

## 철 보충이 흰쥐의 무기질 이용에 미치는 영향

전예숙·최미경<sup>†</sup>·김애정\*·김미현\*\*·승정자\*\*

청운대학교 식품영양학과

\*해전대학 식품영양과

\*\*숙명여자대학교 식품영양학과

### Effect of Iron Supplementation on Mineral Utilization in Rats

Ye-Sook Jun, Mi-Kyeong Choi<sup>†</sup>, Ae-Jung Kim\*, Mi-Hyun Kim\*\* and Chung-Ja Sung\*\*

Dept. of Human Nutrition and Food Science, Chungwoon University, Chungnam 350-701, Korea

\*Dept. of Food and Nutrition, Hyejeon College, Chungnam 350-702, Korea

\*\*Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of iron supplementation on utilizations of various minerals, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn. Intakes, serum levels, and excretions of these minerals were analyzed and compared in rats fed diet with 100, 200, 400% of iron requirement (Fe, 2Fe, 4Fe groups) for 6 weeks. The feed intake, body weight gain and feed efficiency ratio were not significantly different among the groups. Serum Fe of 2Fe group was significantly lower than other two groups, and serum Zn of 4Fe group was highest. Mineral intakes were not significantly different among three groups. With iron supplementation, urinary excretions of Ca, Fe, Cu, Zn were elevated, but fecal excretions of minerals were not significantly different. And the daily retentions of Na and Fe were significantly elevated, but apparent absorbabilities of minerals were not significantly different. In summary, according to iron supplementation, mineral absorbabilities were not different but urinary excretions of some minerals were increased. Therefore, it could be suggested that adequate iron intake and well-balanced diet are more desirable than nutrient supplementation for mineral balance.

**Key words:** Fe supplementation, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, utilization

#### 서 론

최근 우리 나라는 경제성장 및 국민생활의 향상과 더불어 식품공급이 원활해지고 식생활이 개선되면서 과거의 영양결핍성 질환은 감소하고 영양소 과잉이나 불균형 섭취에 따른 질환이 점차 증가하고 있다(1,2). 또한 일반 대중들도 영양의 중요성에 대한 관심이 높아지고 최적의 영양상태를 추구하게 되었다. 그러나 올바른 영양지식의 부족으로 단기간에 영양문제를 해결하려고 하여 잘못된 식습관이 형성되고 충분한 과학적 근거나 의사의 처방 없이 영양 보충제를 임의로 복용하는 사례가 늘고 있다. 이중 최근 문제시되는 것이 철제제 복용으로 철의 과잉섭취이다(3,4).

철은 필수 성분요소로서 광범위하게 체세포기능에 기여한다. 그러나 철 결핍은 인간에게 있어서 가장 흔한 영양결핍으로 세계의 10억이 넘는 인구가 철결핍을 안고 있다. 특히 신생아, 취학 전의 아동, 임산부 그리고 임신 가능한 여성들이 철결핍에 걸리기 쉬운데, 철결핍은 체내의 여러 기능과정에 악영향을 미치고 있다. 반면 체내의 철 과다축적 또한 영양학적으로 심각한

한 문제가 되고 있는데, 만일 인체에 축적된 철을 제거하지 않으면 여러 가지 생명을 위협하는 질병들을 유발하게 된다.

철 과잉공급을 살펴본 다양한 실험결과에 의하면 철 과잉상태는 자유기(free radical) 반응을 자극하고(5) 지질 과산화를 가속화시키며(6), 나아가 심근경색, 허혈성 심장질환, 뇌혈관성 치매 등의 위험인자가 될 수 있다고 하며(7), 남자 성인의 체내 철 함유량이 평균치보다 10% 많을 때부터 결장암에서 간암에 이르는 여러 종류의 암 발병 위험이 높아진다는 보고도 있다(8). 또한 어린이의 철 중독은 메스꺼움, 구토, 설사, 위장출혈 및 이로 인한 쇼크와 혼수상태를 일으키며 회복되더라도 극심한 위장출혈과 무기력 상태, 간 손상, 심장마비 등으로 사망할 가능성이 보고되어(9) 철 과잉섭취에 관한 연구가 필요한 실정이다.

