

## 칼슘의 섭취수준이 암쥐의 체내 철분이용에 미치는 영향

승 정 자

숙명여자대학교 식품영양학과

### Effect of Dietary Calcium Levels on Iron Utilization in Female Rat

Chung-Ja Sung

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

#### Abstract

The effect of dietary calcium levels, 50%, 100%, and 200% of requirement, on iron utilization was evaluated in 30 Sprague-Dawley female rats by use of balance study for 3 weeks. In the results of this study, there were no significant difference in feed intake, body weight gain, hemoglobin level, hematocrit, calcium and iron levels in serum and tissues across the groups supplemented different calcium levels. Calcium content in kidney of high-calcium group was significantly higher than that of other groups. Urinary and fecal calcium excretions increased as the level of dietary calcium was increased. With increasing levels of dietary calcium, daily calcium retention was accelerated, but daily calcium retention rate was diminished. Iron intake was significantly higher in adequate-calcium group than that in low-calcium or high-calcium group. Urinary and fecal iron excretions were significantly lower in low-calcium group than those in adequate-calcium or high-calcium group. Apparent retention and retention rate estimated by intake, urinary and fecal excretions of iron were significantly lower in high-calcium group than those in low-calcium or adequate-calcium group. These results suggest that taking dietary calcium supplements reduce the absorption of dietary iron.

**Key words:** calcium intake, iron, female rat

#### 서 론

철분의 결핍은 세계적으로 경제사정이 부유한 지역이나 빈곤한 지역에서 가장 빈도가 높은 영양문제인데, 그 주된 원인은 철분의 흡수율이 10~30% 정도로 낮고 그 이용률은 체내 철분의 저장상태, 식이 철분의 형태 및 다른 식이인자에 의해 영향을 받기 때문이다(1). 철분부족은 크게 섭취량의 부족과 흡수율 저하나 배설량의 증가로 인한 체내 이용도의 저하 때문으로 볼 수 있으며, 철분의 흡수 및 체내 이용도는 식품 중에 있는 철분의 양과 그 존재형태, 다른 식이성 인자들, 인체내 철분 영양상태, 생리상태 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다(2).

우리나라의 국민영양조사보고(3)에 의하면 전국 1인 1일 철분 평균 섭취량은 1970년에 11.2mg, 1981년에 15.8mg에서 1990년도 22.7mg으로 크게 증가하여 평균적으로는 권장량의 173.3%에 달하였으나 임신부나

수유부를 비롯한 여성들을 대상으로 한 철분 영양상태 조사에 의하면 경제적 발전과 함께 철분의 섭취량 증가로 빈혈빈도가 감소하고는 있지만 아직도 상당히 높은 편으로 보고되고 있다(4-6).

한편 칼슘은 현재 우리나라 식생활에서 가장 결핍되기 쉬운 영양소 중의 하나로서 1995년 국민영양조사보고(3)에 의하면 우리나라 사람들의 1일 평균 칼슘 섭취량은 523mg으로 1일 권장량 700mg에 미치지 못하고 있는 반면에 일부 계층에서는 경제수준의 향상과 건강에 대한 관심 증가로 칼슘보충제의 섭취가 증가하면서 다양한 수준의 칼슘을 섭취하고 있는 실정이다(7,8). 1994년 미국이 적정 칼슘 섭취량 설정위원회에서는 골다공증이나 다른 질병을 예방하기 위해 현재의 권장량 수준 이상으로 식이 칼슘 섭취수준을 증가시킬 것을 권장하였다(9). 이와같은 재조정은 청소년기의 경우 1일 1000~1500mg 수준이며, 성인의 경우에는 현재 대부분의 미국인 섭취량 보다 훨씬 높은 수준이다. 이러한

권장수준을 맞추기 위해서는 강화된 식품이나 칼슘보충제의 이용을 촉진시키게 되며, 많은 양의 칼슘 섭취에 따라 다른 영양소의 흡수가 저해되는 새로운 문제점을 야기시킬 수 있다.

