

철분의 과잉섭취시 셀레늄 섭취수준이 철분과잉 축적에 대한 예방효과에 관한 연구

전 예숙

충남산업대학교 식품영양학과

Preventive Effect of Selenium Supplementation on Iron Accumulation of Rats Fed Diets Containing High Levels of Iron

Jun, Ye-Sook

Department of Food & Nutrition, Chungnam Sanup University, Chungnam, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of selenium supplementation on iron accumulation of rats fed diets containing high levels of iron. Sixty male Sprague-Dawley weanling rats were fed with diets containing various levels of iron(adequate : 35ppm, 2-fold : 70ppm, 4-fold : 140ppm) and selenium(adequate : 0.05ppm and high : 0.5ppm) for 12 weeks. Feed intakes of 2-fold and 4-fold iron groups were higher than that of adequate iron group. There was no difference body weight gain across iron and selenium containing diet groups. Hemoglobin level was increased with iron increment and decreased with selenium supplementation. Iron contents in serum and tissues were increased as iron intake was increased. Liver iron content was decreased with selenium supplementation. Selenium content in liver was decreased with iron increment and increased with selenium supplementation. In the case of iron balance, iron excretion through urine and feces was significantly increased as iron intake was increased. However, apparent absorbability and retention rate of iron were not significantly affected by dietary iron or selenium. (*Korean J Nutrition* 30(3) : 318~325, 1997)

KEY WORDS : Iron accumulation · selenium supplementation

서 론

최근 우리나라는 경제성장과 함께 국민생활이 향상되어 식품공급이 원활해지고 식생활이 개선됨에 따라 과거의 영양소 결핍성 질병률은 감소하고 영양소 과잉이나 불균형 섭취에 따른 질환들의 발병률이 점차 증가하고 있다¹⁾. 또한 일반인의 영양의 중요성에 대한 관심은 증가하였지만 올바른 영양지식의 부족으로 단기간에 영양문제를 해결하기 위한 잘못된 식습관의 형성과 충분한 과학적 근거나 의사의 치방없이 영양보충제를 임의로 복

채택일 : 1997년 3월 28일

용하는 사례가 증가하여 새로운 영양문제로 제기되고 있다^{2,3)}.

우리나라는 아직까지 곡류위주의 식생활로 철분의 섭취량과 흡수율이 떨어져 철분결핍성 빈혈이 문제시되고 있지만⁴⁾, 식생활의 서구화로 육류의 섭취량이 계속 증가하고 있으며 빈혈의 예방과 치료적인 측면에서 식품으로 효율적인 철분의 섭취를 늘리기보다는 무분별한 철분제제 복용을 선호함에 따라 철분과잉섭취에 따른 문제점이 대두되고 있다^{5,6)}. Read 등⁷⁾에 의하면 철분강화제를 사용하는 사람들의 50% 이상이 권장수준보다 5~10배 이상을 섭취한다고 보고하였고, 우리나라 사람들을 대상으로 조사한 연구^{5,6)}에서도 독성을 유발할 만큼 과량의 철

분을 섭취하는 사람들이 있으며, 이를 복용자들은 보충제를 과다하게 복용함으로써 나타날 수 있는 독성부작용의 가능성을 전혀 고려하지 못하고 있어 문제가 더욱 심각하다고 지적하였다⁸⁾.

철분의 과잉섭취는 구리와 아연과 같은 무기질의 부족을 초래한다는 보고⁹⁾¹⁰⁾가 있으며, 최근 Sullivan¹¹⁾은 가임여성의 허혈성 심장질환의 발생빈도가 남성과 폐경후 여성보다 낮은데 이것은 종래 estrogen 차이 때문¹²⁾이라는 것과는 달리 체내 철분 저장량의 차이 때문이라고 새롭게 제안하였고, Cunnane과 McAdoo¹³⁾는 흰쥐를 대상으로 27ppm과 237ppm의 철분을 공급했을 때 고철분 섭취군이 정상철분 섭취군에 비해 혈중 콜레스테롤과 중성지방, 적혈구 콜레스테롤과 인지질 함량이 유의적으로 높았다고 보고함으로써 철분의 과잉섭취가 순환기계 질환의 새로운 식이인자로서 가능성 있는 것으로 보여진다. 철분의 과잉상태와 순환기계 질환과의 관계에 대한 연구들을 종합해볼 때, 체내 과잉 철분은 free radical 생성을 통해 조직손상을 초래하고 LDL의 산화적 변화를 통해 상피세포의 손상을 초래하게 된다는 것이다¹⁴⁾. 이와같은 철분의 과잉상태에서 체내 항산화제는 매우 중요한 역할을 하는데 셀레늄은 적혈구 안에 있는 glutathione peroxidase의 구성성분으로써, 이 효소는 적혈구의 막과 세포막을 과산화물로부터 보호해주는 항산화제로서의 작용을 한다¹⁵⁾. 따라서 철분의 과잉섭취시 셀레늄은 체내 이용과 기능면에서 철분과 상호길항작용을 통해 철분과의 인한 문제점을 경감시킬 수 있는 영양인자로 사료되지만 아직까지 이에 대한 연구는 부족한 상태이다.

