ± 4.3 a	35.4 ± 2.3 ab	48.4 ± 6.3 a	192.7 ± 11.5 a
SP - HFe		43.9 ± 8.4 a	43.3 ± 5.9 a	46.7 ± 8.0 a	42.8 ± 9.5 a	176.7 ± 26.6 a
HP - LFe		40.5 ± 5.3 a	39.1 ± 5.3 a	34.2 ± 3.7 ab	36.9 ± 4.1 ab	150.7 ± 10.9 a
HP - SFe		48.9 ± 5.1 a	51.8 ± 7.5 a	44.6 ± 5.7 a	45.2 ± 4.0 a	190.6 ± 19.6 a
HP - HFe		55.2 ± 5.4 a	43.8 ± 11.9 a	46.6 ± 6.0 a	33.8 ± 14.0 ab	179.4 ± 23.7 a

* Mean ± S. E.

** Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

수록 간내 Fe 농도는 증가되었고 Cu 농도는 유의적은 아니나 감소하는 경향을 보여 주었으며 Zn 농도는 별 차이가 없었다.

신장에서는 HP 군들에서 Cu 농도가 다소 높아진 반면 Fe, Zn 농도는 LP 군들에서 다소 높았다. 동일 단백

질 수준에서 식이내 철분 수준이 높을수록 신장의 Fe 농도는 증가하는 경향이 있었으며 Cu, Zn 농도에는 거의 영향을 미치지 않았다.

뒷다리근육에서는 LP 군들에서 Fe 농도가 다소 높았고 SP 군들에서 식이 철분수준이 증가할수록 Fe 농

Table 5. Protein efficiency ratios*

Groups	Periods	1 week	2 week	3 week	4 week
LP - LFe		1.246 ± 0.389 ^{**} N.S	0.943 ± 0.467 N.S	2.465 ± 0.428 N.S	2.742 ± 0.354 ^{***} abc
LP - SFe		1.203 ± 0.009	0.982 ± 1.262	1.689 ± 1.091	3.228 ± 0.073 a
LP - HFe		0.993 ± 0.455	0.440 ± 0.450	1.798 ± 0.842	2.919 ± 0.193 a
SP - LFe		1.856 ± 0.169	2.352 ± 0.176	0.999 ± 0.267	1.421 ± 0.218abc
SP - SFe		2.316 ± 0.175	2.363 ± 0.117	1.274 ± 0.521	1.676 ± 0.110 abc
SP - HFe		2.138 ± 0.221	1.765 ± 0.147	1.727 ± 0.234	1.558 ± 0.197 abc
HP - LFe		1.095 ± 0.132	0.826 ± 0.065	0.717 ± 0.068	0.732 ± 0.068 bc
HP - SFe		1.221 ± 0.090	0.955 ± 0.139	0.811 ± 0.095	0.461 ± 0.728 c
HP - HFe		1.412 ± 0.170	0.953 ± 0.155	0.892 ± 0.067	0.611 ± 0.252 bc

* Mean ± S.E.

** Not significant at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

*** Values within a column not followed by the same letter are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

Table 6. Liver Fe, Cu and Zn concentrations*

Protein Fe levels	Fe concentrations			Cu concentrations			Zn concentrations		
	LP	SP	HP	LP	SP	HP	LP	SP	HP
LFe	103.150 ^{b**} ± 4.745	91.944 ^b ± 6.633	85.780 ^b ± 3.080	13.600 ^{***} ± 1.227	13.213 ± 1.985	12.165 ± 2.607	19.545 ^{ab**} ± 0.889	28.088 ^a ± 0.935	25.675 ^{ab} ± 1.659
SFe	131.020 ^{ab} ± 7.492	102.595 ^b ± 5.480	95.075 ^b ± 5.132	9.505 ± 1.257	5.710 ± 0.336	4.685 ± 0.368	18.900 ^{ab} ± 2.093	27.015 ^{ab} ± 1.388	25.610 ^{ab} ± 0.713
HFe	160.650 ^a ± 6.815	124.963 ^{ab} ± 6.288	130.031 ^{ab} ± 3.445	8.006 ± 0.815	4.894 ± 0.336	3.663 ± 0.169	16.406 ^b ± 0.407	26.794 ^{ab} ± 1.114	23.181 ^{ab} ± 0.936

* Mean ± S.E.