칼슘이 철분 흡수를 저해할 수 있다는 것은 1940년 이래로 알려져왔다(10). Hallberg 등(11)은 300mg의 칼슘(Ca chloride) 첨가시 nonheme 철분의 흡수가 감소되었으며, 이와같은 감소율은 칼슘 섭취량이 증가할수록 높게 나타났다고 한다. 이와같은 영향은 칼슘 공급원의 종류(12), 공급시각(13), 개인의 철분 영양상태(14)에 따라 다르게 나타나고 있어 그 정확한 기전을 설명하기 어려운 상태이다. 칼슘과 철분의 상호작용에 대한 기전은 분명하지 않지만 칼슘이 heme과 nonheme 철분의 흡수를 모두 저해할 수 있기 때문에 Hallberg 등(11)은 enterocyte로 부터 철분의 압출(extrusion) 저해와 관계될 것이라는 기전을 주장하였다. 최근 연구(16)에서는 칼슘이 장내 철분의 uptake에 중요한 역할을 하는 iron-binding protein mobilferrin의 iron-binding 자리와 경쟁한다는 것이 제시되었다.

최근 우리나라 국민영양조사에 따르면 칼슘 섭취량은 권장량에 미치지 못하고 있지만 일부 계층에서는 경제수준의 향상과 건강에 대한 관심 증가에 따라 성장기 어린이의 영양보충, 골다공증 및 혈압과 관련하여 칼슘 보충제의 섭취가 점차 증가함으로써 칼슘의 섭취수준이 매우 다양한 것으로 나타나고 있다. 또한 철분부족은 우리나라를 포함한 북미와 다른 나라에서 아직도 그 발생빈도가 높고 그로 인해 정신발달 뿐만 아니라 신체건강에 부정적인 영향을 초래하기 때문에(17) 철분상태에 대한 칼슘 섭취량의 영향에 대한 연구는 매우 필요하며, 또한 영양소의 안전한계를 정량적으로 설정하려면 다양한 수준의 영양소를 장단기간 섭취했을 때 나타날 수 있는 결과들을 충분히 확보해야 한다고 생각한다.

따라서 본 연구에서는 생후 4주 된 어린 암쥐를 대상으로 요구량의 50%, 100%, 200% 수준의 식이 칼슘을 3주간 공급한 후 헤모글로빈, 헤마토크릿, 혈청과 조직의 칼슘과 철분 농도, 칼슘과 철분 평형 등을 살펴봄으로써 칼슘의 섭취수준이 체내 철분의 영양상태에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## 조사대상 및 연구방법

### 실험설계

칼슘의 섭취수준이 체내 철분이용에 미치는 영향을 알아보기 위하여 생후 4주된 Sprague-Dawley계 암쥐

30마리를 고품사료로 1주일간 적응시킨 후, 칼슘 요구량의 50%, 100%, 200% 수준으로 임의배치법에 의해 각각 10마리씩 3군으로 나누어 사육을 실시하였다. 사육실의 조건은 온도  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며, 물은 탈이온수를 이용하고 모든 사료와 물은 자유급식시켰다. 무기질의 오염을 방지하기 위하여 사양에 필요한 모든 기구들은 플라스틱 제품인 경우에는 0.4% EDTA(ethylenediamine tetraacetic acid) 용액에, 유리제품일 경우에는 질산원액에 24시간 이상 담갔다가 2차 증류수로 3번 이상 세척하고 건조기에서 습기를 제거한 다음에 사용하였다.

### 실험식이

실험식이의 배합은 NRC(18)와 AIN-76(19)을 참고로 하였으며, 배합구성비율은 Table 1과 같다. NRC 사양표준에서 칼슘이 무기질 요구량의 50%를 차지하므로 칼슘을 제외한 mineral mixture를 배합한 후 칼슘은 calcium phosphate( $\text{CaHPO}_4$ )의 형태로 3수준(요구량의 50%, 100%, 200%)으로 배합하여 공급하였다.

### 실험방법

#### 사료섭취량과 체중증가량

사료 섭취량은 매일 같은 시각(오전 11시)에 측정하였으며, 전날 채워둔 사료통의 무게에서 그날의 무게를 뺀 값으로 섭취량을 계산하였다. 사료 섭취량에 대한 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 허실량도 측정하여 보정하였다. 체중은 매일 같은 시각(오후 1시)에 측정하였고 식이섭취로 인한 일시적인 체중변화를 막기 위하여 측정하기 1시간 전에 식이통을 제거한 후에 실시하였다.

