

철분과 셀레늄의 섭취수준이 흰쥐의 혈액과 간장의 지질수준에 미치는 영향

전예숙 · 승정자*[†]

충남산업대학교 식품영양학과

*숙명여자대학교 식품영양학과

Effects of Dietary Fe and Se Levels on Lipid Levels in Serum and Liver of Rats

Ye-Sook Jun and Chung-Ja Sung*[†]

Dept. of Food and Nutrition, Chungnam Sanup University, Hongsung 350-800, 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 dietary Fe and Se levels on lipid contents of serum and liver in growing rats fed adequate Fe(35ppm), medium-high Fe(70ppm), high Fe(140 ppm), adequate Se(0.05ppm), and high Se(0.5ppm) for 6 weeks. Serum levels of Fe and Se increased as the levels of dietary Fe and Se were increased, respectively ($p < 0.05$, $p < 0.05$). Serum levels of total cholesterol and (LDL + VLDL)-cholesterol increased as the level of dietary Fe was increased ($p < 0.001$, $p < 0.001$), and were lower in high-Se group than those in adequate-Se group ($p < 0.001$, $p < 0.001$). Liver Fe level in High-Se group was lower than that in adequate-Se group ($p < 0.01$) and liver Se level decreased as the dietary Fe level was increased ($p < 0.05$). Liver levels of phospholipid and total lipid in high-Se group were lower than that in adequate-Se group ($p < 0.05$, $p < 0.01$). Liver levels of triglyceride and total lipid decreased as the level of dietary Fe was increased ($p < 0.05$, $p < 0.01$). From these results, it is considered that serum lipid contents are increased in case of Fe overload and decreased with adding Se. Therefore, it could be suggested that adequate Fe intake and Se addition are recommended for prevention of lipid increment in serum.

Key words: Fe, Se, intake levels, lipids

서 론

최근 우리나라는 경제수준의 향상과 생활의 서구화로 인해 지질 섭취량이 증가하고 있으며, 아직까지 곡류위주의 식생활로 철분 섭취량과 흡수율은 낮은 상태이지만 철분 섭취량이 계속 증가하여 1993년도에는 22.4mg으로 권장량의 176.1%에 이르고 있으며, 생활의 서구화로 육류의 섭취량이 계속 증가하고 있는 점을 고려할 때 철분 섭취는 계속 높아질 것이다(1). 한편 우리나라 1991년도 사망통계(2)에 의하면 순환기계 질환(심장병, 고혈압, 뇌혈관 질환 등)이 28.7%로 가장 높으며, 구미 선진국의 경우 해마다 심장병으로 인한 사망률이 증가하여 주요 사인별 사망순위 1위로 전체 사망자의 30%를 차지하고 있는 실정이다. 이러

한 심장질환의 주요 위험인자는 높은 혈청 콜레스테롤과 중성지질 수준, 고혈압, 흡연, 과체중, 스트레스, 고령 그리고 운동부족 등이며, 이중에서도 최근의 생활 패턴으로 문제가 되고 있는 지질 섭취량의 증가로 인한 혈중 지질의 증가는 가장 큰 요인으로 지적되고 있다(3). 혈중 지질 함량에 영향을 미치는 요인에 대한 연구는 많은 영양학자들의 주요 연구과제로써 지방의 종류, 탄수화물의 섭취량, 식이섬유소, 칼슘, 마그네슘 등에 대한 연구가 이미 이루어져 있는 상태이다.

최근 Sullivan(4)은 가임여성의 허혈성 심장질환의 발생빈도가 남성과 폐경 후 여성 보다 낮는데, 이것은 종래 estrogen 차이 때문(5)이라는 것과는 달리 체내 철분 저장량의 차이 때문이라고 새롭게 제안하였고, Cunnane과 McAdoo(6)는 흰쥐를 대상으로 27ppm과 237

[†]To whom all correspondence should be addressed

ppm의 철분을 공급했을 때 고철분 섭취군이 정상철분 섭취군에 비해 혈중 콜레스테롤과 중성지방, 적혈구 콜레스테롤과 인지질 함량이 유의적으로 높았다고 보고하였다. 따라서 철분의 과잉상태(overload)가 순환기계질환의 새로운 식이인자로서 관련성이 있는 것으로 보여지지만 아직까지 이에 대한 연구는 미비한 실정이다.