이에 본 연구에서는 흰쥐를 대상으로 철분의 섭취수준을 35ppm, 70ppm, 140ppm으로, 셀레늄 수준을 0.05ppm, 0.5ppm으로 하여 12주간 사육한 후 이들 섭취수준에 따른 혈액과 간장의 철분과 셀레늄 함량을 측정하여 비교분석함으로써 식이 철분의 과잉 섭취시 철분과 상호길항작용을 하는 셀레늄의 보충이 체내 철분상승을 억제하는 효과가 있는지 살펴보고 철분의 과잉섭취에 따른 문제점을 완화시킬 수 있는 영양인자를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험설계

철분의 과잉섭취시 셀레늄보충이 철분의 체내 과잉축적에 대한 예방효과를 갖는지 알아보기 위하여 Table 1과 같이 동물 사육실험을 실시하였다. AIN-76¹⁶⁾과 NAS-NRC¹⁷⁾를 기준으로 하여 철분은 적정수준(35ppm)과 적

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.

정수준의 2배(70ppm)와 4배(140ppm) 수준으로, 셀레늄은 적정수준(0.05ppm)과 1~2ppm에서 독성이 나타나는 것¹⁷⁾을 고려하여 적정수준의 10배수준(0.5ppm)으로 결정하였다.

2. 실험동물의 사육

실험동물은 21일령의 이유한 Sprague-Dawley계 숫쥐를 사용하였으며, 실험 시작전 1주일동안 일정조건에서 고형사료로 적응시킨 후 1군당 10마리씩 임의 배치법으로 6군으로 나누어 12주간 사육하였다. 사육조건은 온도 $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며, 물은 타이온수로 매일 급여시켰고 모든 사료와 물은 자유급식시켰다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 동물사육에 필요한 사육장, 사료통, 물통 등을 0.4% EDTA (ethylenediamine tetraacetic acid) 용액에 24시간 담갔다가 2차 증류수로 3번이상 세척후 건조기에서 건조시켜 사용하였다. 본 실험에 사용한 식이는 AIN-76¹⁶⁾과 NAS-NRC¹⁷⁾를 참고로 하여 제조하였으며, 체중은 1주일에 한번씩 같은 시각에 측정하였고 식이섭취로 인한 갑작스런 체중변화를 막기 위하여 체중측정 2시간 전에 사료통을 제거한 후에 실시하였다. 사료섭취량은 매일 같은 시각에 개체별로 전날 채워둔 사료통의 무게에서 그날의 무게를 뺀 값으로 계산하였으며 좀더 정확하게 계산하기 위해서 허실량을 측정하여 보정하였다. 실험종료전 3일동안 실험동물을 metabolic cage에 옮겨 소변과 대변을 수집하였으며, 소변은 3,000rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액을 취하여 체모를 제거한 대변과 함께 -20°C 에서 냉동보관하였다가 분석에 사용하였다. 12주 사육한 실험동물은 12시간 전부터 절식시킨 후 개체별로 체중을 측정하였고 ethyl ether로 마취시킨 후 복부 대동맥에서 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 일부 CBC bottle에 담고 나머지는 2,000rpm에서 30분간 원심분리하여 혈청을 분리하였으며, 혈액 채취 후 각 장기를 떼어내어 생리식염수로 불순물을 씻어낸

다음 무게를 측정하였다.

3. 혈액과 장기의 분석

전혈의 혈색소(hemoglobin) 농도는 cyanmethemoglobin법¹⁸⁾을 이용하여 측정하였으며, 적혈구용적비(hematocrit)는 microcentrifuge에서 11000rpm으로 5분간 원심분리하여 전혈액에 대한 적혈구층의 높이를 읽어 %로 나타내었다. 혈청과 각 장기는 임¹⁹⁾의 습식분해법으로 분해한 후 철분과 셀레늄 함량을 각각 ICP(inductively coupled plasma) emission spectro analyzer와 spectrofluorometer를 사용하여 측정하였다.