#### 시료채취와 분석방법

3주간의 사육이 끝난 후 15시간 정도 절식시킨 다음 개체별로 체중을 측정하고 전신마취제인 ketamine으로 마취시켜 해부를 실시하였다. 혈액은 복부 대동맥에서 채취하여 일부를 CBC bottle에 담아 헤모글로빈 함량과 헤마토크릿치를 측정하였으며, 나머지 혈액은 1시간 정도 방치한 후 3,000rpm에서 원심분리하여 혈청을 얻어 원자흡광광도계(atomic absorption spectrophotometer; Hitachi Z6000, Japan)로 혈청 중의 칼슘과 철분 함량을 측정하였다. 간장, 비장, 신장은 부부를 개복한 다음 즉시 채취하여 0.15M 생리식염수로 씻어 가아제로 표면의 습기를 제거한 다음 무게를 측정 후  $-70^\circ\text{C}$ 에서 냉동보관하였다. 소변과 대변은 12시간을 절식시킨 날을 제외한 사육종료 전 3일간 대사장(meta-

Table 1. Formulation of experimental diet

(%)

Ingredient	Low-Ca diet (50% of requirement)	Normal-Ca diet (100% of requirement)	High-Ca diet (200% of requirement)
Casein <sup>1)</sup>	20.0	20.0	20.0
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3
Corn starch <sup>1)</sup>	15.0	15.0	15.0
Sucrose <sup>2)</sup>	50.875	50.0	48.25
Cellulose <sup>2)</sup>	5.0	5.0	5.0
Corn oil <sup>3)</sup>	5.0	5.0	5.0
Ca free mineral mixture <sup>4)</sup>	1.75	1.75	1.75
CaHPO <sub>4</sub>	0.875	1.75	3.5
Vitamin mixture <sup>5)</sup>	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate <sup>1)</sup>	0.2	0.2	0.2

<sup>1)</sup>Casein, Corn starch, Choline bitartrate: Junsei Chemical Co.<sup>2)</sup>Sucrose,  $\alpha$ -Cellulose: Sigma Chemical Co.<sup>3)</sup>Corn oil: Doosan Co.

Butylated hydroxy toluene was added as antioxidant at 0.0125% of dietary oil

<sup>4)</sup>Calcium free mineral mixture(g/kg): Sodium chloride: 74.0, Potassium citrate, monohydrate: 220.0, Potassium sulfate: 52.0, Magnesium oxide: 24.0, Manganous carbonate: 3.5, Ferric citrate: 6.0, Zinc carbonate: 1.6, Chromium potassium sulfate: 0.55, Cupric carbonate: 0.3, Potassium iodate: 0.01, Sodium selenite: 0.01, Sucrose, finely powdered to make 500.0g<sup>5)</sup>Vitamin mixture(/kg): Thiamin · HCl: 600mg, Riboflavin: 600mg, Pyridoxine · HCl: 700mg, Nicotinic acid: 3g, D-Calcium pantothenate: 1.6g, Folic acid: 200mg, D-Biotin: 200mg, Cyanocobalamine: 1mg, Vitamin A: 400,000I.U., DL- $\alpha$ -Tocopherol acetate: 5,000I.U., Cholecalciferol: 2.5mg, Menaquinone: 5mg, Sucrose, finely powdered to make 1000.0g

Table 2. Feed intake, body weight gain, and gain/feed ratio of rats fed diets containing various levels of calcium

Dietary Ca	Feed intake	Body weight gain	Gain/feed
% of requirement	g/day	g/day	
50%	29.62 $\pm$ 3.12 <sup>1)</sup>	3.81 $\pm$ 0.60	0.13 $\pm$ 0.02
100%	32.68 $\pm$ 1.21	4.03 $\pm$ 0.63	0.12 $\pm$ 0.02
200%	30.09 $\pm$ 1.29	4.11 $\pm$ 0.41	0.14 $\pm$ 0.01
ANOVA	N.S. <sup>2)</sup>	N.S.	N.S.

<sup>1)</sup>Mean $\pm$ standard deviation<sup>2)</sup>Not significant at p<0.05 as determined by 1-way analysis of variance

bolic cage)에서 채취하였다. 채취한 소변은 총량을 측정하고 다음 부패를 방지하기 위하여 toluene을 소량 넣은 채취병에 담아 잘 흔들어 섞은 후 원심분리하여 그 상등액을 냉동보관하였으며, 대변은 체모를 제거하고 총량을 측정 후 냉동보관하였다. 냉동보관한 간장, 비장, 신장, 소변 및 대변은 습식분해법(20)에 의거하여 분해한 후 원자흡광광도계로 칼슘과 철분 함량을 측정하였다.

#### 자료의 통계분석

본 실험에서 얻어진 모든 자료는 SAS program을 이용하여 각 군별 평균치와 표준편차를 구하였다. 칼슘 섭취수준이 각 변수들에 미친 영향을 알아보기 위하여 one-way 분산분석을 하였고, 유의적인 영향이 나타났을 때는 칼슘 섭취수준에 따른 각 군별 차이를 관찰하기 위하여 Duncan's multiple range test로  $\alpha=0.05$

수준에서 유의성을 검정하였다(21).