** Values not followed by the same letter are significantly different among 9 groups at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

*** Not significant among 9 group at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

도가 다소 높아진 것 이외에는 식이처리에 따른 큰 차이가 나타나지 않았다.

이상을 종합하여 식이처리에 따른 간, 신장, 뒷다리 근육 내 무기질 농도를 비교해 보면 SP, HP 군들에서 간내 Fe, Cu 농도는 낮았으며 신장내 Cu 농도는 HP 군들에서 다소 높았다. 동일 단백질 수준에서 식이내 Fe 수준이 증가할 수록 간, 신장의 Fe 농도는 증가하였으나 뒷다리근육의 Fe 농도는 별 영향이 없었다. 간내 Cu

농도는 감소하였으나 Zn 농도는 별 차이가 없었고 신장 뒷다리근육의 Cu, Zn 농도는 별 변화가 없었다.

5. Table 9 에서와 같이 혈청내 Fe, Cu, Zn 농도는 LP 군들에서 Fe 농도가 유의적은 아니나 약간 높은 것 이외에는 식이처리에 따른 큰 차이가 나타나지 않았다.

6. 뇨 및 변에서의 Fe, Cu, Zn 농도는 Table 10, Table 11 과 같다. 뇨중의 Fe, Cu 농도는 HP 군들에

— 식이내 단백질과 철분수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사에 미치는 영향 —

Table 7. Kidney Fe, Cu and Zn concentrations*

(ppm)

Protein Fe levels levels	Fe concentrations			Cu concentrations			Zn concentrations		
	LP	SP	HP	LP	SP	HP	LP	SP	HP
LFe	33.75**	22.400 ± 2.518	21.570 ± 2.676	9.7**	8.800 ± 1.098	11.140 ± 1.365	29.2**	24.975 ± 1.080	23.040 ± 0.779
SFe	38.35	32.650 ± 1.282	34.730 ± 1.475	9.2	9.240 ± 0.323	10.560 ± 0.568	27.5	23.180 ± 0.469	23.660 ± 0.823
HFe	40.95	38.525 ± 4.836	46.425 ± 3.031	8.7	8.750 ± 0.753	10.125 ± 0.928	25.6	22.500 ± 0.779	23.250 ± 1.604

* Mean ± S.E.

** Fe, Cu and Zn concentrations of LP groups were analyzed with pooled samples.

Table 8. Hind limb muscle Fe, Cu and Zn concentrations*

(ppm)

Protein Fe levels levels	Fe concentrations			Cu concentrations			Zn concentrations		
	LP	SP	HP	LP	SP	HP	LP	SP	HP
LFe	9.725**	2.713 ± 0.510	5.535 ± 1.148	1.50**	2.188 ± 0.198	2.580 ± 0.769	11.35**	10.425 ± 0.419	11.050 ± 0.722
SFe	9.875	6.385 ± 1.581	5.835 ± 1.171	2.55	1.960 ± 0.060	1.730 ± 0.207	12.50	11.210 ± 0.532	11.150 ± 0.594
HFe	8.475	8.213 ± 1.143	8.500 ± 0.475	1.50	1.488 ± 0.153	0.825 ± 0.165	11.75	11.550 ± 0.471	11.200 ± 1.156

* Mean ± S.E.

** Fe, Cu and Zn concentrations of LP groups were analyzed with pooled samples.

Table 9. Serum Fe, Cu and Zn concentrations*

(ppm)

Protein Fe levels levels	Fe concentrations			Cu concentrations			Zn concentrations		
	LP	SP	HP	LP	SP	HP	LP	SP	HP
LFe	29.676 N.S ± 4.298	16.778 ± 1.760	11.608 ± 0.421	1.898 N.S ± 0.052	1.660 ± 0.086	1.510 ± 0.063	3.914 N.S ± 0.167	4.068 ± 0.356	3.360 ± 0.122
SFe	29.588 ± 1.855	22.102 ± 2.165	25.002 ± 2.566	2.340 ± 0.336	1.738 ± 0.047	1.400 ± 0.175	4.590 ± 0.540	4.132 ± 0.133	3.520 ± 0.396
HFe	34.190 ± 3.101	19.113 ± 0.758	21.655 ± 3.994	1.805 ± 0.056	0.610 ± 0.076	1.525 ± 0.057	4.510 ± 0.572	3.503 ± 0.416	4.000 ± 0.109

* Mean ± S.E.