일부 미량원소의 식이내 결핍 또는 과잉은 다른 무기질과 대사산물들의 흡수를 저해하기도 하고 노 중으로 배설을 촉진시키거나 조직 중의 수준을 변화시키게 된다(10). 지금까지 철 섭취수준에 따른 무기질의 이용변화를 살펴본 연구는 아연, 구리, 망간 등 일부 미량무기질을 중심으로 이루어지고 있을 뿐

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: mkchoi@cwunet.ac.kr  
Phone: 82-41-630-3240, Fax: 82-41-630-3240

(11) 다양한 무기질과의 관계에 대한 연구는 부족한 실정이다. 1940년 칼슘이 철의 흡수를 저해할 수 있다는 연구(12)를 시작으로 Hallberg 등(13)은 300 mg의 칼슘을 첨가했을 때 비헴철의 흡수가 감소되었고, 이러한 감소는 칼슘 섭취량이 증가할수록 높게 나타났다고 보고하였다. 이와 같이 칼슘과 철의 상호작용을 보고한 연구들을 고려할 때 철의 섭취수준에 따라 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨과 같은 다량무기질의 이용에도 차이가 있을 것으로 사료되지만 이에 대한 연구는 미흡한 상태이다.

우리 나라는 아직까지 철의 섭취상태와 이용률이 낮아 주로 철의 부족상태에 관한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 최근 식생활의 서구화로 체내 이용률이 높은 헴철의 섭취상태가 높아지고(1) 일부 계층에서는 철을 포함한 영양보충제의 복용사례가 증가함에 따라(3,4) 권장량의 2~5배에 이르는 중간정도의 철 과잉섭취에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 흰쥐를 대상으로 적정수준, 적정수준의 2배와 4배의 철을 6주간 공급한 후 혈액, 소변 및 대변 중의 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 철, 구리, 아연 함량을 분석한 후 무기질 평형을 산출하여 철의 섭취수준이 증가함에 따라 다양한 무기질의 이용률 변화를 관찰하였다.

### 재료 및 방법

#### 실험동물의 사육 및 식이

철 공급수준에 따른 무기질 대사를 알아보기 위하여 동물사육실험을 실시하였다. 실험동물은 Sprague-Dawley계 3주령 숫쥐로, 사육 1주일 동안 일정 조건에서 고품사료로 적응시킨 후 철 공급수준에 따라 임의 배치법으로 1군당 10마리씩 3군으로 나누어 6주간 사육하였다(Table 1). 실험식이의 배합은 Table 2와 같이 AIN-76(14)과 NAS-NRC(15)를 기준으로 하였으며, 사육실은 온도 24±2°C, 습도 55~60%를 항상 유지시켰고, 모든 사료와 물(탈이온수)은 24시간 동안 자유급식시켰다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 동물사육에 필요한 사육장, 사료통, 물통 등을 0.4% EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid)용액에 24시간 담갔다가 2차 증류수로 3번 이상 세척 후 건조기에서 건조시켜 사용하였다. 체중은 1주일에 한번씩 같은 시각에 측정하였고 식이섭취로 인한 갑작스런 체중변화를 막기 위하여 체중측정 2시간 전에 사료통을 제거한 후에 계속하였다. 사료섭취량은 매일 같은 시각에 개체별로 전날 채워둔 사료통의 무게에서 그날의 무게를 뺀 값으로 계산하였으며 허실량도 측정하여 보정하였다.

Table 1. Experimental design

Dietary group <sup>1)</sup>	Iron (mg/kg diet)	Number of animals	Experimental period (weeks)
Fe	35	10	6
2Fe	70	10	6
4Fe	140	10	6

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

Table 2. Formulation of experimental diet

Ingredient	Composition (%)
Casein	20.0
dl-Methionine	0.3
Corn starch	15.0
Sucrose	50.0
Cellulose	5.0
Corn oil <sup>1)</sup>	5.0
Mineral mixture <sup>2)</sup>	3.5
Vitamin mixture <sup>3)</sup>	1.0
Choline bitartrate	0.2

<sup>1)</sup>Butylated hydroxytoluene as antioxidant was added 0.0125%/kg oil.

<sup>2)</sup>Mineral mixture: calcium phosphate · dibasic 500 g, sodium chloride 74 g, potassium citrate · monohydrate 200 g, potassium sulfate 52 g, magnesium oxide 24 g, manganous carbonate 3.5 g, ferric citrate (6, 12, 24 g), zinc carbonate 1.6 g, cupric carbonate 0.3 g, potassium iodate 0.01 g, sodium selenite 0.01 g, chromium potassium sulfate 0.55 g; sucrose, finely powdered, to make 1,000 g.

<sup>3)</sup>Vitamin mixture: thiamine · HCl 600 mg, riboflavin 600 mg, pyridoxine · HCl 700 mg, nicotinic acid 3 g, D-calcium pantothenate 1.6 g, folic acid 200 mg, D-biotin 20 mg, cyanocobalamine 1 mg, vitamin A 400,000 IU, dl- $\alpha$ -tocopherol acetate 5,000 IU, cholecalciferol 2.5 mg, menaquinone 5 mg; sucrose, finely powdered, to make 1,000 g.