#### 결과 및 고찰

암쥐를 대상으로 칼슘 섭취수준이 체내 철분이용에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3주간 칼슘 섭취수준에 따라 3군으로 나누어 실험한 결과 및 고찰은 다음과 같다.

#### 사료섭취량, 체중증가량 및 사료효율

암쥐를 대상으로 식이 칼슘을 요구량의 50, 100, 200% 수준으로 3주간 공급했을 때 사료 섭취량, 체중증가량 및 사료 효율에 대한 결과는 Table 2와 같이 칼슘 섭취수준에 따른 각 군별 유의적인 차이가 없었다.

낮은 칼슘의 섭취가 사료 섭취량과 체중증가량에 미치는 영향에 대한 연구에서 권과 김(22)은 100g된 숫쥐

에게 요구량의 20% 수준의 칼슘을 5주간 공급했을 때 사료 섭취량과 체중 증가량이 대조군과 유의한 차이가 없었다고 하며, 이 등(23)도 요구량의 60% 수준의 칼슘을 이유기가 지난 암쥐에게 5일간 공급하는 평형실험을 했을 때 사료 섭취량과 체중 증가량이 대조군과 유의적인 차이가 없었다고 하였다. 칼슘보충이 사료 섭취량과 체중 증가량에 미치는 영향에 대한 연구에서도 100g의 숫쥐에게 요구량의 2.5배 수준으로 5주간 공급했을 때(22)와 400일령의 숫쥐에게 식이에 요구량의 2배의 칼슘을 첨가해 3주간 공급했을 때(24) 사료 섭취량과 체중 증가량은 대조군과 유의한 차이가 없다고 하여 칼슘 섭취수준에 따른 사료 섭취량과 체중 증가량 및 사료 효율에 유의한 차이가 나타나지 않은 본 연구결과와 일치하고 있다.

#### 헤모글로빈, 헤마토크릿, 혈청 칼슘과 철분 함량

암쥐를 대상으로 식이 칼슘을 요구량의 50, 100, 200% 수준으로 3주간 공급했을 때 헤모글로빈, 헤마토크릿, 혈청의 칼슘과 철분 함량은 Table 3과 같이 각 군별 유의적인 차이가 없었다.

Hatton 등(25)은 21일령 본태성 고혈압쥐에게 1주일동안 대조군의 20배가 되는 칼슘을 보충했을 때 혈압이 감소하였는데, 이는 칼슘보충으로 인한 헤마토크릿치의 감소가 혈액 점성을 감소시켰기 때문이라고 하였다. 이들의 연구결과에서 칼슘보충에 따른 헤모글로빈

함량과 헤마토크릿치는 감소하였으나 유의적인 차이는 없었고 혈청 철분 함량은 유의하게 감소하였다. Sokoll과 Dawson-Hughes(26)는 칼슘보충이 철분 저장량에 미치는 영향을 평가하기 위하여 109명의 폐경 전 여성을 대상으로 52명에게는 정상식이를, 57명에게는 정상식이와 함께 500mg의 Ca carbonate를 12주동안 공급했을 때 혈장 ferritin 농도, 혈청 철분 함량, TIBC, transferrin saturation, 헤모글로빈 함량 및 헤마토크릿치는 두 군간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다고 하며, 따라서 폐경 전 여성에 있어 12주간의 1일 1000mg의 칼슘 섭취는 철분 저장량에 부정적인 영향을 주지 않는다고 하였다. 이들의 연구와 비교할 때 본 연구의 고칼슘군은 칼슘 요구량의 2배되는 수준으로 비교적 적었기 때문에 유의적인 차이가 나타나지 않은 것으로 사료되며, 권장량의 2배 정도의 칼슘보충은 혈액의 철분 성상에 부정적인 영향을 주지 않는다는 Sokoll과 Dawson-Hughes(26)의 연구와 일치하였다.

#### 간장, 비장, 신장의 칼슘과 철분 함량

암쥐를 대상으로 식이 칼슘을 요구량의 50, 100, 200% 수준으로 3주간 공급했을 때 간장, 비장, 신장의 칼슘과 철분 함량에 대한 결과는 Table 4와 같다.