** Not significant among 9 groups at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

Table 10. Urinary Fe, Cu and Zn concentrations*

(ppm)

Protein Fe levels	Fe concentrations			Cu concentrations			Zn concentration		
	LP	SP	HP	LP	SP	HP	LP	SP	HP
LFe	0.608 N.S. ± 0.098	0.645 ± 0.080	1.013 ± 0.19	0.013 ab*** ± 0.006	0.111 ab ± 0.018	0.174 ab ± 0.009	1.046 N.S.** ± 0.136	1696 ± 0.124	1.393 ± 0.163
SFe	0.800 ± 0.247	0.926 ± 0.104	1.524 ± 0.248	0.008 b ± 0.004	0.151 ab ± 0.029	0.289 a ± 0.034	0.535 ± 0.017	1.022 ± 0.105	1.672 ± 0.195
HFe	0.599 ± 0.226	2.073 ± 0.6	1.991 ± 0.144	0.009 b ± 0.004	0.139 ab ± 0.020	0.206 a ± 0.034	0.963 ± 0.113	1.070 ± 0.100	0.988 ± 0.087

* Mean ± S.E.

** Not significant among 9 groups at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

*** Values not followed by the same letter are significantly different among 9 groups at $\alpha = 0.05$ level by Scheffe's test.

Table 11. Fecal Fe, Cu and Zn concentrations*

(ppm)

Protein Fe levels	Fe concentrations			Cu concentrations			Zn concentrations		
	LP	SP	HP	LP	SP	HP	LP	SP	HP
LFe	163.75	261.25	318.75	162.35	155.70	195.15	841.5	662.5	769.0
SFe	636.25	908.75	633.75	136.65	234.75	182.95	715.5	805.5	764.5
HFe	3687.50	4088.75	3416.25	175.70	161.70	169.80	819.5	694.5	751.5

* Fe, Cu and Zn concentrations were analyzed with pooled samples in all the groups.

서 LP 군들에 비하여 높았으나 Zn은 일정한 경향이 나타나지 않았다. 동일 단백질 수준에서 식이내 Fe수준이 높을수록 SP, HP 군들의 Fe 농도는 유의적은 아니나 약간 증가하는 경향이었으며 Cu는 LP 군들에서 낮았고 Zn은 일정한 경향도 없고 실험군 간에 별 차이도 없었다. 변종의 Fe, Cu, Zn 농도는 식이내 Fe수준이 높아질수록 변종의 Fe 농도가 증가한 것 이외에는 식이 처리에 따른 큰 차이를 볼 수 없었다.

고 찰

본 실험결과 식이 단백질수준이 40%인 HP 군들과 20%인 SP 군들 간에 비슷한 체중증가량을 보였는데 박¹⁵⁾의 실험에서 식이 단백질수준이 40%인 군보다 15%인 군에서 성장이 끝난 쥐 (adult rat)의 체중증가량이 더 높아 성장이 끝난 쥐뿐 아니라 성장기 중에도 필

요량 이상의 단백질섭취는 체중증가에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 보인다.

식이내의 단백질수준이 간내 무기질 함량에 미치는 효과로 Campen⁴⁾은 간에서의 Fe와 Cu 농도에 대한 저 단백질식이의 효과는 Zn에 대한 효과와는 반대로 나타난다고 하였다. 즉 5% 단백질식이 15% 단백질식에 비해 간내 Fe와 Cu 농도는 증가시키고 Zn 농도는 감소시킨다고 보고하였는데 본 연구에서도 5% 단백질식이군에서 간내 Fe 농도가 높았고 Cu 농도도 증가하는 경향이었으며 Zn 농도는 감소하여 이들과 일치된 결과를 얻었다. 단백질의 결핍이 간내 Fe 농도에 미치는 효과로 Conrad³⁾은 단백질의 결핍이 erythropoiesis의 현저한 감소를 가져오고 erythropoiesis의 현저한 감소를 가져오고 erythropoiesis의 감소는 적혈구로 들어가는 Fe의 양을 제한시켜 결과적으로 간의 Fe 농도를 높지게 된다고 하였다.