4. 통계처리

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 group간의 차이를 관찰하기 위해서 Duncan's multiple range test를 실시하였다²⁰⁾.

결과 및 고찰

1. 사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 사료섭취량, 체중증가량, 사료효율에 대한 결과는 Table 2와 같다. 사료섭취량은 철분 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어($p < 0.01$) 적정 철분군에 비해 2배와 4배 철분군이 더 높았다. 체중증가량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 없었으며, 사료효율은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의한 차이를 보여($p < 0.05$, $p < 0.05$) 적정 철분과 셀레늄 보충군(AFeHSe)이 가장 좋았고 2배 철분과 셀레늄 보충군(MFeHSe)이 제일 나쁜

것으로 나타났다. 철분의 섭취수준에 따른 사료섭취량과 체중증가량을 관찰한 연구들을 살펴볼 때 철분 섭취수준은 체중증가량보다 사료섭취량에 영향을 미치는 것으로 보여진다. Standish 등²¹⁾은 소에게 적정군의 2배의 철분을 공급했을 때 사료섭취량이 대조군과 유의적인 차이가 없었으나 20배의 철분을 공급했을 때는 사료섭취량이 크게 감소하였다고 하여 본 연구와 다른 결과를 보였다. 이와 같은 차이는 실험에 사용한 동물과 철분의 섭취수준이 다르기 때문에 나타난 것으로 보여진다. 본 연구에서 2배와 4배 철분군의 사료섭취량의 증가에도 불구하고 체중증가량은 유의적인 차이가 없어 이를 군의 사료효율은 오히려 떨어지는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 쥐에게 대조군보다 4배와 7배의 철분을 20일동안 공급했을 때²²⁾와 10배수준을 4주간 공급했을 때²³⁾, 그리고 돼지에게 대조군의 3배의 철분을 5주간 공급했을 때²⁴⁾ 체중증가량이 대조군과 유의적인 차이를 보이지 않았다는 연구들과 일치함을 보였다. 즉, 본 연구와 앞선 연구들을 종합해볼 때 철분 섭취수준에 따른 체중증가량은 변화가 없었으나 사료섭취량은 요구량의 2배 섭취시 유의하게 증가하다 4배 섭취시에는 2배 섭취군에 비해 증가하지 않은 것으로 나타남으로써 앞으로 다양한 철분의 섭취수준에 따른 연구가 필요하다고 생각한다.

2. 혈액중의 해모글로빈과 헤마토크립트 수준

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 혈액중의 해모글로빈과 헤마토크립트 수준에 대한 결과는 Table 3과 같다. 해모글로빈 수준은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이를 보여($p < 0.001$, $p < 0.05$) 2배와 4배 철분군이 적정 철분군보다 높았고 셀레늄 보충군이 적정 셀레늄군보다 낮은 것으로 나타났다. 헤마토크립트 수준은 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이를 보여($p < 0.01$) 셀레늄 보충군이 적정 셀레늄군보다 낮았다. 철분의

Table 2. 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	28.8±2.5 ^{bcl}	4.4±0.3	6.9±0.4 ^e
AFeHSe	19.4±1.9 ^c	3.9±0.4	5.3±0.6 ^f
MFeASe	30.8±3.5 ^{ab}	4.5±0.2	6.9±0.3 ^d
MFeHSe	40.0±6.3 ^a	4.1±0.0	10.1±0.1 ^a
HFeASe	30.0±3.1 ^{ab}	4.3±0.3	7.8±0.7 ^b
HFeHSe	30.0±3.1 ^{ab}	4.3±0.2	7.1±0.3 ^c
ANOVA ²⁾			
Fe	$p < 0.01$	N.S.	$p < 0.05$
Se	N.S. ³⁾	N.S.	$p < 0.05$
Fe × Se	$p < 0.05$	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.