다양한 연구(27-29)에서 철분의 섭취수준이 증가할수록 간장과 비장의 철분 함량은 증가하여 이들 조직의 철분 함량 비교는 철분의 저장과 영양상태를 알 수 있는 지표로 사용되고 있다. 본 연구결과 간장, 비장, 신

Table 3. Hemoglobin, hematocrit, and serum iron of rats fed diets containing various levels of calcium

Dietary Ca	Hemoglobin	Hematocrit	Serum	
			Ca	Fe
% of requirement	g/dl	%	mg/dl	µg/ml
50%	12.11±2.85 <sup>1)</sup>	35.59±6.20	10.21±1.45	1.92±0.23
100%	11.48±2.03	31.40±5.34	12.13±4.09	1.84±0.20
200%	12.36±2.02	33.27±2.93	10.17±4.97	1.90±0.21
ANOVA	N.S. <sup>2)</sup>	N.S.	N.S.	N.S.

<sup>1)</sup>Mean ± standard deviation

<sup>2)</sup>Not significant at p<0.05 as determined by 1-way analysis of variance

Table 4. Iron content in liver, spleen, and kidney of rats fed diets containing various levels of calcium (µg/g tissue)

Dietary Ca	Liver		Spleen	Kidney	
	Ca	Fe	Fe	Ca	Fe
50%	52.82± 6.05 <sup>1)</sup>	65.54±10.80	114.12±22.46	105.02±10.75 <sup>b2)</sup>	60.41±12.81
100%	49.44± 3.75	65.47±10.95	109.42±13.16	107.00±10.20 <sup>b</sup>	57.07± 9.51
200%	54.32±12.25	63.83± 5.03	109.41±16.39	199.61±30.61 <sup>a</sup>	63.20±13.22
ANOVA	N.S. <sup>3)</sup>	N.S.	N.S.	p<0.01	N.S.

<sup>1)</sup>Mean ± standard deviation

<sup>2)</sup>Means with different letters(a, b) within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Duncan's multiple range test

<sup>3)</sup>Not significant at p<0.05 as determined by 1-way analysis of variance

장의 철분 함량은 칼슘 섭취수준에 따른 각 군별 유의적인 차이가 없었다. Chapman과 Campbell(30)은 빈혈쥐에게 10주간 종류를 달리하여 칼슘을 보충했을 때 간장의 철분 함량이 감소하고 심장의 무게가 증가하여 철분의 이용률이 저하되었다고 하여 본 연구와 다른 결과를 보였는데, 이는 본 연구의 실험기간이 비교적 짧았기 때문에 철분 흡수나 이용률의 변화에 의한 장기간의 저장영양상태에까지는 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다.

신장의 칼슘 함량은 칼슘의 섭취수준에 의한 유의한 영향을 받아( $p < 0.01$ ) 고칼슘군이 저칼슘군이나 적정칼슘군 보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. Washko와 Cousins(31)는 성장기 숫쥐에게 식이의 0.6%(적정칼슘)와 0.1%의 칼슘을 8주간 공급했을 때 저칼슘군의 신장 칼슘 농도가 유의하게 낮았다고 한 반면, 이등(23)은 이유 직후의 암쥐에게 식이에 0.1%와 0.3%의 칼슘을 5일간 공급하는 평형실험에서 저칼슘군의 신장 칼슘 농도는 고칼슘군 보다 약 6배나 유의하게 높았다고 하며, itokawa 등(32)도 쥐에 있어 칼슘부족은 신장의 칼슘 농도를 증가시켰다고 하였다. 한편, Six와 Goyer(33)는 성장기 숫쥐에게 식이의 0.7%와 0.1%의 칼슘을 10주간 공급했을 때 유의한 차이가 없었다고 함으로써 칼슘부족에 따른 신장 칼슘 농도의 변화는 분명하지 않

은 것으로 보여진다. 고칼슘식이에 따른 신장 칼슘 농도의 변화에 대한 연구에서도 Haek 등(34)은 암쥐에 있어 식이 중 칼슘의 공급이 0.5%까지는 증가할수록 신장 칼슘 농도가 증가하다가 0.75% 이상에서는 오히려 감소되어 고칼슘섭취로 인한 신석회증(nephrocalcinosis)의 발생을 감소시키는 생리적응현상이 나타난다고 하였으나, 본 연구에서는 적정군의 2배 수준을 섭취하는 고칼슘군의 신장 칼슘 농도가 높은 것으로 나타남으로써 다소 다른 결과를 보였다.

#### 칼슘과 철분 평형

암쥐를 대상으로 식이 칼슘을 요구량의 50, 100, 200% 수준으로 3주간 공급했을 때 칼슘과 철분 평형에 대한 결과는 Table 5, 6과 같다.

