

철분과 셀레늄의 섭취수준이 흰쥐의 망간 이용에 미치는 영향

전 예 숙 · 최 미 경

충남산업대학교 식품영양학과

Effects of Iron and Selenium Intakes on Utilization of Manganese in Rats

Ye-Sook Jun and Mi-Kyeong Choi

Dept. of Food & Nutrition, Chungnam Sanup University, Hongsung 350-800, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of iron and selenium intakes on utilization of manganese in rats fed adequate, 2-fold, 4-fold iron and adequate, high selenium for 6 weeks. There was no difference feed intake across iron and selenium containing diet groups. Body weight gain in 2-fold iron and high selenium group(MFeHSe) was significantly higher than those in other groups. Serum iron level was increased with iron increment, and liver iron content was decreased with selenium supplementation. Selenium and manganese contents in tissues were decreased with iron increment. In the case of manganese balance, manganese excretion through feces was significantly increased as iron intake was increased. However, retention and apparent absorption of manganese were not significantly affected by dietary iron. From these results, it could be suggested that the supplementations of iron and selenium affected the manganese utilization. Therefore, it must be considered interaction with various minerals in micro-nutrient supplementations.

Key words: iron, selenium, manganese, supplementation.

I. 서 론

최근 우리 나라는 경제성장 및 국민생활의 향상과 더불어 식품공급이 원활해지고 식생활이 개선되면서 과거의 영양결핍성 질병률은 감소하고 영양소 과잉이나 불균형 섭취에 따른 질환률이 점차 증가하고 있다^{1,2)}. 또한 일반대중들도 영양의 중요성에 대한

관심이 높아지고 최적의 영양상태를 추구하게 되었으나 이에 비해 올바른 영양지식의 부족으로 단기간에 영양문제를 해결하려고 하여 잘못된 식습관이 형성되고 충분한 과학적 근거나 의사의 처방없이 '영양보충제'를 임의로 복용하는 사례가 늘고 있으며³⁾ 그 중 최근 문제가 되는 것이 철분제제 복용으로 인한 철분의 과잉섭취이다.

철분 과잉공급에 의한 다양한 실험결과에 의하면

철분 과잉상태는 free radical 반응을 자극하고⁵⁾ 지방질의 과산화를 가속화시키며⁶⁾ 나아가 심근경색, 허혈성 심장질환, 뇌혈관성 치매 등의 위험인자가 될 수 있다⁷⁾는 연구결과가 보고되고 있으며, 최근에는 남자 성인의 체내 철분 함유량이 평균치보다 10% 많을 때부터 결장암에서 간암에 이르는 여러 종류의 암 발병 위험율이 높아진다는 보고⁸⁾도 있다. 또한 어린이의 철분 중독은 메스꺼움, 구토, 설사, 위장 출혈 및 이로 인한 쇼크와 혼수상태를 일으키며 회복되더라도 극심한 위장 출혈과 무기력 상태, 간 손상, 심장마비 등으로 사망할 가능성이 있어⁹⁾, 이러한 철분 과잉섭취에 관한 연구가 그 어느 때보다 필요한 실정이다.

일부 미량원소의 식이내 결핍 또는 과잉은 다른 무기질과 대사산물들의 흡수를 저해하기도 하고 노중으로 배설되거나 혈액이나 조직 중의 수준이 변화되는 현상을 초래하게 되는데¹⁰⁾, 이들 중에서 철분 섭취수준의 변화는 아연과 구리에 대한 상호작용으로 지금까지 많이 연구되어 왔지만¹¹⁾ 아직도 다양한 무기질과의 관계에 대해서는 밝혀지지 않은 상태이다.

철분과 관계있는 무기질 중에서 망간(Mn)은 정상적인 골격구조, 생식 및 중추신경계의 정상적인 기능을 위해서 매우 중요하며, 생체내에서 기능상 중요한 여러 가지 효소의 활성제로서 이용되고, 또한 mucopolysaccharide의 합성 전이효소나 프로토타롬빈과 같은 당단백질 합성 전이효소의 활성을 높여 주는 역할도 한다¹²⁾. 오래 전부터 망간은 동식물조직에서 발견되었으며, 1931년 동물의 성장에 망간이 필요하다는 것이 발표되었고, 그후 쥐의 고환의 발육부전 방지와 정상적인 난소 기능의 유지에 망간이 필요하며 결핍증을 통하여 망간이 필수 미량원소의 한 요소임이 입증되었으나^{12,13)} 아직까지 망간의 체내 대사실험은 거의 이루어지지 않은 상태이다.