섭취와 헤모글로빈, 혈마토크립 수준과의 관계에 대한 연구에서 Wien과 Van Campen²⁵⁾은 쥐에게 3주간 6, 200, 500mg Fe/kg diet을 공급했을 때 혈마토크립 수준이 유의적으로 증가하였다고 하며, 이런 송아지에게 철분을 공급한 Koong 등²⁶⁾과 Standish 등²¹⁾의 연구, 돼지에게 ferrous fumarate를 0, 436, 691, 1382mg Fe/kg diet 수준으로 공급한 Chaney 등²⁷⁾의 연구, 그리고 건강한 유아에게 ferrous sulfate를 30mg 투여한 Yip 등²⁸⁾의 연구에서 철분 섭취의 증가는 헤모글로빈과 혈마토크립 수준을 상승시키는 것으로 나타났다. 이와 같은 연구 결과들은 혈마토크립 수준은 유의적인 차이를 보이지 않았지만 헤모글로빈 수준은 철분 섭취의 증가에 따라 높게 나타난 본 연구 결과와도 일치하고 있다. 헤모글로빈 수준은 심혈관 질환과도 관련이 있다고 하는데,

Table 3. Hemoglobin and hematocrit levels of rats fed diets containing various levels of iron and selenium

Dietary group	Hemoglobin	Hematocrit
	g/dl	%
AFeASe	13.7±0.2 ^{c1)}	40.6±2.3 ^{ab}
AFeHSe	13.6±0.6 ^c	36.0±3.0 ^b
MFeASe	16.0±0.4 ^a	46.0±2.0 ^a
MFeHSe	15.3±0.4 ^{ab}	37.8±2.1 ^b
HFeASe	16.0±0.2 ^a	41.3±1.3 ^{ab}
HFeHSe	14.1±0.5 ^{bc}	36.7±1.5 ^b
Fe	p<0.001	N.S.
ANOVA ²⁾	Se	p<0.05
	Fe × Se	N.S. ³⁾

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 α=0.05 as determined by 2-way analysis of variance.

Böttiger와 Carlson²⁹⁾은 헤모글로빈 수준이 높은 60세 이하의 남자들 사이에서 myocardial infarction의 위험성이 높다고 보고하였다. 반면 혈중 헤모글로빈과 혈마토크립 수준은 심혈관의 위험요소와 상관관계가 낮다고도 보고되었는데³⁰⁾, 이것은 헤모글로빈과 혈마토크립 수준이 생체내의 철분 영양상태를 반영해주는 정확한 판정 요인이 되지 않기 때문이라는 견해도 있다³¹⁾. 헤모글로빈과 혈마토크립 수준은 ferritin처럼 심근경색과 유의한 상관성을 보이지는 않지만 과도한 철분공급은 헤모글로빈과 혈마토크립 수준을 상승시키고 증가된 헤모글로빈은 폐에서 근육으로 산소의 이동을 증가시켜 지방의 과산화를 촉진시킴으로써 심근경색의 위험을 증가시킬 수 있다고 한다³²⁾. 따라서 식이 셀레늄 섭취수준이 헤모글로빈과 혈마토크립 수준에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 중요한데, 본 연구 결과 셀레늄 보충은 헤모글로빈과 혈마토크립 수준을 낮춰 철분 보충에 따른 심혈관 질환 상승을 억제할 수 있는 요인으로 사료되지만 정확한 결론을 얻기 위해서는 다양한 측면에서의 관찰이 요구된다. Das 등³³⁾은 쥐에게 셀레늄 독성을 유발했을 때 microcytic hypochromic anemia를 보임으로써 셀레늄 독성은 체내 철분부족을 초래한다고 하였다. 본 연구의 셀레늄 섭취수준은 쥐의 독성을 유발할 수 있는 수준은 아니지만 셀레늄보충은 철분과 길항작용을 통해 철분 섭취증가에 의한 헤모글로빈 상승을 억제하며, 특히 헤모글로빈은 4배 철분군에서, 혈마토크립은 2배 철분군에서 유의적인 효과가 있는 것으로 나타남으로써 셀레늄이 철분 축적이나 독성을 경감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3. 혈청과 조직중의 철분과 셀레늄 함량

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 혈청과 조직 중의 철분함량은 Table 4와 같다. 혈청 철분함량은 철분의 섭

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

Dietary group	Serum	Liver	Spleen	Kidney
	μg/dl		μg/g	
AFeASe	110.3±4.4 ^{ab1)}	95.2±8.7 ^d	271.2±21.4 ^{ab}	43.6±4.2 ^{ab}
AFeHSe	105.3±7.4 ^b	102.5±4.7 ^d	190.7±47.1 ^b	49.1±5.5 ^a
MFeASe	136.6±4.4 ^{ab}	147.8±7.4 ^c	277.2±32.4 ^{ab}	32.9±3.7 ^b
MFeHSe	135.4±4.7 ^{ab}	145.1±8.6 ^c	253.1±36.7 ^{ab}	32.7±6.9 ^b
HFeASe	146.1±13.7 ^a	202.1±2.1 ^a	329.4±21.8 ^a	57.8±2.9 ^a
HFeHSe	143.2±10.5 ^a	169.7±3.5 ^b	285.2±11.8 ^{ab}	54.2±4.6 ^a
Fe	p<0.05	p<0.001	p<0.05	p<0.01
ANOVA ²⁾	Se	N.S. ³⁾	N.S.	N.S.
	Fe × Se	N.S.	p<0.01	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 α=0.05 as determined by 2-way analysis of variance.