칼슘 섭취량은 칼슘 섭취수준의 증가에 따라 유의적으로 증가하였으며( $p < 0.001$ ), 소변과 대변을 통한 칼슘 배설량도 칼슘 섭취수준에 따른 영향을 각각 받아( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) 고칼슘군의 칼슘 배설량이 저칼슘군이나 적정칼슘군 보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 칼슘의 섭취량, 소변과 대변을 통한 배설량으로 산출한 칼슘 평형의 경우, 칼슘의 섭취수준 증가에 따라 칼슘의 결보기 보유량은 유의하게 증가하였으나( $p < 0.001$ ) 결보기 보유율은 감소하는 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ).

Table 5. Intake, urinary and fecal excretion of iron of rats fed diets containing various levels of calcium

Dietary Ca	Intake		Urinary excretion		Fecal excretion	
	Ca	Fe	Ca	Fe	Ca	Fe
% of requirement	mg/day	mg/day	mg/day	µg/day	mg/day	µg/day
50%	76.41 ± 8.05 <sup>1)c2)</sup>	1.06 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.48 ± 0.06 <sup>b</sup>	12.98 ± 2.88 <sup>b</sup>	6.92 ± 3.46 <sup>b</sup>	389.80 ± 64.38 <sup>b</sup>
100%	168.60 ± 6.24 <sup>b</sup>	1.17 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.07 <sup>b</sup>	16.02 ± 3.18 <sup>a</sup>	29.34 ± 14.90 <sup>b</sup>	436.00 ± 69.13 <sup>ab</sup>
200%	310.53 ± 13.28 <sup>a</sup>	1.07 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.84 ± 0.15 <sup>a</sup>	17.51 ± 2.12 <sup>a</sup>	113.19 ± 66.06 <sup>a</sup>	469.07 ± 41.69 <sup>a</sup>
ANOVA	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.05$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.05$

<sup>1)</sup> Mean ± standard deviation

<sup>2)</sup> 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

Table 6. Iron balance of rats fed diets containing various levels of calcium

Dietary Ca	Apparent retention <sup>1)</sup>		Retention rate <sup>2)</sup>	
	Ca	Fe	Ca	Fe
% of requirement	mg/day	µg/day	%	%
50%	69.01 ± 3.47 <sup>3)c4)</sup>	654.43 ± 111.01 <sup>ab</sup>	90.31 ± 4.55 <sup>a</sup>	61.64 ± 7.00 <sup>a</sup>
100%	138.41 ± 15.08 <sup>b</sup>	710.83 ± 62.04 <sup>a</sup>	82.09 ± 8.95 <sup>ab</sup>	61.15 ± 5.57 <sup>a</sup>
200%	196.78 ± 66.00 <sup>a</sup>	580.22 ± 46.69 <sup>b</sup>	63.37 ± 21.26 <sup>c</sup>	53.99 ± 3.62 <sup>b</sup>
ANOVA	$p < 0.001$	$p < 0.05$	$p < 0.001$	$p < 0.05$

<sup>1)</sup> Apparent retention = Intake - excretion in urine and feces

<sup>2)</sup> Apparent retention rate = (apparent retention/intake) × 100

<sup>3)</sup> Mean ± standard deviation

<sup>4)</sup> 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

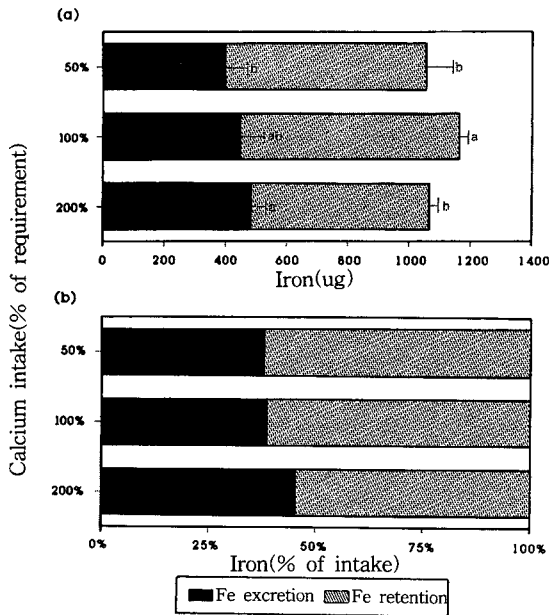


Fig. 1. Comparison of iron excretion and retention for groups fed different calcium levels iron excretion and retention(a) iron excretion and retention as percentage of iron intake(b).