#### 시료의 채취 및 분석

6주의 사육 종료 전 3일 동안 실험동물을 대사장에 옮겨 소변과 대변을 수집하였으며, 소변은 3,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액을 취하여 체모를 제거한 대변과 함께 -20°C에서 냉동보관하였다가 분석에 사용하였다. 사육 마지막 날 12시간 전부터 실험동물을 절식시킨 후 개체별로 체중을 측정하였고, ketamine으로 마취시킨 후 복부 대동맥에서 혈액을 채취한 후 2,000 rpm에서 30분간 원심분리하여 혈청을 분리하였다. 혈액, 소변 및 대변은 임(16)의 습식분해법으로 전처리한 후 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 철, 구리, 아연 함량을 ICP(Inductively coupled plasma; Lactam 8440 Plasmalac, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 측정하였다.

#### 통계분석

실험을 통해 얻어진 모든 자료는 SAS program을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였다. 철 공급수준에 따른 ANOVA 검정을 한 후 유의차가 존재할 때는 각 군간의 차이를 관찰하기 위하여 Duncan's multiple range test를 실시하였다(17).

### 결과 및 고찰

철 보충에 따른 체내 무기질의 이용변화를 살펴보기 위하여 흰쥐를 철 공급수준에 따라 적정군, 2배군, 4배군으로 나눠 6주간 사육한 후 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 철, 구리, 아연의 혈청 수준 및 섭취량과 배설량에 의한 평형상태를 비교, 분석한 결과 및 고찰은 다음과 같다.

### 사료 섭취량, 체중 증가량 및 사료효율

철 보충에 따른 사료 섭취량, 체중 증가량 및 사료효율은 Table 3과 같이 철 보충에 따른 유의한 차이가 없었다. 철 보충이 사료 섭취량과 체중 증가량에 미치는 영향에 대한 연구들을 살펴보면, 19일 동안 적정군의 4배의 철을 쥐에게 공급한 Johnson과 Hove(18), 4주간 10배의 철을 공급한 Jung과 Kim(19), 돼지에게 적정군의 3배의 철을 5주간 공급한 Gipp 등(11)의 연구에서 모두 철 보충군은 대조군과 유의한 차이를 나타내지 않아 본 연구결과와 일치하였다. 그러나 소를 대상으로 실험한 Standish 등(20)은 적정군의 5배에 해당하는 철을 보충했을 때는 사료 섭취량과 체중 증가량이 대조군과 유의한 차이가 없었으나, 20배 이상의 철 보충시에는 유의하게 감소하여 상당한 양의 철 공급은 사료 섭취량과 체중 증가량의 감소를 초래할 수 있음을 제시하였다.

### 혈청 무기질 함량

철 보충에 따른 혈청 무기질의 함량은 Table 4와 같이 철과 아연 함량이 각 군별 유의한 차이를 보여 철 함량은 2배 공급군이 유의하게 낮았고 아연 함량은 4배 공급군이 다른 두군에 비해 유의적으로 높았다( $p < 0.05$ ,  $p < 0.05$ ).

Hoekstra(21)와 몇몇 연구(22,23)에서 철, 구리와 아연은 체내에서 상호 밀접한 작용을 하는데, 이는 이들 무기질이 장내 결합부위에서 서로 경쟁함으로써 흡수율이나 체내 보유량에 영향을 미치기 때문이라고 하였다. 무기질의 흡수와 배설 수준의 변화에 따라 혈액의 무기질 수준은 체내 항상성을 유지하는

**Table 3. Feed intake, body weight gain, and feed/weight gain ratio in rats fed diets with iron supplementation**

Dietary group <sup>1)</sup>	Feed intake	Body weight gain	Feed/weight gain
	g/day	g/day	
Fe	25.25±7.09 <sup>2)</sup>	5.45±1.59	5.21±2.72
2Fe	30.25±8.50	5.70±0.62	5.38±1.82
4Fe	38.50±6.56	6.75±1.71	5.87±1.05
ANOVA	N.S. <sup>3)</sup>	N.S.	N.S.

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

<sup>2)</sup>Mean±standard deviation.

<sup>3)</sup>No significance at  $\alpha = 0.05$  as determined by analysis of variance.