체내 철분은 활성형 철분과 저장형 철분으로 구성되어 있는데 활성형 철분의 85%는 혈액속에, 5%는 근육속에, 나머지 10%는 cytochrome, dioxygenase, peroxidase, catalase 등의 철분 함유효소들에 함유되어 있으며, 저장형 철분은 ferritin이나 hemosiderin 형태로 간, 비장 및 골수에 저장되어 있다. 성장기 어린이는 활성형 철분의 요구 증가로 약간의 저장형 철분이 축적되며, 성인의 철분 저장량은 이용성 철분의 섭취량과 생리적, 병리적 혈액손실의 평형에 의존하여 변화의 폭이 크다고 한다(0~20mg/kg). 철분의 과잉상태는 체내 철분의 과량으로 인한 저장형 철분의 축적을 의미한다(7).

철분의 과잉상태와 순환기계 질환과의 관계에 대한 연구들을 종합해 볼 때 이들의 관련성은 2가지 측면에서 제시되고 있다(8). 그 첫번째는 체내 철분이 free radical 생성을 통해 조직손상을 초래한다는 것이다. Ferritin은 모든 세포에 존재하는 철분 저장단백질로써 superoxide radical을 생성하는 iron donor로 작용한다. Superoxide나 hydrogen peroxide는 조직에서 철분이 없으면 독성이 약하나 철분과 같은 transition metal의 존재하에서는 독성이 강한 활성을 갖는 hydroxyl radical을 생성하는 것으로 알려져 있다. 실제로 동물 실험에서 심근허혈 후 철분의 과잉상태는 심장손상에 대한 민감도를 증가시켰음이 보고되었다(9). 두번째 철분의 작용은 LDL의 산화 축진을 통해 설명되고 있다. 여러 생체내, 생체외 실험에서 LDL이 산화적 변화를 통해 macrophages에 의한 uptake의 target이 됨으로써, 높은 LDL 수준은 atherogenic하다는 것이 입증되었다(10). Lipoprotein-loaded macrophages(foam cell)는 지방선조(fatty streak)에 축적되고 세포독성물질(cytotoxic contents)을 유리해 상피세포의 손상을 초래한다. 이와같은 LDL의 산화는 동맥벽에서 주로 일어나며 철분과 구리의 존재에 의존적이라는 보고가 있다(11). Salonen 등(12)은 역학적인 관찰을 통해 혈청 ferritin 농도와 급성 심근경색의 발생률 간에 높은 상관성이 있음을 발견했으며, 특히 혈청 LDL 농도가 5mmol/L 이상일 경우 더욱 높다고 지적하였다. 최근 몇몇 연구에서 철분의 섭취수준에 따라 체내 지질 함량에 변화를

나타냈다는 결과가 보고됨으로써 철분의 섭취수준에 따른 체내 지질대사의 변화에 대한 정확한 기전을 밝히기 위해서는 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

한편 셀레늄은 적혈구 안에 있는 glutathione peroxidase(GSH)의 구성성분으로써, 이 효소는 적혈구의 막과 세포막을 과산화물로부터 보호해 주는 역할을 한다(7). 따라서 셀레늄은 철분의 함유율이 높은 적혈구에 영향을 미쳐 철분의 체내 효과를 변화시키고 지질대사와의 관계에서 지방 과산화물의 생성을 억제하거나 콜레스테롤의 변화를 가져올 수 있기 때문에 체내 지질에도 직접적인 영향을 미칠 수 있는 요인으로 사료된다. Salonen 등(13)은 셀레늄과 구리 그리고 LDL-콜레스테롤의 상호관계를 알아보고자 126명의 남자들을 대상으로 24개월간 관찰한 결과 혈중 셀레늄 농도는 낮고 혈중 구리수준이 높은 사람의 LDL-콜레스테롤이 높았다고 하는데, 이는 구리가 산화적 변화를 통하여 LDL-콜레스테롤을 상승시키고 셀레늄은 유리된 구리와 화학적으로 결합하여 구리의 흡수를 방해함으로써 구리에 의한 peroxidant 활성을 감소시키기 때문에 나타난 결과라고 하였다.

지금까지 우리나라에서는 철분의 섭취상태와 이용률이 낮아 주로 철분의 부족상태에 관한 연구(14-16)가 진행되어 왔으나, 최근 식생활의 서구화로 철분의 섭취상태가 높아지고 일부 계층에서는 철분을 포함한 영양보충제의 복용사례가 증가함에 따라 철분과잉에 따른 순환기계 질환과의 관계에 대한 연구가 매우 필요한 실정이다. 또한 셀레늄에 대한 연구도 셀레늄 부족시 지질대사에 대한 연구가 주를 이뤄 본 연구에서는 식이 철분 상승에 따른 지질변화와 셀레늄 보충에 따른 지질상승 억제효과가 있는지 살펴보고자 한다.