소장에서 흡수되어 점막을 통해 체내로 이동되는 망간은 철분과 코발트의 결합 부위에 경쟁적으로 작용하여 철분이 결핍된 쥐에게 철분을 보충급여하면 망간의 흡수가 저해되고 철분 결핍시에는 망간의 흡수율이 증가되었다고 한다¹⁴⁾. 특히 출혈에 의한 철분의 부족보다 식이에 의한 부족이 망간의 흡수와

보유를 증가시키는데, 이러한 상관성은 장내 흡수 수용체를 통한 경쟁적 저하나 조혈의 촉진효과로 설명되고 있다¹⁵⁾. 그러나 철분 보충은 송아지에 있어 조직의 망간 농도에 영향을 주지 않았다고 하며¹⁶⁾ 쥐¹⁷⁾, 양¹⁸⁾, 닭¹⁹⁾에 있어서는 간장의 망간함량을 감소시켰다고 보고함으로써 철분의 과잉 섭취에 따른 영향은 분명하지 않은 실정이다. 반대로 몇몇 동물의 경우 망간을 다량 섭취했을 때 철분의 이용률은 저하되었다고 하여²⁰⁾ 철분과 망간은 상호작용을 하는 것으로 보여진다.

지금까지 우리 나라는 철분의 섭취상태와 이용률이 낮아 주로 철분의 부족상태에 관한 연구가 진행되어 왔으나, 최근 식생활의 서구화로 체내 이용률이 높은 햄 철분의 섭취상태가 높아지고¹⁾ 일부 계층에서는 철분을 포함한 영양보충제의 복용사례가 증가함에 따라^{3,4)} 철분과잉에 대한 연구가 필요한 실정이다. 한편, 철분의 과잉섭취시 셀레늄은 체내 이용과 기능면에서 철분과 상호길항작용을 통해 철분과잉으로 인한 문제점을 경감시킬 것으로 사료되지만 아직까지 이에 대한 연구는 부족한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 철분과 셀레늄 수준이 체내 망간 이용에 미치는 영향을 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 철분을 요구량(35 ppm), 요구량의 2배(70 ppm), 요구량의 4배(140 ppm) 수준으로 하고 과잉 철분의 부정적인 효과를 예방할 수 있는 인자로서 셀레늄을 요구량(0.05 ppm), 요구량의 10배(0.5 ppm) 수준으로 하여 6주간 공급한 후 혈액과 조직 중의 철분, 셀레늄, 망간 함량과 망간 평형을 측정하고 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 망간의 체내 이용 변화를 살펴보기 위하여 Table 1과 같이 동물 사육실험을 실시하였다. AIN-76²¹⁾과 NAS-NRC²²⁾를 기준으로 하여 철분은 적정수준(35 ppm)과 적정수준의 2배(70 ppm)와 4배(140 ppm) 수준으로, 셀레늄은 적정수준(0.05 ppm)과 적정수준의 10배 수준(0.5 ppm)으로 결정하였다. 실험동물은 21일령의 이유한 Sprague-Dawley계 숫쥐를 사용하였으며,

Table 1. Experimental design

Dietary group	Iron Selenium	
	mg /kg diet	
AFeASe	35	0.05
AFeHSe	35	0.5
MFeASe	70	0.05
MFeHSe	70	0.5
HFeASe	140	0.05
HFeHSe	140	0.5

In the abbreviated names, A, M and H indicate adequate, medium-high and high levels of iron and selenium, respectively.

실험 시작전 1주일 동안 일정조건에서 고품사료로 적응시킨 후 1군당 10마리씩 임의 배치법으로 6군으

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 ¹⁾	5.0
Mineral mixture ²⁾	3.5
Vitamin mixture ³⁾	1.0
Choline bitartrate	0.2

¹⁾ Butylated hydroxytoluene as antioxidant was added 0.0125% /kg oil

²⁾ Mineral mixture:

Calcium phosphate · dibasic 500g, sodium chloride 74g, potassium citrate · monohydrate 220g, potassium sulfate 52g, magnesium oxide 24g, manganous carbonate 3.5g, ferric citrate (6, 12, 24g), zinc carbonate 1.6g, cupric carbonate 0.3, potassium iodate 0.01g, sodium selenite (0.01, 0.1g), chromium potassium sulfate 0.55g; sucrose finely powdered to make 1,000g.

³⁾ Vitamin mixture:

Thiamin · HCl 600mg, riboflavin 600mg, pyridoxine · HCl 700mg, nicotinic acid 3g, D-calcium pantothenate 1.6g, folic acid 200mg, D-biotin 20mg, cyanocobalamine 1mg, vitamin A 400,000IU, dl- α -tocopherol acetate 5,000IU, cholecalciferol 2.5mg, menaquinone 5mg; sucrose finely powdered to make 1,000g.