식이 Fe 수준이 증가할 수록 간내 Fe 농도는 높았는데 이것은 앞서 여러 연구들⁷⁾¹⁰⁾¹⁶⁾¹⁷⁾에서 간이 철분의 주 저장소이며 식이내 철분수준이 증가할수록 간내 Fe 농도는 높아진다는 보고와 일치하였다. 간에 많은 양의 Fe가 축적되면 Fe 함량이 큰 hemosiderin으로 축적되면서 과잉 Fe의 배설방도가 없으므로 조직의 파괴가 일어날 때까지 간에 hemosiderin의 축적이 계속된다고 한다¹⁸⁾.

식이 Fe 수준에 따른 간내 Cu 농도는 간내 Fe 농도와는 반대로 식이내 Fe의 수준이 증가할 수록 감소하였는데 식이 Fe 수준이 간내 Cu 농도에 미치는 효과로 Smith¹⁷⁾은 guinea pig에게 1일 82.5 mg의 고철분 식이를 먹었을 때 1일 7.5 mg의 정상 Fe 식이를 섭취한 군에 비하여 간내 Cu의 2/3가 감소하였다고 하였으며 Hedges⁹⁾ 등은 swine에 101 ppm의 Fe와 257 ppm의 Cu 식이를 주었을 때 간내 Cu가 과량 축적되었으나 식이 Fe를 312 ppm으로 증가시키면 간내 Cu 농도가 감소되었다고 보고하였다. 또 Suttle⁶⁾ 등의 실험에서 swine에 750 ppm Cu 식이로 인한 Cu toxicosis가 1일 750 ppm의 Fe를 첨가시킨 식이를 주었을 때 제거되었으며 Sourkes¹⁰⁾ 등의 실험에서도 Fe결핍 식이를 먹인 쥐의 간내 과량의 Cu가 축적되었고, Cu 결핍 식이를 먹인 쥐의 간에서 과량의 Fe가 축적되었다고 하였는데 본 실험에서도 이들과 일치된 결과를 보여 식이 Fe 수준에 따른 간내 Fe와 Cu 농도 사이에는 역관계가 있음¹⁶⁾²⁰⁾을 알 수 있었다.

간내 Zn 농도는 식이내 Fe 수준에 따른 변화를 보여 주지 아니 하였다. Hedges⁹⁾ 등과 Gipp²¹⁾ 등의 실험에서도 간내 Zn 농도가 식이내 Fe 수준에 영향을 받지 않았는데 이와 같은 결과는 간이 Zn의 주요 저장소가 아니기 때문⁹⁾으로 생각된다.

신장내 Fe 농도는 식이내 Fe 수준이 높을수록 증가하는 경향으로 Owen¹⁰⁾, Standish¹⁶⁾ 등의 실험 결과와 일치하였으며 Zn 농도는 식이 Fe 수준에 따른 차이가 없었다.

뒷다리근육내의 Fe 농도는 5% 단백질식이군에서 다소 높게 나타났는데 이것은 Miski²²⁾ 등의 실험에서 성장기 중의 닭에 5.4% 단백질 식이를 먹었을 때 10.8%, 23.8% 단백질식이군보다 Gastrocnemius의 Fe 농도가 유의적으로 증가했음에 비하여 단백질의 결핍이 성장감소와 erythropoiesis 감소를 가져오고 그 결과 근육내의 Fe 축적을 증가시키는 것으로 여겨지나 왜 과량의

Fe 축적이 정상 Fe 저장소인간뿐 아니라 정상 Fe 저장소가 아닌 뒷다리근육에서도 나타나는지에 대하여는 아직 분명하게 밝혀지지 않고 있다²³⁾.

식이 단백질 또는 철분이 결핍되면 혈액내 철분함량이 감소한다는 여러 보고들이 있으나⁷⁾¹¹⁾²⁴⁾ 본 실험결과 혈청내 Fe 농도는 LP 군들에서 다소 높은 경향을 보여준 것 이외에는 식이처리에 따른 유의성이 나타나지 않았는데 이것은 혈액내의 Fe가 적혈구내 hemoglobin과 혈장내 transferrin에 1000:1의 비율로 함유되어 있음⁷⁾을 생각할 때 식이처리에 따른 혈액내 총 Fe량에는 차이가 있을 것으로 추측되나 혈청내 Fe 농도에는 큰 영향을 미치지 못한 것으로 보인다.