따라서 본 연구에서는 철분과 셀레늄 수준이 순환기계 질환과 관련이 높은 체내 지질 함량에 미치는 영향을 1차적으로 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 철분의 섭취수준을 35ppm, 70ppm, 140ppm 수준으로 하고 셀레늄 수준을 0.05ppm과 0.5ppm으로 하여 이들 섭취수준에 따른 혈액과 간의 지질 함량을 측정하여 비교분석함으로써 철분의 과잉상태와 순환기계 질환과의 관계를 규명하는 계속적인 연구의 기본자료를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

실험설계

철분과 셀레늄의 섭취수준이 체내 지질 함량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 1과 같은 동물사육

Table 1. Experimental design for supplementation of Fe and Se to basal diet (ppm)

Dietary group ¹⁾	Fe	Se
AFeASe	35	0.05
AFeHSe	35	0.5
MFeASe	70	0.05
MFeHSe	70	0.5
HFeASe	140	0.05
HFeHSe	140	0.5

¹⁾In the abbreviated names, A, M, and H indicate adequate, medium-high, high levels of the minerals, respectively

실험을 실시하였다. 철분과 셀레늄의 섭취수준은 AIN-76 (17)과 NAS-NRC(18)를 기준으로 하여 철분은 적정 수준(35ppm)과 적정수준의 2배(70ppm)와 4배 수준(140 ppm)으로, 셀레늄은 적정 수준(0.05ppm)과 1~2ppm 수준에서 독성이 나타나는 것으로 고려하여 적정수준의 10배 수준(0.5ppm)으로 결정하였다.

실험동물의 사육

실험동물은 21일령의 이유한 Sprague-Dawley계 숫 쥐를 사용하였으며, 실험 시작 전 1주일 동안 일정조건에서 고형사료로써 적응시킨 후 1군당 10마리씩 임의 배치법으로 6군으로 나누어 6주간 사육하였다. 사육조건은 온도 24±2°C, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며, 물은 탈이온수로 매일 급여시켰고 모든 사료와 물은 자유급식시켰다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 동물사육에 필요한 사육장, 사료통, 물통 등을 0.4% EDTA(Ethlenediamine tetraacetic acid)용액에 24시간 동안 담갔다가 2차 증류수로 3번 이상 세척 후 건조기에서 건조시켜 사용하였다. 본 실험에서 사용한 식이는 AIN-76(17)과 NAS-NRC(18)를 참고로 하여 Table 2와 같이 하였으며, 체중은 1주일에 한번씩 같은 시각에 측정하였고 식이섭취로 인한 갑작스런 체중의 변화를 막기 위하여 체중 측정 2시간 전에 사료통을 제거한 후에 실시하였다. 사료 섭취량은 매일 같은 시각에 개체별로 각각 측정하였으며 전날 채워둔 사료통의 무게에서 그날의 무게를 뺀 값으로 섭취량을 계산하였다. 사료 섭취량을 좀더 정확하게 계산하기 위해서 허실량을 측정하여 보정하였다. 실험동물은 6주 사육 후 12시간 전부터 절식시킨 후 개체별로 체중을 측정하였고, ethyl ether로 마취시킨 후 복부 대동맥에서 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 2,000rpm에서 30분간 원심분리하여 혈청을 분리하였으며, 혈액 채취 후 간장을 떼어내어 불순물과 수분을 제거한 다음 무게를 측정하였다.

Table 2. Formulation of experimental diet

Ingredient	Composition(g/kg)
Sucrose ¹⁾	500.0
Corn starch ²⁾	150.0
Casein ²⁾	200.0
Corn oil ³⁾	50.0
Cellulose ¹⁾	50.0
Mineral mixture ⁴⁾	35.0
Vitamin mixture ⁵⁾	10.0
Choline bitartrate ²⁾	2.0
DL-methionine	3.0
	Calculated value
Crude protein(%)	20.00
Metabolizable energy(kcal/g)	3.34

¹⁾Sucrose, α -Cellulose: Sigma Chemical Co.

²⁾Corn starch, Casein, Choline bitartrate: Junsei Chemical Co.

³⁾Corn oil: Doosan Co.