로 나누어 6주간 사육하였다. 사육조건은 온도 24±2℃, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며, 물은 탈이온수로 매일 급여시켰고 모든 사료와 물은 자유급식시켰다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 동물 사육에 필요한 사육장, 사료통, 물통 등을 0.4% EDTA(ethylenediamine 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. 실험종료전 3일 동안 실험동물을 metabolic cage에 옮겨 소변과 대변을 수집하였으며, 소변은 3,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액을 취하여 체모를 제거한 대변과 함께 -20℃에서 냉동보관하였다가 분석에 사용하였다. 6주 사육한 실험동물은 12시간 전부터 절식시킨 후 개체별로 체중을 측정하였고 ethyl ether로 마취시킨 후 복부 대동맥에서 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 2,000 rpm에서 30분간 원심분리하여 혈청을 분리하였으며, 혈액 채취 후 각 장기를 떼어내어 생리식염수로 불순물을 씻어낸 다음 무게를 측정하였다. 혈청과 각 장기는 임²³⁾의 습식분해법으로 분해한 후 철분, 셀레늄, 망간의 함량을 각각 ICP(inductively coupled plasma) emission spectro analyzer를 사용하여 측정하였다. 실험을 통해 얻어진 모든 자료는 SAS program을 이용하여 평균과 표준편차를 구하고 철분과 셀레늄의 2원 분산분석(3×2)에 대한 ANOVA 검정을 하였다. 그 결과 각 요인에 따른 유의차가 존재할 때는 각 군간의 차이를 관찰하기 위해서 Duncan's multiple range test를 실시하였다²⁴⁾.

III. 결과 및 고찰

1. 사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 사료섭취량, 체중증가량, 사료효율에 대한 결과는 Table 3과 같

Table 3. Feed intake, body weight gain, and feed /gain ratio of rats fed diets containing various levels of iron and selenium

Dietary group	Feed intake g /day	Body weight gain g /day	Feed / gain
AFeASe	11.2±2.9	3.9±0.6 ^{e1)}	3.1±0.5 ^d
AFeHSe	15.4±1.5	3.2±0.7 ^f	5.0±0.7 ^b
MFeASe	19.6±5.5	4.1±0.4 ^d	4.9±0.2 ^b
MFeHSe	23.9±3.6	5.9±0.3 ^a	4.1±0.2 ^c
HFeASe	24.6±2.8	4.3±1.0 ^f	5.8±0.7 ^a
HFeHSe	21.4±8.6	4.5±0.4 ^b	4.9±0.5 ^b
ANOVA ²⁾ Fe	N.S. ³⁾	p<0.05	p<0.05
ANOVA ²⁾ Se	N.S.	p<0.05	N.S.
ANOVA ²⁾ Fe×Se	N.S.	p<0.05	p<0.05

¹⁾ Means with different letters within a column are significantly different each other at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

²⁾ P-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance.

³⁾ Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by 2-way analysis of variance.

다. 사료섭취량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따라 유의적인 차이가 없었으며, 체중증가량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어 (p<0.05, p<0.05) 2배 철분과 고셀레늄 섭취군이 제일

높았으며 적정 철분과 고셀레늄 섭취군이 가장 낮았다. 철분의 섭취수준을 달리한 몇몇 연구에서 철분 적정군과 과잉군의 체중증가량은 유의적인 차이가 없었다고 하여 본 실험결과와 다른 경향을 보였다. 식이효율은 철분 섭취수준에 의한 유의적인 차이를 보여(p<0.05) 4배 철분과 적정 셀레늄 섭취군이 가장 나빴으며 적정 철분과 적정 셀레늄 섭취군이 제일 좋은 것으로 나타났다.

2. 혈청과 조직중의 철분함량

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 혈청과 조직 중의 철분함량은 Table 4와 같다. 혈청 철분함량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았으나(p<0.05) 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 간장의 철분함량은 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어(p<0.01) 2배와 4배 철분섭취시 셀레늄 보충군이 적정군보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 그러나 비장과 신장의 철분함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 철분의 섭취수준에 따른 혈청과 조직 중의 철분함량 변화를 쥐²⁶⁾와 그외의 실험동물^{26,27)}, 그리고 사람²⁸⁾을 대상으로 관찰한 연구에서 5~12주간의 철분보충은 혈액과 조직의 철분함량을 증가시키는 것으로 보고되고 있으나, 6주간

Table 4. Iron contents in serum and tissues of rats fed diets containing various levels of iron and selenium