**Table 4. Serum mineral level of rats fed diets with iron supplementation**

Dietary group <sup>1)</sup>	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn
	mg/dL	mg/dL	mg/dL	mg/dL	µg/dL	µg/dL	µg/dL
Fe	5.78±3.14 <sup>2)</sup>	1.45±0.52	223.11±97.87	22.90±7.21	64.60±2.97 <sup>3)</sup>	57.00±2.83	49.65±4.03 <sup>b</sup>
2Fe	7.28±0.67	1.66±0.24	125.67±65.55	24.17±2.47	31.65±1.34 <sup>b</sup>	52.47±3.15	40.70±5.96 <sup>b</sup>
4Fe	6.23±3.46	2.05±0.80	248.10±95.18	27.95±2.62	40.50±1.13 <sup>a</sup>	46.95±6.01	61.05±6.58 <sup>a</sup>
ANOVA	N.S. <sup>4)</sup>	N.S.	N.S.	N.S.	$p < 0.05$	N.S.	$p < 0.05$

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

<sup>2)</sup>Mean±standard deviation.

<sup>3)</sup>Means with different letters within a column are significantly different from each other at  $\alpha = 0.05$  as determined by Duncan's multiple range test.

<sup>4)</sup>No significance at  $\alpha = 0.05$  as determined by analysis of variance.

목적으로 단기간에 걸친 변화를 쉽게 예측할 수 있으므로 철 보충에 따른 혈중 무기질의 변화를 살펴보는 연구들이 이루어지고 있다. Wu 등(24)은 어린 쥐와 나이든 쥐에게 12주 동안 식이당 2.5% carbonyl iron을 공급했을 때 철 공급에 의해 혈청 철 함량이 유의하게 증가하였다고 하며, 돼지에게 5주 동안 대조군의 3배의 철을 공급한 연구(11)와 닭을 대상으로 한 연구(25)에서도 같은 결과를 보였다. 그러나 20일의 단기간 동안 적정수준보다 4배, 7배의 높은 수준의 철을 쥐에게 공급한 연구(19,26)나 성숙한 흰쥐에게 11배의 철을 ferrous sulfate로 공급한 연구(27)에서는 철 공급에 따른 혈청 철 수준이 유의한 차이가 없다고 하여 철 공급기간에 따라 다른 결과를 보이고 있다.

본 연구결과 철 보충은 혈청 철과 아연 함량에만 유의한 영향을 미친 것으로 나타났으며, 요구량의 2배와 4배의 철 보충에 동일한 결과를 보이지 않고 철은 2배군이 유의하게 낮고 아연은 4배군이 유의하게 높았다. 이와 같은 결과는 철 보충에 따라 유의한 차이는 없었으나 Table 8, 9에 제시되어 있는 무기질 평형과 연결하여 설명해볼 때, 철의 경우 겉보기 흡수율(apparent absorbability)과 체내 보유량이 4배군보다 2배군에서 낮았으며 아연은 4배군의 섭취량이 가장 높았기 때문에 나타난 결과로 보여진다. 즉 혈액이 이들 무기질의 항상성을 유지하는 체조직으로서 우선적인 기능을 한 결과로 보여지지만 보다 다양한 조직에 대한 종합적인 분석을 통해 철 보충의 영향이 논의되어야 할 것으로 사료된다.

### 무기질 평형

철 보충에 따른 무기질 섭취량은 Table 5에서 보는 바와 같이 철 섭취량이 유의적으로 증가한 것( $p < 0.01$ )을 제외하고 그밖의 무기질 섭취량은 유의적인 차이가 없었다. 소변 중 무기질 배설량은 Table 6과 같이 철 보충에 따라 칼슘, 나트륨, 철, 구리, 아연이 각 군별 유의한 차이를 보였다( $p < 0.01$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ). 대변 중 무기질 배설량은 Table 7과 같이 철 보충에 따른 유의한 차이가 없었다. 1일 무기질 보유량은 Table 8과 같이 철 보충에 따라 나트륨과 철이 유의한 차이를 보여( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) 철 보충이 증가할수록 이들 무기질의 보유량이 높게 나타났다. 무기질 흡수율은 Table 9에서 보는 바와 같이 철 보충에 따라 유의한 차이가 없었다.

철과 무기질의 상호작용에 대해서는 대부분 철, 구리, 아연

**Table 5. Mineral intake of rats fed diets with iron supplementation**

Dietary group <sup>1)</sup>	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn
	mg/day	mg/day	mg/day	mg/day	µg/day	µg/day	µg/day
Fe	131.30±36.86 <sup>2)</sup>	12.63±3.54	25.76±7.23	90.90±25.52	883.75±248.11 <sup>3)</sup>	151.50±42.53	757.50±212.66
2Fe	157.30±44.20	15.13±4.25	30.86±8.67	108.90±30.60	2117.50±595.00 <sup>b)</sup>	181.50±51.00	907.50±255.00
4Fe	200.20±34.10	19.25±3.28	39.27±6.69	138.60±23.61	4043.75±687.14 <sup>a)</sup>	231.00±39.34	1155.00±196.72
ANOVA	N.S. <sup>4)</sup>	N.S.	N.S.	N.S.	p<0.01	N.S.	N.S.