취수준이 증가할수록 높았으나($p<0.05$) 셀레늄의 섭취 수준에 따른 유의적인 차이는 없었다. 간장의 철분함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어($p<0.001$, $p<0.05$) 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았고 4배 철분 섭취시 셀레늄 보충군이 적정군보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 비장과 신장의 철분함량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았으나($p<0.05$, $p<0.01$) 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이는 없었다. 철분의 섭취수준에 따른 혈청과 조직중의 철분 함량 변화를 관찰한 연구들을 살펴보면 장기간(5~12주)의 철분보충은 쥐³⁴⁾와 그외의 실험동물²⁴⁾³⁵⁾, 그리고 사람²⁸⁾에게서 혈액과 간장, 비장, 신장 등의 철분함량

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

Dietary group	Serum	Liver	Kidney
	μg/dl	μg/g	
AFeASe	1.1±0.2 ¹⁾	3.7±0.3 ^a	2.9±0.2
AFeHSe	1.2±0.3	3.7±0.4 ^a	3.6±0.4
MFeASe	1.3±0.4	2.8±0.5 ^{ab}	2.6±0.4
MFeHSe	1.5±0.1	2.8±0.6 ^{ab}	2.9±0.4
HFeASe	1.2±0.2	2.0±0.5 ^b	2.3±0.2
HFeHSe	1.2±0.2	2.3±0.5 ^{ab}	2.6±0.5
Fe	N.S. ³⁾	p<0.05	N.S.
ANOVA ²⁾	Se	N.S.	p<0.05
	Fe × Se	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.

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

Dietary group	Intake	Excretion		Apparent absorability of iron	Retention rate of iron
		Urine	Feces		
	μg/day	μg/day	μg/day	%	%
AFeASe	574.7±65.9 ^{c1)}	21.8±2.5 ^b	195.4±15.0 ^c	65.7±5.1 ^{ab}	61.8±5.7 ^{ab}
AFeHSe	403.2±16.1 ^c	21.8±4.3 ^b	195.6±6.7 ^c	51.4±3.4 ^c	46.0±4.1 ^c
MFeASe	1078.3±177.8 ^b	26.3±2.7 ^b	424.5±35.2 ^b	60.3±3.5 ^{abc}	57.8±3.6 ^{abc}
MFeHSe	1423.6±75.7 ^b	28.3±2.6 ^b	438.7±33.3 ^b	69.2±4.1 ^a	67.2±4.2 ^a
HFeASe	2149.7±393.8 ^a	38.5±6.9 ^a	932.2±24.6 ^a	55.5±9.4 ^{bc}	53.6±10.1 ^{bc}
HFeHSe	2154.7±390.0 ^a	38.6±5.5 ^a	943.7±11.6 ^a	55.2±8.5 ^{bc}	53.3±9.1 ^{bc}
Fe	p<0.001	p<0.001	p<0.001	N.S.	N.S.
ANOVA ²⁾	Se	N.S. ³⁾	N.S.	N.S.	N.S.
	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.

을 증가시키는 것으로 나타나 본 연구와 일치하였다. 그러나 20일정도의 단기간동안 철분을 쥐에게 공급한 여러 연구²²⁾²³⁾에서는 철분공급에 따른 각 조직의 철분함량에 유의적인 차이가 나타나지 않았다고 하여 조직중의 철분함량 변화는 철분공급기간에 따라 다른 것으로 보여진다. 최근 간장의 철분 과잉축적으로 야기될 수 있는 심장질환과 간질환과의 관계에 대한 연구에 관심이 집중되고 있는데, Bacon 등³⁶⁾은 유리된 철이온은 사람에게서 atherosclerotic lesion을 진행시켰다고 보고하였고, 사람에게서 만성적인 철분의 과잉섭취는 간세포의 손상과 섬유증을 야기시켜 그 결과 간경변이 발생되었다는 보고³⁷⁾도 있다. 또한 in vitro 실험³⁸⁾에서 철분으로 유도된 microsomal lipid peroxidation을 관찰할 수 있었으며 쥐 간의 cytochrome P₄₅₀ 수준과 glucose-6-phosphatase activity의 감소를 측정할 수 있었다. 따라서 철분의 과잉공급은 철분의 주요 저장소인 간장의 microsomal drug metabolizing enzyme의 활성을 감소시키는 것으로 보여진다. 본 연구에서 셀레늄 보충이 철분 섭취수준의 증가에 따른 조직 중의 철분함량 상승을 억제할 수 있는지를 살펴보았을 때 다른 조직보다 간장에서 이와같은 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 간의 경우 4배 철분군에서 셀레늄의 효과가 뚜렷하여 과량의 철분 공급시 철분과 셀레늄의 길항작용이 효과적인 것으로 사료되지만 정확한 결론을 얻기 위해서는 좀 더 높은 수준의 철분공급에 따른 영향을 살펴보는 연구가 요구된다.