Dietary group	Serum µg /dl	Liver	Spleen µg /g	Kidney
AFeASe	79.0 ± 5.3 ^{b1)}	94.7 ± 2.6 ^{bc}	158.3 ± 5.2	42.2 ± 5.5 ^c
AFeHSe	146.5 ± 5.5 ^{ab}	93.7 ± 11.1 ^{bc}	121.9 ± 5.0	55.3 ± 2.1 ^{ab}
MFeASe	102.5 ± 2.4 ^{ab}	102.4 ± 6.5 ^{ab}	163.5 ± 12.3	47.8 ± 2.0 ^{bc}
MFeHSe	81.4 ± 9.6 ^b	75.3 ± 1.7 ^d	156.4 ± 5.6	54.4 ± 1.6 ^{ab}
HFeASe	160.0 ± 1.7 ^a	114.4 ± 3.4 ^a	235.3 ± 13.6	59.5 ± 0.7 ^a
HFeHSe	135.5 ± 13.1 ^{ab}	80.9 ± 2.8 ^{cd}	204.7 ± 7.7	51.8 ± 4.2 ^{abc}
ANOVA ²⁾ Fe	p<0.05	N.S.	N.S.	N.S.
ANOVA ²⁾ Se	N.S. ³⁾	p<0.01	N.S.	N.S.
ANOVA ²⁾ Fe×Se	N.S.	N.S.	N.S.	p<0.05

¹⁾ Means with different letters within a column are significantly different each other at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

²⁾ P-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance.

³⁾ Not significant at $\alpha=0.05$ as determined by 2-way analysis of variance.

Table 5. Selenium contents in serum and tissues of rats fed diets containing various levels of iron and selenium

Dietary group	Serum	Liver	Kidney
	$\mu\text{g}/\text{dl}$	$\mu\text{g}/\text{g}$	
AFeASe	2.6 ± 0.1	$1.8 \pm 0.2^{a1)}$	3.3 ± 0.2
AFeHSe	4.0 ± 0.5	1.9 ± 0.2^a	3.4 ± 0.1
MFeASe	2.6 ± 0.1	1.5 ± 0.2^{ab}	3.1 ± 0.1
MFeHSe	3.1 ± 0.9	1.6 ± 0.1^{ab}	3.9 ± 1.5
HFeASe	2.6 ± 0.1	1.0 ± 0.2^b	3.4 ± 0.1
HFeHSe	3.1 ± 0.1	1.3 ± 0.3^{ab}	4.4 ± 0.5
Fe	N.S. ³⁾	$p < 0.05$	N.S.
ANOVA ²⁾ Se	N.S.	N.S.	N.S.
Fe \times Se	N.S.	N.S.	N.S.

1) Means with different letters within a column are significantly different each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

2) P-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance.

3) Not significant at $\alpha = 0.05$ as determined by 2-way analysis of variance.

철분보충을 실시한 본 연구에서는 혈청은 유의적인 증가가 있었으나 간장, 비장, 신장에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 한편 20일 정도의 단기간 철분보충은 각 조직의 철분함량에 유의적인 영향을 미치지 않았다고 보고함으로써^{29,30)} 본 연구에서 혈액과 조직 중의 철분보충의 영향이 다르게 나타난 것은 철분 공급기간의 차이인 것으로 보여지며, 앞으로 이에 대한 연구가 요구된다. 최근 간장의 철분과 잉축적으로 야기될 수 있는 심장질환과 간질환과의 관계에 대한 연구에 관심이 집중되고 있는데, Bacon 등³¹⁾은 유리된 철이온은 사람에게서 atherosclerotic lesion을 진행시켰다고 보고하였고, 사람에게서 만성적인 철분의 과잉섭취는 간 세포의 손상과 섬유증을 야기시켜 그 결과 간 경변이 발생되었다는 보고³²⁾도 있다. 본 연구에서 셀레늄 보충은 간장의 철분함량을 감소시키는 것으로 나타났는데, 이는 간장이 철분의 주요 저장장소이며 철분보충은 간장의 microsomal drug metabolizing enzyme의 활성을 감소시키기 때문에 항산화제로서 셀레늄 보충이 철분 섭취수준의 증가에 따른 간장의 철분함량 상승을 억제하는 효과를 보인 것³³⁾으로 사료되지만

결과를 정확히 해석하기 위해서는 좀더 체계화된 연구가 이루어져야 할 것이다.