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

<sup>2)</sup>Mean±standard deviation.

<sup>3)</sup>Means with different letters within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Duncan's multiple range test.

<sup>4)</sup>No significance at α=0.05 as determined by analysis of variance.

**Table 6. Urinary mineral excretion of rats fed diets with iron supplementation**

Dietary group <sup>1)</sup>	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn
	mg/day	mg/day	mg/day	mg/day	µg/day	µg/day	µg/day
Fe	0.37±0.08 <sup>2)3)</sup>	0.74±0.16	26.49±0.72 <sup>a)</sup>	25.84±5.52	17.30±3.30 <sup>b)</sup>	4.03±0.77 <sup>a)</sup>	8.07±1.54 <sup>b)</sup>
2Fe	1.05±0.11 <sup>b)</sup>	1.14±0.12	13.17±1.32 <sup>b)</sup>	27.18±2.73	45.00±2.60 <sup>a)</sup>	1.50±0.09 <sup>b)</sup>	9.00±0.52 <sup>b)</sup>
4Fe	2.59±0.79 <sup>a)</sup>	1.02±0.31	13.38±4.11 <sup>b)</sup>	32.36±9.93	49.47±5.75 <sup>a)</sup>	5.04±1.87 <sup>a)</sup>	22.40±4.61 <sup>a)</sup>
ANOVA	p<0.01	N.S. <sup>4)</sup>	p<0.01	N.S.	p<0.001	p<0.05	p<0.01

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

<sup>2)</sup>Mean±standard deviation.

<sup>3)</sup>Means with different letters within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Duncan's multiple range test.

<sup>4)</sup>No significance at α=0.05 as determined by analysis of variance.

**Table 7. Fecal mineral excretion of rats fed diets with iron supplementation**

Dietary group <sup>1)</sup>	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn
	mg/day	mg/day	mg/day	mg/day	µg/day	µg/day	µg/day
Fe	57.60±15.76 <sup>2)</sup>	8.53±2.14	4.96±2.25	8.48±2.58	351.60±364.89	42.66±36.59	267.98±164.71
2Fe	66.37±47.61	9.35±3.95	6.62±0.36	12.28±2.83	768.84±150.27	107.93±31.31	411.25±90.91
4Fe	118.00±33.38	8.38±3.22	8.85±1.15	10.49±3.68	1061.80±317.35	75.80±22.91	551.10±32.10
ANOVA	N.S. <sup>3)</sup>	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

<sup>2)</sup>Mean±standard deviation.

<sup>3)</sup>No significance at α=0.05 as determined by analysis of variance.

**Table 8. Mineral retention of rats fed diets with iron supplementation**

Dietary group <sup>1)</sup>	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn
	mg/day	mg/day	mg/day	mg/day	µg/day	µg/day	µg/day
Fe	68.56±28.30 <sup>2)</sup>	2.89±1.93	-6.63±6.73 <sup>3)</sup>	53.28±22.65	482.77±72.96 <sup>b)</sup>	99.31±17.10	453.95±155.54
2Fe	69.52±66.23	2.67±5.82	7.07±4.12 <sup>a)</sup>	55.33±12.52	1029.49±417.31 <sup>b)</sup>	48.57±55.52	369.75±75.97
4Fe	60.95±18.57	7.93±1.76	11.11±2.23 <sup>a)</sup>	77.44±15.10	2569.50±25.39 <sup>a)</sup>	130.24±6.07	476.30±59.26
ANOVA	N.S. <sup>4)</sup>	N.S.	p<0.05	N.S.	p<0.01	N.S.	N.S.

Retention = (mineral intake - mineral excretion in urine and feces).

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

<sup>2)</sup>Mean±standard deviation.

<sup>3)</sup>Means with different letters within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Duncan's multiple range test.

<sup>4)</sup>No significance at α=0.05 as determined by analysis of variance.