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 혈청과 조직중의 셀레늄함량에 대한 결과는 Table 5에 제시된 바와 같다. 혈청과 신장의 셀레늄함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 없었으나 간장의 셀레늄함량은

철분의 섭취수준이 증가할수록 낮았으며($p<0.05$) 셀레늄 보충군이 적정군보다 높게 나타났다($p<0.05$). Stone 등³⁹⁾은 산화제로 작용하는 철분 보충에 따라 항산화제의 역할을 하는 셀레늄의 소비가 증가되어 체내 감소를 초래한다고 하였으며, Arnaud 등⁴⁰⁾은 임산부에게 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 살펴본바와 같이 철분과 셀레늄이 체내 이용과 기능면에서 상호길항작용을 하기 때문에 나타난 것으로 보여지며, 다른 조직보다 간장에서 유의적인 차이를 보인 것은 간장이 철분의 주요 저장소로서 식이내 철분 공급 증가에 따른 철분의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 사료된다.

4. 철분평형

철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 철분의 섭취량과 배설량을 통해 살펴본 철분평형에 대한 결과는 Table 6과 같다. 철분 섭취량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았으나($p<0.001$) 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이는 없었다. 소변과 대변을 통한 철분 배설량은 철분의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어($p<0.001$) 4배 철분군이 적정 철분군이나 2배 철분군보다 높은 것으로 나타났으며, 셀레늄에 의한 유의한 차이는 없었다. 철분의 겉보기 흡수율과 보유율은 철분과 셀레늄 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 철분의 섭취수준에 따른 철분 배설량을 살펴본 연구에서 정과 김²³⁾은 쥐에게 4주간 정상군의 10배의 철분을 공급했을 때 뇌와 대변중의 철분 배설량이 2배나 증가하였다고 하며, Johnson과 Hove⁴¹⁾, Harmon 등⁴²⁾도 철분 공급수준에 따라 대변으로의 철분 배설이 유의하게 증가하였다고 하여 본 연구와 일치하고 있다. 철분평형에 대한 연구를 살펴보면, Standish 등²¹⁾은 철분의 과잉공급에 따라 철분의 겉보기 흡수율이 유의적인 차이가 없다고 하여 본 연구와 일치하였지만, 3주 동안의 철분 과잉실험(대조군의 4배와 33배)²⁵⁾⁴¹⁾에서는 철분의 겉보기 흡수율이 철분의 섭취수준이 증가함에 따라 감소하였다고 하여 본 연구와 다른 결과를 보였다. 본 연구에서 셀레늄 섭취수준은 철분평형에 유의적인 영향을 미치지 않았지만 적정 철분군의 철분의 겉보기 흡수율과 보유율이 셀레늄 보충에 의해 유의적으로 감소하여 셀레늄 보충이 철분의 체내 축적을 감소시킬 수 있을 것으로 보여지지만, 철분 보충군에서는 이러한 효과가 나타나지 않아 혈색소와 적혈구용 적비, 간장의 철분함량에서 보여진 셀레늄 보충의 효과

는 철분흡수율보다 체내 대사의 변화에 의한 것으로 사료된다.