Butylated hydroxy toluene was added as antioxidant at a level of 0.0125%/kg oil

⁴⁾Mineral mixture(/kg diet); Calcium phosphate, dibasic: 17.5g, sodium chloride: 2.59g, potassium citrate, monohydrate: 7.7g, potassium sulfate: 1.82g, magnesium oxide: 0.84g, manganous carbonate: 0.21g, cupric carbonate: 10.5mg, potassium iodate: 0.35mg, chromium potassium sulfate: 19.25mg, zinc carbonate: 56mg
a. Ferrous sulfate as Fe: adequate level 3.78g, medium-high level 7.56g, high level 15.12g

b. Selenium selenite as Se: adequate level 0.315mg, high level 3.15mg

⁵⁾Vitamin mixture(/kg): Thiamin · HCl: 6mg, riboflavin: 6mg, pyridoxine · HCl: 7mg, nicotinic acid: 30mg, D-calcium pantothenate: 16mg, folic acid: 2mg, D-biotin: 0.2mg, cyanocobalamin: 0.01mg, vitamin A: 4,000IU, DL- α -tocopherol acetate: 50IU, cholecalciferol(vitamin D): 0.025mg, menaquinone: 0.05mg

혈액과 간장의 지질과 무기질함량 측정

채취한 혈청의 총 콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤 함량은 효소법(19)으로 phosphotungstic acid-Mg 침전법에 의한 kit를 사용하여 측정하였으며, (LDL+VLDL)-콜레스테롤 함량은 총 콜레스테롤 함량에서 HDL-콜레스테롤 함량을 뺀 값으로 산출하였다. 간장은 Folch 법(20)에 의해 지질을 추출한 후 총 지질 함량을 측정 한 다음 중성지질 함량은 Muller 효소법에 의한 kit를 사용하여 측정하였고, 인지질 함량은 Chen 등(21)의 방법에 의거하여 측정하였다. 혈청의 철분과 셀레늄 함량은 ICP(inductively coupled plasma) emission spectro analyzer와 spectrofluorometer를 사용하여 측정하였다.

통계처리

각군의 평균치간의 비교는 SAS program을 사용하여 철분과 셀레늄의 2원 분산분석(3×2)에 대한 ANOVA 검정을 하였으며, 각 요인에 따른 유의차가 존재할 때는 각 군간의 차이를 관찰하기 위하여 Duncan's multiple range test를 실시하였다(22).

결과 및 고찰

철분과 셀레늄의 공급수준이 흰쥐의 혈액과 간장의 지질 함량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 철분과 셀레늄의 섭취 수준을 달리하여 6주 동안 섭취시킨 후 혈청과 간장의 총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, VLDL-콜레스테롤, 중성지질, 인지질, 총 지질 함량을 분석한 결과는 다음과 같다.

사료섭취량, 체중증가량, 사료효율

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 사료 섭취량, 체중 증가량, 사료 효율에 대한 결과는 Table 3과 같다. 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 사료 섭취량은 유의적인 차이가 없었다. 체중 증가량은 철분과 셀레늄의 섭취 수준에 따른 유의적인 차이가 있어(p<0.05, p<0.05) MFeHSe군이 제일 높았으며 AFeHSe군이 가장 낮았다. 철분의 섭취수준을 달리한 연구에서 Cunnane과 McAdoo(6)는 철분 적정군과 과잉군의 체중 증가량에는 유의적인 차이가 없었다고 하였으며, David 등(23)도 철분 적정군과 과잉군 간에 식이 조성에 따른 차이는 없었다고 하여 본 실험결과와 다른 경향을 보였다. 식이 효율은 철분에 의한 유의적인 차이를 보여(p<

0.05) HFeASe군이 가장 나빴으며 AFeASe군이 제일 좋은 것으로 나타났다.