식이성 칼슘은 건강한 성인의 경우 약 20~30%만 흡수되고 그 나머지는 대변을 통해 체외로 배설되지만, 식이성 칼슘량에 따라 칼슘의 흡수율과 대변중 배설량은 큰 차이가 나게 된다. Benson 등(35)은 칼슘 섭취량이 높아지면 내인성 칼슘의 재흡수율이 저하되므로 대변을 통한 칼슘배설이 증가할 가능성이 있다고 하였으며, Sammon 등(36)은 쥐에 있어 대변을 통한 내인성 칼슘 배설량은 식이성 칼슘수준이 정상이거나 높을 때 소변을 통한 배설량 보다 5~10배 정도 많다고 하였다. 한편, 이 등(23)은 이유 직후의 암쥐에게 식이에 1.0%와 0.3%의 칼슘을 5일간 공급하는 평형실험을 실시했을 때 저칼슘군의 대변 중 칼슘 배설량은 고칼슘군 보다 유의하게 낮고 결보기 소화율은 유의하게 높았다고 하며, 암탉(37)과 사람(38)을 대상으로 한 실험에서도 저칼슘의 섭취는 대변 중 칼슘 배설량을 감소시킨다고 보고하고 있다. 이상의 연구에서 칼슘 섭취량은 대변 중 칼슘 배설량과 비례하고 칼슘 흡수율과는 반비례하는 것을 볼 수 있는데, 본 연구에서도 칼슘 섭취수준 증가에 따라 대변 중 칼슘 배설량은 증가하고 결보기 보유율은 감소하여 같은 결과를 나타내었다.

철분 섭취량은 칼슘 섭취수준에 따른 유의적인 차이가 있어(p<0.001) 적정 칼슘군이 저칼슘군과 고칼슘군 보다 높았다. 소변과 대변을 통한 철분 배설량도 칼슘 섭취수준에 따른 영향을 각각 받아(p<0.01, p<0.05)

저칼슘군의 철분 배설량이 적정 칼슘군이나 고칼슘군 보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 철분의 섭취량, 소변과 대변을 통한 배설량으로 산출한 철분의 결보기 보유량과 보유율은 칼슘의 섭취수준에 따른 각 군별 유의적인 차이가 있어(p<0.05, p<0.05) 고칼슘군이 저칼슘군이나 적정 칼슘군 보다 유의하게 낮게 나타남으로써 칼슘 섭취수준이 높을수록 철분평형이 감소하는 것을 알 수 있었다. Chapman과 Campbell(30)은 빈혈 쥐에게 10주간 종류를 달리하여 칼슘을 공급했을 때 bone meal, Ca carbonate, Ca lactate, Ca chloride 등의 칼슘염은 간장의 철분 저장량과 헤모글로빈 재생을 감소시키고 심장의 무게를 증가시킴으로써 철분의 이용률을 저하시킨 반면 인산염은 간장의 철분 함량과 헤모글로빈 재생에 유의적인 영향을 주지않음으로써 칼슘염에 의한 철분 이용률의 저해효과는 'mucosal block' 이 철분의 흡수를 조절한다는 점에서 논의될 수 있다고 하였다. 본 연구에서도 3주간의 짧은 공급기간으로 칼슘의 섭취수준이 체내 철분 영양상태에는 영향을 주지 않았지만 평형실험으로 살펴 본 철분의 보유율과 소화율은 칼슘 섭취수준이 높을수록 감소함으로써 칼슘이 철분이용률에 미치는 영향은 Chapman과 Campbell (30)의 연구결과와 같이 장점막의 철분 흡수율 감소에 의한 것으로 사료되지만, 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 장기간의 칼슘 섭취수준에 따른 영향과 철분의 진정흡수율을 살펴 볼 수 있는 다각적인 연구가 요구된다. Cook 등(39)은 61명의 건강인을 대상으로 칼슘의 보충이 철분의 흡수에 미치는 영향을 살펴 본 결과 Ca carbonate는 300mg의 칼슘과 37mg의 철분에서 600mg의 칼슘과 18mg의 철분의 범위까지 ferrous sulphate의 흡수를 저해하지 않았으나 Ca citrate와 Ca phosphate는 600mg의 칼슘과 18mg의 철분 공급수준에서 철분의 흡수를 각각 49%, 62% 감소시켰다고 한다. 이와 같은 결과는 식이 칼슘의 보충에 따른 철분 흡수율의 변화는 공급되는 칼슘의 종류에 따라 다르다는 것을 보여준다.