의 관계에 집중되어 많은 연구들이 진행되고 있다. 철과 아연(28,29), 철과 구리(30,31)의 관계에 대한 연구들은 대부분 이들 무기질이 길항작용을 함으로써 철 보충에 따라 아연과 구리의 흡수율이 저하되었음을 보고하고 있으나 아직도 그 상호작용의 유의성에 대해서는 논쟁의 여지가 있다. Smith와 Bidlack

(27)은 철 보충에 따라 구리 흡수가 유의적으로 감소하였음을 보고하였으며, 돼지를 대상으로 실시한 Hedges와 Kornegay(32)의 연구에서도 구리공급으로 야기된 구리독성이 철보강에 의해 완화되었음을 보고하였다. 아연도 철의 과량투여로 체내 수준이 감소되는 것이 여러 연구에서(11,30,32) 보여지고

Table 9. Mineral apparent absorbability of rats fed diets with iron supplementation

(%)

Dietary group <sup>1)</sup>	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn
Fe	53.73 ± 4.66 <sup>2)</sup>	28.49 ± 6.62	79.85 ± 8.09	90.12 ± 2.20	64.62 ± 26.21	73.71 ± 14.08	64.30 ± 17.09
2Fe	47.39 ± 45.76	24.66 ± 24.42	74.80 ± 5.47	86.95 ± 2.82	56.82 ± 15.39	28.43 ± 31.85	48.12 ± 7.20
4Fe	35.70 ± 13.14	52.73 ± 14.56	75.27 ± 1.23	91.53 ± 3.61	71.38 ± 6.34	64.23 ± 8.02	47.47 ± 1.19
ANOVA	N.S. <sup>3)</sup>	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Apparent absorbability (%) = [(mineral intake - mineral excretion in feces)/mineral intake] × 100.

<sup>1)</sup>Fe, 2Fe, 4Fe indicate 100%, 200%, 400% of iron requirement, respectively.

<sup>2)</sup>Mean ± standard deviation.

<sup>3)</sup>No significance at  $\alpha=0.05$  as determined by analysis of variance.

있으나 우유에 철을 강화하여 흰쥐에게 공급하였을 때 아연의 흡수나 체내 보유량은 유의한 차이가 없었다고 하여(33) 철, 구리, 아연간의 관계에 대한 정확한 설명이 어려운 실정이다. 본 연구에서는 요구량의 2배와 4배의 철 보충에 따라 소변중 아연의 배설량은 유의하게 증가하였으나 구리는 2배의 철 보충군이 가장 낮게 나타났다. 그러나 무기질의 섭취량과 소변 및 대변 중 배설량을 고려하여 구리와 아연의 흡수율을 살펴본 것은 철 보충에 따른 유의한 차이가 없어 Sherman과 Moran의 연구(33)와 일치하였다. 한편 Forth(34)는 철, 구리, 아연은 개별적으로 작용하기보다는 이들 무기질의 섭취비율에 따라서 상호작용이 이루어진다고 하였으나, 본 연구에서는 철 보충에 따라 사료섭취량이 증가하고 그에 따라 구리와 아연의 섭취량도 증가함으로써 철의 보충효과가 뚜렷히 나타나지 않은 경우도 생각해 볼 수 있으며, 앞으로 무기질의 섭취비율을 달리한 보다 세부적인 연구가 요구된다.

철 보충에 따라 다량무기질의 변화를 살펴본 연구는 매우 부족한 실정이다. 칼슘 보충이 철의 흡수를 저해한다는 결과는 많은 연구를 통해 일관되게 보고되고 있다. Hallberg 등(13)은 300 mg의 칼슘을 첨가했을 때 비헬철의 흡수가 감소되었고, 이러한 감소는 칼슘 섭취량이 증가할수록 높게 나타났다고 보고하였다. 칼슘 보충에 따라 철의 흡수율이 저하되는 이유는 칼슘과 철이 결합해 염을 형성하기 때문이라는 점을 고려할 때 철 보충에 따른 칼슘 흡수의 변화도 고려해 볼 수 있을 것이다. 이에 대한 연구로 Standish 등(30)은 숫송아지를 대상으로 사료내 철 함량이 무기질의 흡수에 미치는 영향을 살펴보았을 때 철 공급수준이 높을수록 마그네슘의 흡수율은 유의하게 감소하였지만 칼슘에는 유의한 영향을 미치지 않았다고 한다. 본 연구에서는 철 보충에 따라 소변중 칼슘 배설량은 유의적으로 증가하였으며, 나트륨 배설량은 오히려 감소하였다. 그러나 무기질의 섭취량과 대변 중 배설량을 고려한 칼슘과 나트륨의 겉보기 흡수율은 철 보충에 따라 유의한 차이가 없었다. 즉 철 보충이 칼슘 이용에 미치는 영향은 Standish 등(30)의 보고와 일치하고 있지만, 철 보충에 따른 나트륨 이용률의 변화에 대한 연구는 보고된 바가 없어 본 연구결과를 설명하기 어려운 실정이다.