혈청의 철분, 셀레늄, 지질 함량

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 혈청 철분, 셀레늄, 지질 함량에 대한 결과는 Table 4, 5와 같다. 혈청의 철분 함량은 철분의 섭취수준 증가에 따라 유의하게 높았으며(p<0.05), 셀레늄 함량은 셀레늄 보충군이 적정군에 비해 유의적으로 높은 것으로 나타났다(p<0.05). 혈청 총 콜레스테롤 수준은 철분 섭취수준 증가에 따라 유의적으로 높았으며(p<0.001), 고셀레늄 섭취군은 적정셀레늄 섭취군에 비해 유의적으로 낮은 것으로 나타났다(p<0.001). 또 철분 섭취수준이 낮은 군에서 셀레늄 첨가 효과가 크게 나타나 35ppm 철분과 0.5ppm 셀레늄군의 혈청 총 콜레스테롤 수준이 가장 낮았으며, 140ppm 철분과 0.05ppm 셀레늄군이 가장 높았다. 이상의 결과는 철분의 섭취수준이 높아질수록 셀레늄의 혈청 콜레스테롤 저하효과가 감소하는 경향을 보여 주고 있다. Cunnane과 McAdoo(6)는 12주 동안 쥐에게 철분보충을 시켰을 때 대조군에 비해 혈청 총 콜레스테롤과 중성지방 함량이 높다고 보고하여 본 실험결과와 일치하였다. Dabbagh 등(24)도 쥐에게 철분을 보충 시켰을 때 혈중 콜레스테롤 농도가 유의하게 증가하였는데, 이는 철분의 과잉상태가 지질대사의 변화와 산화적 스트레스를 유발하여 체내 항산화체가 결핍되고 지질과산화에 의한 손상을 초래하기 때문이라고 하였다. 혈청 HDL-콜레스테롤 함량은 철분과 셀레늄 섭취수준에 따른 유의적인 영향을 받아(p<0.05, p<0.01) MFeHSe군이 가장 높았으며 HFeASe군이 가장 낮게

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

Dietary group	Feed intake	Body weight gain	Feed/gain
	g/day	g/day	
AFeASe	11.20±2.91 ¹⁾	3.89±0.57 ^{c2)}	3.11±0.54 ^d
AFeHSe	15.40±1.50	3.21±0.74 ^f	5.04±0.73 ^b
MFeASe	19.60±5.46	4.07±0.44 ^d	4.86±0.24 ^b
MFeHSe	23.90±3.59	5.86±0.27 ^a	4.11±0.20 ^c
HFeASe	24.60±2.77	4.32±0.96 ^c	5.83±0.70 ^a
HFeHSe	21.40±8.58	4.47±0.35 ^b	4.90±0.45 ^b
ANOVA ³⁾			
Fe	2.62	7.35*	12.38*
Se	0.22	11.04*	0.29
Fe×Se	0.44	9.40*	13.37*

¹⁾Mean ± standard deviation

²⁾Means with different letters(a, b, c, d, e, f) within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Duncan's multiple-range test

³⁾F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance

*p<0.05

나타났다. 모든 철분의 섭취수준에서 0.5ppm 셀레늄 첨가로 혈청 HDL-콜레스테롤 수준이 높아지는 경향을 보였으며 철분 70ppm 수준에서는 셀레늄 첨가에 따른 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). Dabbagh 등(24)은 쥐에게 10주 동안 198ppm의 철분과 콜레스테롤을 보충시켰을 때 혈중 총 콜레스테롤의 상승과 함께 HDL-콜레스테롤 수준도 유의적으로 증가하였음을 보고하였다. 본 연구에서는 70ppm의 철분 섭취군의 혈청 HDL-콜레스테롤 수준이 가장 높고 140ppm 섭취시 다시 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 실험 기간과 식이조성의 차이로 나타난 것으로 사료되며 앞으로 정확한 결과를 얻기 위해서는 보다 장기적이고 다각적인 연구가 요구된다. 철분과 셀레늄의 섭취수준

에 따른 LDL-콜레스테롤과 VLDL-콜레스테롤 함량의 함은 철분 섭취수준이 높은 군에서 유의적으로 높게 나타났으며, 모든 철분의 섭취수준에서 0.5 ppm 셀레늄의 첨가로 유의하게 감소하였다($p < 0.001$, $p < 0.001$). Salonen 등(13)은 사람의 경우 혈청 구리수준은 높고 셀레늄 농도가 낮을 때 혈중 LDL-콜레스테롤 수준이 높다고 보고하였다. Stone 등(25)은 항산화제인 Se과 비타민 E 부족식이 쥐에게 6, 12, 16, 18주 동안 공급하면서 지단백 함량의 변화를 관찰했을 때 Se과 비타민 E 부족군의 혈중 LDL-콜레스테롤 함량이 유의하게 높았으며, Se 부족은 간에서 VLDL-콜레스테롤의 합성과 분비를 증가시킨다는 연구(25)는 본 연구결과와 일치하였다.