본 연구에서 살펴본 철분의 섭취수준은 철분제제 등으로 쉽게 공급될 수 있는 수준으로 이와같은 철분의 과잉 공급이 장기화되었을 때 체내 철분축적은 증가하고 이에 따라 셀레늄보충은 체내 철분축적을 경감시킬 수 있는 식이인자인 것으로 나타났다. 본 연구를 바탕으로 앞으로 보다 다양한 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 직접적인 체내 대사변화를 살펴볼 수 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

요약 및 결론

식이 철분의 과잉 섭취시 셀레늄의 보충이 체내 철분 상승을 억제하는 효과가 있는지 알아보기 위하여 흑쥐에게 철분과 셀레늄의 섭취수준을 달리하여 12주동안 섭취시킨 후 해모글로빈, 혜마토크릿, 혈청과 각 조직의 철분과 셀레늄 함량을 분석하였다. 사료섭취량은 철분 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어($p<0.01$) 적정 철분군에 비해 2배와 4배 철분군이 더 높았다. 체중증가량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 없었으며, 사료효율은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의한 차이를 보여($p<0.05$, $p<0.05$) 적정 철분과 셀레늄 보충군(AFeHSe)이 가장 좋았고 2배 철분과 셀레늄 보충군(MFeHSe)이 제일 나쁜 것으로 나타났다. 해모글로빈 수준은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이를 보여($p<0.001$, $p<0.05$) 2배와 4배 철분군이 적정 철분군보다 높았고 셀레늄 보충군이 적정 셀레늄군보다 낮은 것으로 나타났다. 혜마토크릿 수준은 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이를 보여($p<0.01$) 셀레늄 보충군이 적정 셀레늄군보다 낮았다. 혈청 철분함량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았으나($p<0.05$) 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이는 없었다. 간장의 철분함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어($p<0.001$, $p<0.05$) 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았고 4배 철분 섭취시 셀레늄 보충군이 적정군보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 비장과 신장의 철분함량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았으나($p<0.05$, $p<0.01$) 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이는 없었다. 혈청과 신장의 셀레늄함량은 철분과 셀레늄의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 없었으나 간장의 셀레늄함량은 철분의 섭취수준이 증가 할수록 낮았으며($p<0.05$) 셀레늄 보충군이 적정군보다 높게 나타났다($p<0.05$). 철분 섭취량은 철분의 섭취수준이 증가할수록 높았으나($p<0.001$) 셀레늄의 섭취수

준에 따른 유의적인 차이는 없었다. 소변과 대변을 통한 철분 배설량은 철분의 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어($p<0.001$) 4배 철분군이 적정 철분군이나 2배 철분군보다 높은 것으로 나타났으며, 셀레늄에 의한 유의한 차이는 없었다. 철분의 곁보기 흡수율과 보유율은 철분과 셀레늄 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