본 연구에서 나타난 무기질 평형에 관한 결과를 종합해볼 때 요구량의 2배와 4배의 철 보충에 따라 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨의 다량 무기질과 철, 구리, 아연의 미량무기질의 겉보

기 흡수율은 유의한 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 철 보충 수준이 높지 않았으며 철 보충에 따라 사료섭취량이 증가하여 다른 무기질의 섭취량도 증가하였기 때문에 철 보충효과가 더욱 상쇄된 결과라고 생각한다. 그러나 칼슘, 나트륨, 철, 구리, 아연의 소변중 배설량은 철 보충의 유의한 영향을 받아 장기적인 철 보충이 이루어진다면 무기질의 체내 보유량이 감소함에 따라 영양상태가 저하될 수 있을 것으로 보여진다. 따라서 앞으로 보다 높은 수준과 장기간의 철 보충에 따라 무기질의 체내 변화를 동물실험과 인체실험을 통해 평가할 수 있는 연구가 필요하다고 생각되며, 각 영양소의 적절한 섭취와 함께 영양적으로 균형잡힌 일상식사의 중요성에 대한 지도가 이루어져야 할 것이다.

## 요 약

본 연구에서는 철의 섭취수준이 증가함에 따라 다양한 무기질의 이용변화를 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 적정수준, 적정수준의 2배와 4배의 철을 6주간 공급한 후 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 철, 구리, 아연의 혈청 수준 및 섭취량과 배설량에 의한 평형상태를 비교, 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 사료 섭취량, 체중 증가량 및 사료효율은 철 보충에 따른 유의한 차이가 없었다. 철 보충에 따른 혈청 철과 아연 함량은 각 군별 차이를 보여 철 함량은 2배 공급군이 유의하게 낮았고 아연 함량은 4배 공급군이 다른 두군에 비해 유의적으로 높았다( $p<0.05$ ,  $p<0.05$ ). 철 보충에 따라 철 섭취량이 유의적으로 증가한 것( $p<0.01$ )을 제외하고 그 밖의 무기질 섭취량은 유의한 차이가 없었다. 소변 중 무기질 배설량은 철 보충에 따라 칼슘, 나트륨, 철, 구리, 아연이 각 군별 유의한 차이를 보였다( $p<0.01$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ). 대변 중 무기질 배설량은 철 보충에 따른 유의한 차이가 없었다. 1일 무기질 보유량은 철 보충에 따라 나트륨과 철이 유의한 차이를 보여( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ) 철 보충이 증가할수록 이들 무기질의 보유량이 높게 나타났다. 그러나 무기질 흡수율은 철 보충에 따라 유의한 차이가 없었다. 이상의 연구결과를 종합할 때 요구량의 2배와 4배의 철 보충에 따라 무기질의 겉보기 흡수율은 유의한 차이가 없었다. 그러나 칼슘, 철, 구리, 아연의 소변 중 배설량은 철 보충에 따라 유의적으로 감소함으로써 장기적인 철 보충이 이루어진다면 이와 같은 무기질의 체내 보유량이

감소함에 따라 영양상태가 저하될 수 있을 것으로 보여진다. 이와 같은 결과는 다양한 무기질의 평형상태를 유지하기 위해서는 무기질 보충제를 이용하는 것보다 균형 잡힌 영양섭취나 일상식사를 통해 적절한 섭취수준을 유지하는 것이 중요하다는 것을 제시해주며, 앞으로 이에 대한 영양지도와 지속적인 연구가 요구된다.