Table 4. Levels of Fe and Se in serum and liver of rats fed diets containing various levels of Fe and Se

Dietary group	Serum		Liver	
	Fe	Se	Fe	Se
	$\mu\text{g/ml}$	$\mu\text{g/dl}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$
AFeASe	$31.60 \pm 2.10^{1) b2)}$	2.55 ± 0.10^b	37.88 ± 1.05^{bc}	1.84 ± 0.17^a
AFeHSe	58.60 ± 2.20^{ab}	3.97 ± 0.52^a	37.48 ± 4.42^{bc}	1.93 ± 0.24^a
MFeASe	41.00 ± 0.95^{ab}	2.61 ± 0.12^b	40.96 ± 2.59^{ab}	1.50 ± 0.23^{ab}
MFeHSe	32.55 ± 3.85^b	3.09 ± 0.86^a	30.13 ± 0.68^d	1.61 ± 0.07^{ab}
HFeASe	64.00 ± 0.68^a	2.61 ± 0.03^b	45.75 ± 1.36^a	1.02 ± 0.16^b
HFeHSe	54.20 ± 5.22^{ab}	3.11 ± 0.14^a	32.37 ± 1.10^{cd}	1.34 ± 0.34^{ab}
Fe	3.66*	2.39	1.22	5.15*
ANOVA ³⁾ Se	0.97	5.25*	19.59**	0.94
Fe × Se	1.33	1.86	4.59	0.18

¹⁾Mean \pm standard deviation

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

³⁾F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

Table 5. Levels of serum total cholesterol, HDL-cholesterol, and (LDL + VLDL)-cholesterol of rats fed diets containing various levels of Fe and Se

Dietary group	Total cholesterol	HDL-cholesterol	(LDL + VLDL)-cholesterol
	mg/dl	mg/dl	mg/dl
AFeASe	$95.40 \pm 3.26^{1) b2)}$	52.75 ± 1.31^b	42.53 ± 3.29^c
AFeHSe	65.00 ± 9.19^c	57.25 ± 1.70^{ab}	7.75 ± 2.01^e
MFeASe	111.75 ± 0.95^a	56.00 ± 4.38^b	56.00 ± 3.15^b
MFeHSe	89.75 ± 4.15^b	63.50 ± 0.87^a	22.00 ± 3.15^d
HFeASe	116.50 ± 1.66^a	51.00 ± 1.08^b	65.68 ± 1.69^a
HFeHSe	98.50 ± 5.95^b	56.00 ± 1.78^b	42.25 ± 2.23^c
Fe	38.24***	4.42*	311.45***
ANOVA ³⁾ Se	76.02***	10.01**	532.06***
Fe × Se	1.74	0.27	15.05**

¹⁾Mean \pm standard deviation

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

³⁾F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

간장의 철분, 셀레늄, 지질 함량

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 간장의 콜레스테롤 함량에 대한 결과는 Table 4, 6과 같다. 간장의 철분 함량은 철분 섭취수준에 따른 유의적인 차이는 없었으며 셀레늄 보충군이 적정군 보다 유의하게 낮았고($p < 0.01$), 셀레늄 함량은 철분 섭취수준에 따라 유의적으로 낮은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 철분의 섭취수준이 높아짐에 따라 간장 인지질 함량은 높아지는 경향이었으나 유의적인 차이는 없었으며, 0.5ppm 셀레늄 첨가로 간장 인지질 함량은 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 간장의 중성지방 함량은 철분에 의한 유의적인 차이가 있어($p < 0.05$) 철분 섭취수준이 낮은 군에서 높게 나타났다. 간장의 총 지방 함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 의한 유의한 영향으로($p < 0.01, p < 0.01$) 철분의 섭취수준이 높을수록 감소하였으며, 0.5ppm 셀레늄 첨가군이 0.05ppm 셀레늄 첨가군 보다 낮게 나타났다. 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 간장의 지질 함량 변화를 살펴 본 연구가 미흡하여 상호비교에 어려움이 있으나 David 등(23)은 철분 섭취수준의 변화에 따른 간장 콜레스테롤 함량에는 변화가 없었다고 하였고, Stone 등(25)은 철분의 과잉섭취와 셀레늄의 부족은 특히, 간장에서 VLDL-콜레스테롤의 합성과 분비를 증가시킨다고 설명하였다. 본 연구에서는 간장의 철분과 셀레늄 함량이 식이 철분과 셀레늄의 상호 길항작용을 통해 혈청 수준과는 다른 결과를 보임으로써 간장의 지질 함량 변화는 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 간장의 무기질 함량 변화에 의한 2차적인 영향인 것으로 사료되며 앞으로 이에 대한 보다 정확한 연구가 요구된다.