Literature cited

- 1) 경제기획원조사통계국. 사망통계연보, 1994
- 2) Block G, Cox C, Madans J, Schreiber CB, Licitra L and Melia N. Vitamin supplement use, by demographic characteristics. *Am J Epidemiol* 127 : 297-309, 1988
- 3) Medeiros DM. Vitamin and mineral supplementation practices of adults in seven western states. *J Am Diet Assoc* 89(3) : 383-386, 1989
- 4) 보건사회부. 국민영양조사보고서, 1994
- 5) 이상선 · 김미경 · 이은경. 서울지역 성인의 영양보충제 복용실태. *한국영양학회지* 23(4) : 287-297, 1990
- 6) 김선희. 중년기의 비타민 · 무기질 보충제 복용실태 조사. *한국영양학회지* 27(3) : 236-252, 1994
- 7) Read MH, Medeiros DM and Bendal R. Mineral supplementation practices of adults in seven western states. *Nutr Rev* 6 : 375-383, 1986
- 8) Garry PJ, Goodwin JS, Hunt WC, Hooper EM and Leonard AG. Nutritional status in a healthy elderly population : Dietary supplemental intakes. *Am J Clin Nutr* 36 : 319-331, 1982
- 9) Seely JR, Humphrey GB and Matter BJ. Copper deficiency in an infant fed an iron-fortified formula. *New Engl J Med* 286 : 109-110, 1972
- 10) Gordon DT. Interaction of iron and zinc on bioavailability of each element in the rat. *Fed Proc* 42 : 1184, 1983
- 11) Sullivan JL. Iron and the sex difference in heart disease risk. *Lancet* 1 : 1293, 1981
- 12) Kannel WB, Hjortland MC, McNamara PM and Gordon T. Menopause and the risk of cardiovascular disease. The Framingham study. *Ann Intern Med* 85 : 447-452, 1976
- 13) Cunnane SC and McAdoo KR. Iron intake influences essential fatty acid and lipid composition of rat plasma and erythrocytes. *J Nutr* 117 : 1514-1519, 1987
- 14) Lynch SR. Iron overload-Prevalence and impact on health. *Nutr Rev* 53 : 255-260, 1995
- 15) Lawrence RA and Burk RF. Glutathione peroxidase activity in selenium deficient rat liver. *Biochem Biophys Res Commun* 71 : 952-958, 1976
- 16) AIN standards for nutrition studies report. *J Nutr* 107 : 1340-1346, 1977
- 17) National research council. Nutrient requirements of laboratory animals. National academy of sciences, Washington, DC., 1972
- 18) Cannan RK. Hemoglobin standard. *Science* 127 : 1376, 1958
- 19) 임정남. 식품의 무기성분 분석. 식품과 영양 17(1) : 42-46, 1986
- 20) 김충현. SAS라는 통계상자. 테이타리서치, 서울, p.247, 1993
- 21) Standish JF, Ammerman CB, Simpson CF, Neal FC and Palmer AZ. 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
- 22) 윤태현 · 김현숙. 식이철분수준이 흰쥐의 혈장 및 조직의 미량원소 함량에 미치는 영향. *한국노화학회지* 4(1) : 24-31, 1994
- 23) 정해령 · 김미경. 식이내 단백질과 철분수준이 흰쥐의 Fe, Cu 및 Zn 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 15(4) : 258-267, 1982
- 24) Gipp WF, Pond WC, Kallfelz FA, Tasker JB, Van Campen DR, Krook L and Visek WJ. 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
- 25) Wien EM and Van Campen DR. Mucus and iron absorption regulation in rats fed various levels of dietary iron. *J Nutr* 121 : 92-100, 1991
- 26) Koong L, Wise MB and Barrick ER. Effect of elevated dietary levels of iron on the performance of blood constituents of calves. *J Anim Sci* 31 : 422, 1970
- 27) Chaney CM and Barnhart CE. Effect of iron supplementation of sow rations on the prevention of baby pig anemia. *J Nutr* 81 : 187-192, 1963
- 28) Yip R, Reeves JD, Lönnnerdal B, Keen CL and Dallman RP. Does iron supplementation compromise zinc nutrition in healthy infants? *Am J Clin Nutr* 42 : 683-687, 1985
- 29) Böttiger LE and Carlson LA. Risk factors for ischaemic vascular death for men in the Stockholm prospective study. *Atherosclerosis* 36 : 389-408, 1950
- 30) Cullen KJ, Stenhouse NS and Waerne KL. Raised hemoglobin and risk of cardiovascular disease. *Lancet* 4 : 1288-1289, 1981
- 31) Kaltwasser JP and Werner E. Diagnosis and clinical evaluation of iron overload. *Clin Haematol* 2 : 363-385, 1989
- 32) Salonen JT, Nyyssnen K, Korpela H, Tuomilehto J, Seppnen 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

- 33) Das PM, Sadana JR, Paul Gupta RK and Gupta RP. Experimental selenium toxicity in Guinea pigs : Haematological studies. *Ann Nutr Metab* 33 : 347-353, 1989
- 34) Wu WH, Meydani M, Meydani SN, Burklund PM, Blumberg JB and Munro HN. Effect of dietary iron overload on lipid peroxidation, prostaglandin synthesis and lymphocyte proliferation in young and old rats. *J Nutr* 120 : 280-289, 1990
- 35) Bafundo KW, Baker DH and Fitzgerald PR. The iron-zinc interrelationship in the chick as influenced by *einomia acerbulina* infection. *J Nutr* 114 : 1306-1312, 1984
- 36) Bacon BR, Tavill AS, Brittenham GM, Park CH and Recknagel RO. Hepatic lipid peroxidation in vivo in rats with chronic iron overload. *J Clin Invest* 71 : 429-439, 1983
- 37) McLaren GD, Muir WA and Kellermeyer RW. Iron overload disorders : Natural history, pathogenesis, diagnosis and therapy. *CRC Crit Rev Clin Lab Sci* 19 : 205-266, 1983
- 38) Bonkowsky HL, Carpenter SJ and Healey JF. 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
- 39) Stone WL, Stewart ME, 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
- 40) 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 Nigerian women. *Ann Nutr Metab* 37 : 262-271, 1993
- 41) Johnson MA, Hove SS. Development of anemia in copper-deficient rats fed high levels of dietary iron and sucrose. *J Nutr* 116 : 1225-1238, 1986
- 42) Harmon BG, Becker DE, Jensen AH, Norton HW. Effect of Na₂EDTA in diets of different iron levels of utilization of calcium, phosphorus and iron by rats. *J Anim Sci* 27 : 418, 1968