식이 단백질수준이 높은 군에서 뇨 중의 Fe와 Cu 농도는 증가하였으나 Zn 농도에는 별 영향을 미치지 않았으며 변 중의 Fe, Cu 및 Zn의 농도도 식이 단백질수준에 따른 별 차이를 보이지 않아 단백질이 결핍되었을 때 변으로 Fe의 손실이 증가된다는 Conrad⁹⁾ 등의 보고와는 일치하지 않았다. 식이내 Fe 수준이 높을수록 변 중의 Fe 함량은 증가하여 Kinnamon²⁵⁾의 실험결과와 일치하였다. 이것은 변 중의 Fe 농도는 섭취한 양에 의존적⁷⁾이기 때문으로 보며, 이때 Fe의 대부분은 식이 중 흡수되지 않은 Fe로 생각된다.

결 론

이유 직후부터 4 주동안의 성장기간동안 식이내 단백질수준을 5%, 20%, 40%로, 철분수준을 0 ppm, 35 ppm, 350 ppm으로 각각 달리했을 때 흰쥐에서 Fe, Cu, Zn의 체내 이용에 미치는 영향을 알아 보았더니 다음과 같았다.

5% 단백질식이군에서 사료섭취량과 체중증가량은 유의적으로 낮았으며 단백질효율은 5% 단백질식이군에서 높았다. 사료섭취량, 체중증가량, 단백질효율 모두 식이 철분의 수준에 따른 차이는 거의 없었다.

단백질이 체내 Fe, Cu, Zn 대사에 미치는 영향을 보면 5% 단백질식이일 때 간내 Fe 농도는 높았고 신장, 뒷다리근육내 Fe 농도도 높은 경향을 보여 단백질부족시 조직내 저장되는 Fe 농도가 증가함을 알 수 있었다. 5% 단백질 식이군에서 혈청내 Fe 농도는 다소 높게 나타났으며 뇨 중의 Fe 농도는 식이 단백질 수준이 높을수록 증가하였으나 변은 단백질수준에 따른 차이가 나타나지 않았다. 5% 단백질식이일 때 간내 Cu 농도가 유

의적은 아니었으나 약간 높은 경향이었으며 뇨 중의 Cu 농도는 낮았다. Zn은 5% 단백질식이군에서 간내 Zn 농도가 낮았으나 단백질부족이 간, 신장의 Zn농도에 미치는 일정한 경향을 알기가 어려웠다.

철분이 체내 Fe, Cu, Zn 대사에 미치는 영향을 보면 식이내 Fe 수준이 낮을수록 간, 신장의 Fe 농도는 감소하였으며 변 중의 Fe 농도도 낮게 나타났다. 간내 Cu의 농도는 식이 Fe 수준이 높을수록 유의적은 아니었으나 약간 감소하는 경향을 보였다.

이상으로 보아 Fe와 Cu는 여러 경우로서 반대 작용을 함을 알 수 있었으나 Zn 농도는 식이에 따른 변화가 가장 적었고 일정한 경향도 볼 수 없었다.