3. 혈청과 조직 중의 셀레늄 함량

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 혈청과 조직 중의 셀레늄 함량에 대한 결과는 Table 5에 제시한 바와 같다. 혈청과 신장의 셀레늄 함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 없었으나 간장의 셀레늄 함량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 낮았다($p < 0.05$). Stone 등³⁴⁾은 산화제로 작용하는 철분 보충에 따라 항산화제의 역할을 하는 셀레늄의 소비가 증가되어 체내 감소를 초래한다고 하였으며, Arnaud 등³⁵⁾은 임신부에게 경구적인 철분보충을 실시했을 때 산모의 혈청 셀레늄 수준이 감소되어 철분보충은 구리, 아연과 함께 셀레늄의 상태에 부정적인 영향을 줄 수 있다고 하였다. 본 연구결과는 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 조직 중의 철분함량을 살펴본 바와 같이 철분과 셀레늄이 체내 이용과 기능면에서 상호 길항작용을 하기 때문에 나타난 것으로 보여지며, 다른 조직보다 간장에서 유의적인 차이를 보인 것은 간장이 철분의 주요 저장소로서 식이내 철분 공급 증가에 따른 철분의 영향을 많이 받았기 때문인 것으로 사료된다.

4. 혈청과 조직 중의 망간 함량

Table 6과 같이 혈청, 간장, 신장의 망간 함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따라 유의적인 차이를 보였다. 철분의 섭취수준이 2배, 4배 증가시 혈청과 조직의 망간 함량은 유의하게 감소하였지만 셀레늄은 철분의 섭취수준에 따라 각 조직 중의 망간 함량에 미치는 영향이 다른 것으로 나타났다. Davis 등³⁶⁾은 철분과 망간의 섭취수준을 달리하여 7주간 흰쥐를 사육했을 때 고철분 섭취군의 각 조직 중의 망간 함량과 심장의 Mn-superoxide dismutase 활성이 대조군에 비해 유의적으로 감소하였다고 하여 본 연구결과와 일치하였다. 철분의 섭취수준은 체조직의 망간 함량에 영향을 미치지 않지만, 철분과 망간의 상호작용은 흡수와 배설과정 중 수용체와의 경쟁으로 주로 일어나기 때문에 장점막세포에 미치는 영향이 가장 크다고 한다.

Table 6. Manganese contents in serum and tissues of rats fed diets containing various levels of iron and selenium

Dietary group	Serum	Liver	Kidney
	$\mu\text{g}/\text{dl}$	$\mu\text{g}/\text{g}$	
AFeASe	$7.2 \pm 0.3^{b1)}$	2.2 ± 0.1^c	3.1 ± 0.6^c
AFeHSe	8.2 ± 0.5^a	3.1 ± 0.1^a	4.4 ± 0.3^a
MFeASe	6.3 ± 0.3^c	2.5 ± 0.2^b	3.2 ± 1.2^b
MFeHSe	5.0 ± 0.3^e	2.5 ± 0.5^b	1.6 ± 0.3^f
HFeASe	5.0 ± 0.3^e	2.5 ± 0.3^b	2.5 ± 0.3^d
HFeHSe	5.4 ± 0.8^d	2.2 ± 0.2^c	2.1 ± 0.2^e
ANOVA ²⁾			
Fe	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Se	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Fe × Se	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$

¹⁾ Means with different letters within a column are significantly different each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

²⁾ P-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance.

5. 망간 평형

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 망간 평형에 대한 결과는 Table 7과 같다. 망간의 섭취량과 소변과 대변으로의 배설량은 모두 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이를 보였으며, 망간의 보유량과 결보기 흡수율은 셀레늄 섭취수준에 따른 유의

적인 차이를 보였다. Davis 등³⁶⁾은 고농도($276 \mu\text{g}/\text{g}$ diet)와 중정도($19 \mu\text{g}/\text{g}$ diet)의 철분의 섭취는 망간의 흡수와 보유량을 저해하였다고 하며, DiezEwald³⁷⁾와 King 등³⁸⁾은 철분 결핍시 망간의 흡수가 증가되었다고 하여 본 연구와 일치하지 않았다. 그러나 Baker와 Halpin³⁹⁾은 닭에 있어 식이 철분의 섭취수준이 망간의 상태에 유의적인 영향을 주지 않았다고 하여 본 연구결과와 일치하였다. 이와 같은 연구 결과의 차이를 Davis 등³⁶⁾은 철분의 섭취수준에 따른 진정 흡수율과 결보기 흡수율의 차이로 설명하고 있다. 철분과 망간은 장점막세포의 이동, 점막세포에서 체내로의 이동, 체세포에서 배설장소로의 이동시 수용체와의 경쟁으로 상호작용을 하며, 장내 망간의 흡수와 분비는 체내 망간의 항상성 유지에 중요한 역할을 한다^{12,14)}. 따라서 철분과 망간의 섭취 부족은 장내 망간의 흡수를 현저히 증가시키고, 이들의 섭취 증가는 망간의 흡수를 감소하게 된다. 만약 담관을 통한 망간의 배설과 같은 내인성 분비과정이 망간의 항상성 유지에 중요하다면 망간의 내인성 손실량은 섭취된 망간의 양이나 흡수된 망간의 양에 따라 달라져야 하지만, 망간의 내인성 손실량은 섭취량에 관계없이 흡수된 망간의 약 8%로 일정하기 때문에 장에서의 흡수 조절이 망간의 항상성을 유지하는 주요 방법이라고 한다¹⁴⁾. 이에