## 문 헌

- Ministry of Health and Welfare. 1999. *Report on 1998 National Health and Nutrition Survey*. Korea. p 75.
- National Statistical Office. 1999. *Yearbook of statistics*. Korea.
- Lee SS, Kim MK, Lee EK. 1990. Nutrient supplement usage by the Korean adult in Seoul. *Korean J Nutrition* 23: 287-297.
- Kim SH. 1994. Patterns of vitamin/mineral supplements usage among the middle-aged in Korea. *Korean J Nutrition* 27: 236-252.
- Halliwell B, Gutteridge JMC. 1990. Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease. *Method in Enzymology* 186: 1-85.
- Salonen JT, Nyyssönen K, Kopela H, Tuomilehto J, Seppänen R, Salonen R. 1992. High stored iron levels are associated with excess risk of myocardial infarction in Eastern Finnish men. *Circulation* 86: 803-811.
- McCord JM. 1991. Is iron sufficiency a risk factor in ischemic heart disease? *Circulation* 83: 1112-1114.
- McLaren GD, Muir WA, Kellermeyer RW. 1983. Iron overload disorders-natural history, pathogenesis, diagnosis and therapy. *CRC Crit Rev Clin Lab Sci* 19: 205-266.
- Kurinji N, Kebanoff MA, Graubard BI. 1986. Dietary supplement and food intake in women of child-bearing age. *J Am Diet Assoc* 86: 1536-1540.
- O'Dell BL. 1989. Mineral interactions relevant to nutrient requirements. *J Nutr* 119: 1832-1838.
- Gipp WF, Pond WC, Kallfelz FA, Tasker JB, van Campen DR, Krook L, Visek WJ. 1974. Effect of dietary copper, iron and ascorbic acid levels on hematology, blood and tissue copper, iron and zinc concentrations and  $^{64}\text{Cu}$  and  $^{59}\text{Fe}$  metabolism in young pigs. *J Nutr* 104: 532-541.
- Anderson HD, McDonough KB, Elvehjem CA. 1940. Relation of the dietary calcium-phosphorus ratio to iron assimilation. *J Lab Clin Med* 25: 464-474.
- Hallberg L, Brune M, Erlandsson M, Sandberg AS, Rossander-Hulten L. 1991. Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *Am J Clin Nutr* 53: 112-119.
- American Institute of Nutrition. 1977. Report of the ad hoc committee on standard for nutritional studies. *J Nutr* 107: 1340-1348.
- NRC Food and Nutrition Board. 1978. *Nutrient requirements of laboratory animals*. Nat Aca Sci, Washington DC. p 16-20.
- 입정남. 1986. 식품의 무기성분 분석. *식품과 영양* 7: 42-46.
- SAS Institute Inc. 1988. *Guide personal computers*. Cary, North Carolina. p 60-62.
- Johnson MA, Hove SS. 1986. Development of anemia in copper-deficient rats fed high levels of dietary iron and sucrose. *J Nutr* 116: 1225-1238.
- Jung HR, Kim MK. 1982. Effect of different levels of dietary protein and iron on the Fe, Cu and Zn metabolism in rats. *Korean J Nutr* 15: 258-267.
- Standish JF, Ammerman CB, Simpson CF, Neal FC, Palmer AZ. 1969. Influence of graded levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. *J Anim Sci* 29: 496-503.
- Hoekstra WG. 1964. Recent observations on mineral interrelationships. *Fed Proc* 23: 1068-1076.
- Cox DH, Harris DL. 1960. Effect of excess dietary zinc on iron and copper in the rats. *J Nutr* 70: 514-520.
- Van Campen DR. 1969. Copper interference with the intestinal absorption of zinc-65 by rats. *J Nutr* 97: 104-107.
- Wu WH, Meydani M, Meydani SN, Burkland PM, Blumberg JB, Munro HN. 1990. Effect of dietary iron overload on lipid peroxidation, prostaglandin synthesis and lymphocyte proliferation in young and old rats. *J Nutr* 120: 280-289.
- Bafundo KW, Baker DH, Fitzgerald PR. 1984. The iron-zinc interrelationship in the chick as influenced by eimeria acerbulina infection. *J Nutr* 114: 1306-1312.
- Yoon TH, Kim HS. 1994. Effect of dietary iron levels on trace elements in plasma and tissue of rats. *Kor J Gerontol* 4: 24-31.
- Smith CH, Bidlack WR. 1980. 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.
- Hamilton DL, Bellamy JEC, Valberg JD, Valberg LS. 1978. Zinc, cadmium and iron interaction during intestinal absorption in iron deficient mice. *Can J Physiol Pharmacol* 56: 384-388.
- Solomons NW, Jacobs RA. 1981. Studies on the bioavailability of zinc in humans: effects of heme and non heme iron on the absorption of zinc. *Am J Clin Nutr* 34: 475-482.
- Standish JF, Ammerman CB, Palmer AZ, Simpson CF. 1971. Influence of dietary iron and phosphorus on performance, tissue mineral composition and mineral absorption in steers. *J Anim Sci* 33: 171-178.
- Seely JR, Humphrey GB, Matter BJ. 1972. Copper deficiency in an infant fed and iron-fortified formula. *New Engl J Med* 286: 109-110.
- Hedges JD, Kornegay ET. 1973. Interrelationship of dietary copper and iron as measured by blood parameters, tissue stores and feedlot performance of swine. *J Anim Sci* 37: 1147-1154.
- Sherman AR, Moran PE. 1984. Copper metabolism in iron-deficient maternal and neonatal rats. *J Nutr* 114: 298-306.
- Forth W. 1970. Absorption of iron and chemically related metals *in vitro* and *in vivo*: The specificity of iron binding system in the intestinal mucosa of the rat. In *Trace element metabolism in animals*. Mills' CF, ed. Edinburgh, Lovingson. p 298-310.

(2002년 4월 27일 접수; 2002년 6월 29일 채택)