참 고 문 헌

- 1) Maureen, C. Conley & John, N. Hathcock : *Effects of dietary protein and amino acids on iron utilization by iron-depleted rats. J. Nutr.* 108 : 475-80, 1978.
- 2) Klavins, J. V., Kinney, T. D. & Kaufman, N. : *The influence of dietary protein on iron absorption. Brit. J. Exp. Pathol.* 43 : 172-80, 1962.
- 3) Conrad, M. E., Foy, A. L., Williams, H. L. & Knospe, W. H. : *Effect of starvation and protein depletion on ferrokimetics and iron absorption. Am. J. Physiol.* 213 (3) : 557-65, 1967.
- 4) Van Campen, D., House, W. A. : *Effect of a low protein diet on retention of an oral dose of Zn and on tissue concentrations of zinc, iron and copper in rats. J. Nutr.* 104 : 84-90, 1974.
- 5) Hoekstra, W. G. : *Recent observations on mineral interrelationships. Fed. Proc.* 23 : 1063-76, 1964.
- 6) Suttle, N. F. & Mills, C. F. : *Studies of the toxicity of copper to pigs-Effects of oral supplements of zinc and iron salts on the development of copper toxicosis. Br. J. Nutr.* 20 : 135-48, 1966.
- 7) Underwood, E. J. : *Trace Elements in Human and Animal Nutrition, 4th ed., pp. 14-28, Academic Press, New York, 1977.*
- 8) Hamilton, D. L., Bellamy, J. E. C., Valberg, J. D. & Valberg, L. S. : *Zinc, cadmium, and iron interactions during intestinal absorption in iron-deficient mice. Can. J. Physiol. Pharmacol.* 56 : 384-89, 1978.
- 9) Hedges, J. D. & Kornega, E. T. : *Interrelationship of dietary copper and iron as measured by blood parameters, tissue stores and feedlot performance of swine. J. Anim. Sci.* 37 : 1147-54, 1973.
- 10) Owen, C. A., Jr. : *Effects of iron on copper metabolism and copper on iron metabolism in rats. Am. J. Physiol.* 224 : 514-18, 1973.
- 11) Goodhart, R. S. & Shils, M. E. : *Modern Nutrition in Health and Disease, 6th ed., pp. 324-54, Lee & Febiger, 1980.*
- 12) Pike, R. L. & Brown, M. L. : *Nutrition : An Integrated Approach, 2nd ed., p. 194, Wiley & Sons, Inc., 1975.*
- 13) AIN Standards for Nutritional Studies Report : *J. Nutr.* 107 : 1340-48, 1977.
- 14) Thompson, R. H. & Blanchflower, W. J. : *Wet-ashing apparatus to prepare biological materials for atomic absorption spectrophotometry. Lab. Prac.* 20 : 859-61, 1971.
- 15) 박수희 : 식이내 단백질 함량이 흰쥐의 두뇌 성장에 미치는 영향, p. 15, 이화여자대학교 석사학위논문, 1981.
- 16) Standish, J. F., Ammerman, C. B., Palmer, A. Z. & Simpson, C. F. : *Influence of dietary iron and phosphorus on performance, tissue mineral composition and mineral absorption in steers. J. Anim. Sci.* 33 : 171-78, 1971.
- 17) Smith, C. H. & Bidlack, W. R. : *Interrelationship of dietary ascorbic acid and iron on the tissue distribution of ascorbic acid, iron and copper in female guinea pigs. J. Nutr.* 110 : 1398-1408, 1980.
- 18) J. Dereck Jeffers, Alice Macnow, Michael La Barbera & Timonthy Armstrong : *Principles of Biochemistry, 6th ed., McGraw-Hill, pp.*

- 1006-1007, 1978.
- 19) Sourkes, T. L., Lloyd, K. & Birnbaum, H. :
Inverse relationship of hepatic copper and iron concentrations in rats fed deficient diets. Can. J. Biochem. 46 : 267-71, 1968.
- 20) Standish, J. F., Ammerman, C. B., Simpson, C. F., Neal, F. C. & Palmer, A. Z. : *Influence of graded levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. J. Anim. Sci.* 29 : 496-503, 1969.
- 21) Gipp, W. F., Pond, W. C., Kallfelz, F. A., Tasker, J. B., Van Campen, D. R., Krook, L. & Visek, W. J. : *Effect of dietary copper, iron and ascorbic acid levels on hematology, blood and tissue copper, iron and zinc concentrations and ^{64}Cu and ^{59}Fe metabolism in young pigs. J. Nutr.* 104 : 532-41, 1974.
- 22) Miski, A. M. A. & Kratzer, F. H. : *Effects of dietary protein, glycine, and tryptophan on iron metabolism in the growing chick. J. Nutr.* 107 : 24-34, 1977.
- 23) Kinnamon, K. E. : *The role of iron in the copper-zinc interrelationship in the rat. J. Nutr.* 90 : 315-22, 1966.
- 24) Cusack, R. P. & Brown, W. D. : *Iron deficiency in rats : Changes in body and organ weights, plasma proteins, hemoglobin, myoglobins and catalase. J. Nutr.* 86 : 383-93, 1965.