Table 7. Manganese balance of rats fed diets containing various levels of iron and selenium

Dietary group	Intake	Excretion		Retention	Apparent absorption
		Urine	Feces		
	$\mu\text{g}/\text{day}$	$\mu\text{g}/\text{day}$	$\mu\text{g}/\text{day}$	$\mu\text{g}/\text{day}$	%
AFeASe	620.0 ± 30.1^f	5.6 ± 0.4^b	397.3 ± 199.2	217.2 ± 177.3^{ab}	36.6 ± 30.7^{abc}
AFeHSe	851.0 ± 81.2^e	10.7 ± 1.7^a	426.5 ± 102.7	412.8 ± 161.7^{ab}	49.1 ± 16.2^{ab}
MFeASe	$1,081.3 \pm 311.3^d$	4.7 ± 0.6^d	948.4 ± 338.2	125.7 ± 93.2^b	13.6 ± 12.3^c
MFeHSe	$1,312.6 \pm 210.1^b$	4.0 ± 1.0^e	681.1 ± 68.8	598.4 ± 258.9^a	46.7 ± 12.6^{ab}
HFeASe	$1,350.5 \pm 151.3^a$	5.0 ± 1.0^c	$1,016.5 \pm 21.4$	275.2 ± 164.7^{ab}	24.1 ± 8.9^{bc}
HFeHSe	$1,182.0 \pm 474.1^c$	4.7 ± 0.6^d	500.5 ± 119.6	639.1 ± 559.1^a	50.7 ± 25.9^a
ANOVA ²⁾					
Fe	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	N.S.	N.S.
Se	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.01$	$p < 0.01$
Fe × Se	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	N.S.	N.S.

¹⁾ Means with different letters within a column are significantly different each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

²⁾ P-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance.

³⁾ Not significant at $\alpha = 0.05$ as determined by 2-way analysis of variance.

Davis 등³⁶⁾은 철분이 망간 평형에 미치는 영향을 설명하기 위해서는 망간의 흡수율에 따른 내인성 배설량을 고려한 진정 흡수율의 차이를 살펴보는 것이 필요하다고 지적하였다. 본 연구에서도 조직의 망간 함량이 철분의 섭취수준 증가에 따라 유의하게 감소한 결과로 볼 때 망간 평형이 철분의 섭취수준에 따라 유의한 영향이 나타나지 않은 것은 내인성 분비량을 고려하지 못했기 때문으로 사료되며 앞으로 이를 보충한 연구가 요구된다. 한편 철분과 달리 셀레늄의 보충은 망간의 겔보기 흡수율을 증가시키는 것으로 나타났는데, 이는 셀레늄이 철분의 과잉 섭취에 따른 다양한 체내 부정적인 영향을 경감시켜 주는 효과를 보인 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

철분과 셀레늄 섭취수준이 체내 망간 이용에 미치는 영향을 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 철분을 요구량(35 ppm), 요구량의 2배(70 ppm), 요구량의 4배(140 ppm) 수준으로 하고, 과잉철분의 부정적인 효과를 예방할 수 있는 인자로서 셀레늄을 요구량(0.05 ppm), 요구량의 10배(0.5 ppm) 수준으로 하여 6주간 공급한 후 혈액과 조직 중의 철분, 셀레늄, 망간 함량과 망간 평형을 측정하고 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

사료섭취량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따라 유의적인 차이가 없었으며, 체중 증가량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어 ($p < 0.05$, $p < 0.05$) 2배 철분과 고셀레늄 섭취군이 제일 높았으며 적정 철분과 고셀레늄 섭취군이 가장 낮았다.

혈청 철분함량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았으나 ($p < 0.05$) 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 간장의 철분함량은 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어 ($p < 0.01$) 2배와 4배 철분섭취시 셀레늄 보충군이 적정군보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 그러나 비장과 신장의 철분함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

혈청과 신장의 셀레늄 함량은 철분과 셀레늄의 섭

취수준에 따른 유의적인 차이가 없었으나 간장의 셀레늄 함량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 낮았다 ($p < 0.05$).