본 연구에서 보여준 혈청과 간장의 지질 함량의 변화를 규명하기 위해서는 철분과 셀레늄 섭취수준에 따른 지질과산화물과 지단백의 산화적 변화를 측정하여 지질대사 변화의 기전을 설명할 수 있는 연구가 필요하다고 사료된다.

요 약

본 연구에서는 철분의 섭취가 계속 증가하고 있는 현 시점에서 철분과 셀레늄의 섭취수준이 체내 지질 함량 변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 철분을 35ppm, 70ppm, 140ppm 수준으로 하고 셀레늄을 0.05ppm과 0.5ppm으로 하여 6주간 사육한 후 이들 섭취수준에 따른 혈액과 간의 지질 함량을 측정하였다. 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 사료 섭취량은 유의적인 차이가 없었으며, 체중 증가량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어($p < 0.05, p < 0.05$) MFeHSe군이 제일 높았고 AFeHSe군이 가장 낮았다. 혈청 철분 함량은 철분의 섭취수준 증가에 따라 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 셀레늄 함량은 고셀레늄 섭취군이 적정군에 비해 유의적으로 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 혈청 총 콜레스테롤 수준은 철분 섭취수준 증가에 따라 유의적으로 높았으며($p < 0.001$) 고셀레늄 섭취군은 적정셀레늄 섭취군에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($p < 0.001$). 혈청 HDL-콜레스테롤 함량은 철분과 셀레늄 섭취수준에 따른 유의적인 영향을 받아($p < 0.05, p < 0.01$) MFeHSe군이 가장 높았으며 HFeASe군이 가장 낮게 나타났다. 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 LDL-콜레스테롤과 VLDL-콜레스테롤 함량

Table 6. Levels of liver cholesterol, phospholipid, triglyceride, and total lipid of rats fed diets containing various levels of Fe and Se

Dietary group	Phospholipid	Triglyceride	Total lipid
	mg/g	mg/g	mg/g
AFeASe	17.23 ± 0.64 ^{b2)}	39.53 ± 9.96 ^a	68.80 ± 0.92 ^a
AFeHSe	21.92 ± 1.28 ^{ab}	35.42 ± 4.09 ^{ab}	63.19 ± 0.64 ^b
MFeASe	24.55 ± 1.98 ^a	24.94 ± 10.16 ^{abc}	61.36 ± 1.99 ^b
MFeHSe	18.03 ± 1.56 ^b	20.47 ± 2.13 ^{bc}	45.95 ± 1.30 ^c
HFeASe	26.45 ± 1.46 ^a	14.19 ± 0.25 ^c	47.79 ± 1.13 ^c
HFeHSe	18.72 ± 2.68 ^b	24.17 ± 3.51 ^{abc}	47.50 ± 1.14 ^c
ANOVA ³⁾ Fe	1.65	6.56*	110.87**
ANOVA ³⁾ Se	4.47*	0.31	47.79**
ANOVA ³⁾ Fe × Se	7.90**	2.50	18.62**

¹⁾ Mean ± standard deviation

²⁾ 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

³⁾ F-values for terms or interaction are based on 2-way analysis of variance

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

의 합은 철분 섭취수준이 높은 군에서 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.001$), 모든 철분의 섭취수준에서 0.5 ppm 셀레늄의 첨가로 유의하게 감소하였다($p < 0.001$). 간장의 철분 함량은 셀레늄 보충군이 적정군 보다 유의하게 낮았고($p < 0.01$), 셀레늄 함량은 철분 섭취수준에 따라 유의적으로 낮은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 철분의 섭취수준이 높아짐에 따라 간장 인지질 함량은 높아지는 경향이었으나 유의적인 차이는 없었으며, 0.5 ppm 셀레늄 첨가로 간장 인지질 함량은 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 간장의 중성지방 함량은 철분에 의한 유의적인 차이가 있어($p < 0.05$) 철분 섭취수준이 낮은 군에서 높게 나타났으며, 총 지방 함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 의한 유의한 영향으로($p < 0.01$, $p < 0.01$) 철분의 섭취수준이 높을수록 감소하였고, 고셀레늄 섭취군이 적정셀레늄 섭취군 보다 낮게 나타났다. 이상의 연구를 종합할 때 철분의 섭취증가는 혈중 지질 함량을 증가시키고 셀레늄은 감소시키는 것으로 나타났다. 간장의 지질 함량 변화에 대해서는 앞으로 좀더 다각적인 연구가 요구된다.