혈청과 조직 중의 망간 함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따라 유의적인 차이를 보여 철분의 섭취수준이 2배, 4배 증가시 혈청, 간장, 신장의 망간 함량이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 망간의 섭취량과 소변과 대변으로의 배설량은 모두 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이를 보였으며, 망간의 보유량과 겔보기 흡수율은 셀레늄 섭취수준에 따른 유의적인 차이를 보였다.

이상의 연구결과를 종합할 때 망간 이용은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 영향을 받는 것으로 보여지며, 과량의 철분 복용시 망간의 영양상태를 고려함과 동시에 앞으로 철분의 안전한 상향 섭취수준을 결정하기 위해서는 철분의 섭취수준과 다양한 무기질과의 관계 및 이들 관계를 설명할 수 있는 체계화된 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

V. 참고문헌

1. 보건복지부 : '93 국민영양조사 결과보고서, 남형분화사, 서울, 1995.
2. 경제기획원 조사통계국 : 사망통계연보, 1996.
3. 이상선, 김미경, 이은경 : 서울지역 성인의 영양보충제 복용실태, 한국영양학회지, 24:287-297, 1990.
4. 김선효 : 중년기의 비타민·무기질 보충제 복용실태조사, 한국영양학회지, 27:236-252, 1994.
5. Halliwell, B. and Gutteridge, J. M. C. : Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease, Method in Enzymology, 186: 1-85, 1990.
6. Salonen, J. T., Nyyssönen, K., Korpela, H., Tuomilehto, J., Seppänen, R. and Salonen, R. : High stored iron levels are associated with excess risk of myocardial infarction in eastern finnish men, Circulation, 86:803-811, 1992.
7. McCord, J. M. : Is iron sufficiency a risk

- factor in ischemic heart disease? *Circulation*, 83:1112-1114, 1991.
8. McLaren, G. D. and Muir, W. A. and Kellermeyer, R. W. : Iron overload disorders-Natural history, pathogenesis, diagnosis and therapy, *CRC Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, 19:205-266, 1983.
 9. Kurinji, N., Kebanoff, M. A. and Graubard, B. I. : Dietary supplement and food intake in women of child-bearing age, *J. Am. Diet. Assoc.*, 86:1536-1540, 1986.
 10. O'Dell, B. L. : Mineral interactions relevant to nutrient requirements, *J. Nutr.*, 119:1832-1838, 1989.
 11. Gipp, W. F., Pond, W. C., Kallfelz, F. A., Tasker, J. B., van Campen, D. R., Krook, L. and Visek, W. J. : Effect of dietary copper, iron and ascorbic acid levels on hematology, blood and tissue copper, iron and zinc concentrations and ⁶⁴Cu and ⁵⁹Fe metabolism in young pigs, *J. Nutr.*, 104:532-541, 1974.
 12. Leach, R. M. and Lilburn, M. S. : Manganese metabolism and its function, *World Rev. Nutr. Diet.*, 32:123-134, 1978.
 13. Gibbons, R. A., Dixon, S. N., Hallis, K., Russel, A. M., Sansan, B. F. and Symonds, M. W. : Manganese metabolism in cows and goats, *Biochim. Biophys. Acta*, 444:1-10, 1976.
 14. Thomson, A. B. R., Olantunbosun, D. and Valberg, L. S. : Interrelation of intestinal transport system for manganese and iron, *J. Lab. Clin. Med.*, 78:642-655, 1971.
 15. Flanagan, P. R., Haist, J. and Valberg, L. S. : Comparative effects of iron deficiency induced by bleeding and a low iron diet on the intestinal absorptive interactions of iron, cobalt, manganese, zinc, lead and cadmium, *J. Nutr.*, 110:1754-1763, 1980.
 16. Ho, S. Y., Miller, W. J., Gentry, R. P., Neathery, M. W. and Blackman, D. M. : Effects of high but nontoxic dietary manganese and iron on their metabolism by calves, *J. Dairy Sci.*, 67:1489-1495, 1984.
 17. Hurley, L. S., Keen, C. L. and Lönnnerdal, B. : Aspects of trace element interactions during development, *Fed. Proc.*, 42:1735-1739, 1983.
 18. Ivan, M. and Hidroglou, M. : Effect of dietary manganese on growth and manganese metabolism in sheep, *J. Dairy Sci.*, 63:385-390, 1980.
 19. Black, J. R., Ammerman, C. B., Henry, P. R. and Miles, R. D. : Effect of dietary manganese and age on tissue trace mineral composition of broiler-type chicks as a bioassay of manganese sources, *Poultry Sci.*, 64:688-693, 1984.
 20. Hartman, R. H., Matrone, G. and Wise, G. H. : Effects of high dietary manganese on hemoglobin formation, *J. Nutr.*, 57:429-439, 1955.
 21. American Institute of Nutrition : Report of the ad hoc committee on standards for nutritional studies. *J. Nutr.*, 107:1340-1348, 1977.
 22. National Research Council : Nutrient requirements of laboratory animals, National academy of sciences, Washington D. C., 1972.
 23. 임정남 : 식품의 무기성분분석, *식품과 영양*, 17:42-46, 1986.
 24. 김충련 : SAS라는 통계상자, *데이터리서치*, 서울, 1993.
 25. Wu, W. H., Meydani, M., Meydani, S. N., Burklund, P. M., Blumberg, J. B. and Munro, H. N. : Effect of dietary iron overload on lipid peroxidation, prostaglandin synthesis and lymphocyte proliferation in young and old rats, *J. Nutr.*, 120:280-289, 1990.