문 헌

1. 보건복지부 : 국민영양조사 결과보고서. 남형문화사, 서울(1993)
2. 경제기획원 조사통계국 : 사망통계연보(1991)
3. Kannel, W. B., Dawber, T. R., Friedman, G. D., Glennon, W. E. and McNamara, P. M. : Risk factors in coronary heart disease. *Ann. Intern. Med.*, **61**, 888(1964)
4. Sullivan, J. L. : Iron and the sex difference in heart disease risk. *Lancet*, **1**, 1293(1981)
5. Kannel, W. B., Hjortland, M. C., McNamara, P. M. and Gordon, T. : Menopause and the risk of cardiovascular disease. The Framingham study. *Ann. Intern. Med.*, **85**, 447(1976)
6. Cunnane, S. C. and McAdoo, K. R. : Iron intake influences essential fatty acid and lipid composition of rat plasma and erythrocytes. *J. Nutr.*, **117**, 1514(1987)
7. Bothwell, T. H., Charlton, R. W., Cook, J. D. and Finch, C. A. : Iron metabolism in man. Blackwell scientific publication, London, p.1(1979)
8. Lynch, S. R. : Iron overload-Prevalence and impact on health. *Nutr. Rev.*, **53**, 255(1995)
9. Van der Kraaij, A. M. M., Mostert, L. J., Van Eijk, H. G. and Koster, J. F. : Iron-load increases the susceptibility of rat hearts to oxygen reperfusion damage. Protection by the antioxidant (+)-cyanidanol-3 and deferoamine. *Circulation*, **78**, 443(1988)
10. Steinberg, D., Parthasarathy, S., Carew, T. E., Khoo, J. C. and Witztum, J. L. : Beyond cholesterol-Modifications of low-density lipoprotein that increase its atherogenicity. *N. Engl. J. Med.*, **320**, 915(1989)
11. Heinecke, J. W., Rosen, H. and Chait, A. : Iron and copper promote modification of low density lipoprotein by human arterial smooth muscle cells in culture. *J. Clin. Invest.*, **74**, 1890(1984)
12. Salonen, J. T., Nyyssonen, K. and Korpela, H. : High stored iron levels are associated with excess risk of myocardial infarction in Eastern Finnish men. *Circulation*, **86**, 803(1992)
13. Salonen, J. T., Salonen, R., Seppanen, K., Kantola, M., Suntuonen, S. and Korpela, H. : Interaction of serum copper, selenium, and low density lipoprotein cholesterol in atherogenesis. *Br. Med. J.*, **302**, 756(1991)
14. 윤진우, 정재복, 고윤웅, 한지숙 : 임신부의 혈액학적 소견. 대한내과학회지, **20**, 892(1977)
15. 채법석, 강은주, 이해숙, 한정호 : 한국인 빈혈빈도에 관한 연구. 한국영양학회지, **14**, 182(1981)
16. 남해선, 이선영 : 충남대 여대생의 철분 섭취량과 영양 상태에 대한 연구. 한국영양학회지, **25**, 404(1992)
17. AIN standards for nutrition studies report. *J. Nutr.*, **107**, 1340(1977)
18. National Research Council : Nutrient requirements of laboratory animals. National academy of sciences, Washington, D.C.(1972)
19. Allain, C. C., Poon, L. S., Chan, C. S. G., Richmond, W. and Fu, P. C. : Enzymatic determination of total serum cholesterol. *Clin. Chem.*, **20**, 470(1974)
20. Folch, J., Lees, M. and Slone-Stanley, G. H. : A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497(1957)
21. Chen, P. S., Toribara, T. Y. and Warner, H. : Micro determination of phosphorus. *Anal. Chem.*, **28**, 1756(1956)
22. 김충현 : SAS라는 통계상자. 테이타리서치, 서울, p.247(1993)
23. David, C. D., Ney, D. M. and Greger, J. L. : Manganese, iron and lipid interactions in rats. *J. Nutr.*, **120**, 507(1990)
24. Dabbagh, N. J., Mannion, T., Lynch, S. M. and Frei, B. : The effect of iron overload on rat plasma and liver oxidant status *in vivo*. *Biochem. J.*, **300**, 799(1994)
25. Stone, W. L., Scott, R. L., Stewart, E. M. and Kheshti, A. : Lipoprotein alterations in the spontaneously hypertensive rat fed diets deficient in selenium and vitamin E. *P.S.E.B.M.*, **206**, 130(1994)

(1996년 5월 25일 접수)