26. Gipp, W. F., Pond, W. C., Kallfelz, F. A., Tasker, J. B., van Campen, D. R., Krook, L. and Visek, W. J. : Effect of dietary copper, iron and ascorbic acid levels on hematology, blood and tissue copper, iron and zinc concentrations and ⁶⁴Cu and ⁵⁹Fe metabolism in young pigs, *J. Nutr.*, 104:532-541, 1974.
27. Bafundo, K. W., Baker, D. H. and Fitzgerald, P. R. : The iron-zinc interrelationship in the chick as influenced by eimeria acerbulina infection, *J. Nutr.*, 114:1306-1312, 1984.
28. Yip, R., Reeves, J. D., Lönnnerdal, B., Keen, C. L. and Dallman, R. P. : Does iron supplementation compromise zinc nutrition in healthy infants? *Am. J. Clin. Nutr.*, 42:683-687, 1985.
29. 윤태현, 김현숙 : 식이철분수준이 흰쥐의 혈장 및 조직의 미량원소 함량에 미치는 영향, *한국노화학회지*, 4:24-31, 1994.
30. 정해량, 김미경 : 식이내 단백질과 철분수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사에 미치는 영향, *한국영양학회지*, 15:258-267, 1982.
31. Bacon, B. R., Tavill, A. S., Brittenham, G. M., Park, C. H. and Recknagel, R. O. : Hepatic Lipid peroxidation in vivo in rats with chronic iron overload, *J. Clin. Invest.*, 71:429-439, 1983.
32. McLaren, G. D., Muir, W. A. and Keller-meyer, R. W. : Iron overload disorders: Natural history, pathogenesis, diagnosis and therapy, *CRC Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, 19:205-266, 1983.
33. Bonkowsky, H. L., Carpenter, S. J. and Healey, J. F. : Iron and the liver. Subcellular distribution of iron and decreased microsomal cytochrome P₄₅₀ in livers of iron-loaded rats, *Arch. Pathol. Lab. Med.*, 103:21-29, 1979.
34. Stone, W. L., Stewart, M. E., Nicholas, C. and Pavuluri, S. : Effects of dietary selenium and vitamin E on plasma lipoprotein cholesterol levels in male rats, *Ann. Nutr. Metab.*, 30:94-103, 1986.
35. Arnaud, J., Prual, A., Preziosi, P., Cherouvrier, F., Favier, A., Galan, P. and Hercberg, S. : Effect of iron supplementation during pregnancy on trace element (Cu, Se, Zn) concentrations in serum and breast milk from Nigerien women, *Ann. Nutr. Metab.*, 37:262-271, 1993.
36. Davis, C. D., Wolf, T. L. and Greger, J. L. : Varying levels of manganese and iron affect absorption and gut endogenous losses of manganese by rats, *J. Nutr.*, 122:1300-1308, 1992.
37. Diez-Ewald, M., Weintraub, L. R. and Crosby, W. M. : Interrelationship of iron and manganese metabolism, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 129:448-451, 1968.
38. King, B. O., Lassiter, J. W., Neathery, M. W., Miller, W. J. and Gentry, R. P. : Effect of lactose, copper and iron on manganese retention and tissue distribution in rats fed dextrose-casein diets, *J. Anim. Sci.*, 50:452-458, 1980.
39. Baker, D. H. and Halpin, K. M. : Manganese and iron interrelationship in the chick, *Poult. Sci.*, 70:146-152, 1991.