본 연구에서 사용한 칼슘 공급원은 Ca phosphate로써 요구량의 2배 정도의 섭취수준에서 칼슘의 체내 보유량은 증가하지만 철분의 평형은 약간 감소한 것으로 나타남으로써 칼슘 보충제의 섭취시에는 칼슘이외의 다른 무기질의 상호작용에 의한 변화를 고려해야 할 것으로 생각한다.

요 약

칼슘의 섭취수준이 체내 철분이용에 미치는 영향을

알아보기 위하여 생후 4주된 암쥐를 대상으로 요구량의 50%, 100%, 200% 수준의 식이 칼슘을 3주간 공급한 후 헤모글로빈 함량, 헤마토크릿, 혈청과 조직의 칼슘과 철분 함량, 칼슘과 철분 평형을 살펴 본 결과는 다음과 같다. 사료 섭취량, 체중 증가량, 사료 효율, 헤모글로빈 함량, 헤마토크릿, 혈청과 조직의 칼슘과 철분 함량은 칼슘 섭취수준에 따른 각 군별 유의적인 차이가 없었다. 그러나 고칼슘군의 신장 칼슘 함량은 저칼슘군이나 적정칼슘군 보다 유의하게 높았다( $p < 0.01$ ). 칼슘의 섭취수준 증가에 따라 소변과 대변을 통한 칼슘 배설량과 칼슘 보유량은 유의하게 높았으나( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ) 칼슘 보유율은 유의적으로 낮은 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ). 철분 섭취량은 칼슘 섭취수준에 따른 유의한 차이가 있어( $p < 0.001$ ) 적정 칼슘군이 저칼슘군과 고칼슘군 보다 유의하게 높았다. 소변과 대변을 통한 철분 배설량도 칼슘 섭취수준에 따른 영향을 받아( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ) 저칼슘군의 철분 배설량이 적정 칼슘군이나 고칼슘군 보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 철분의 섭취량, 소변과 대변을 통한 배설량으로 산출한 철분의 보유량, 보유율은 칼슘의 섭취수준에 따른 각 군별 유의적인 차이가 있어( $p < 0.05$ ,  $p < 0.05$ ) 고칼슘군이 저칼슘군이나 적정 칼슘군 보다 유의하게 낮았다. 이상의 결과로 요구량의 2배 정도의 칼슘 섭취수준에서 칼슘의 체내 보유량은 증가하지만 철분의 평형은 약간 감소한 것으로 나타남으로써 칼슘보충제의 섭취시에는 칼슘이외의 다른 무기질의 상호작용에 의한 변화를 고려해야 할 것으로 생각한다.

## 문헌

- Layrisse, M., Martinez-Torres, C. and Roche, M. : Effect of interaction of various foods on iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.*, **21**, 1175(1968)
- Morris, E. R. : Iron. In "Trace elements in human and animal nutrition" Mertz, W.(ed.), Academic Press, New York, p.79(1987)
- 보건복지부 : 국민영양조사보고서(1995)
- 정해량, 문현경, 송범호, 김미경 : 빈혈 판정지표로서의 헤모글로빈, 헤마토크릿 및 혈청 페리틴. *한국영양학회지*, **24**, 450(1991)
- 남혜선, 이선영 : 충남대 여대생의 철분 섭취량과 영양상태에 관한 연구. *한국영양학회지*, **25**, 404(1992)
- 장남수, 강명화, 백희영, 김익환, 조용옥, 박상철, 신영우 : 임신부, 수유부의 혈청 엷산과 철 수준에 관한 연구. *한국영양학회지*, **26**, 67(1993)
- 이상선, 김미경, 이은경 : 서울지역 성인의 영양보충제 복용실태. *한국영양학회지*, **23**, 287(1990)
- 김선효 : 중년기의 비타민, 무기질 보충제 복용실태 조사. *한국영양학회지*, **27**, 236(1994)
- NIH Consensus Conference : Optimal calcium intake. *J.A.M.A.*, **272**, 1942(1994)
- Anderson, H. D., McDonough, K. B. and Elvehjem, C. A. : Relation of the dietary calcium-phosphorus ratio to iron assimilation. *J. Lab. Clin. Med.*, **25**, 464(1940)
- Hallberg, L., Brune, M., Erlandsson, M., Sandberg, A. S. and Rossander-Hulten, L. : Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**, 112(1991)
- Dawson-Hughes, B., Seligson, F. H. and Hughes, V. A. : Effects of calcium carbonate and hydroxyapatite on zinc and iron retention in postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **44**, 83(1986)
- Greerup, A., Rossander-Hulten, L. and Hallberg, L. : Duration of the inhibitory effect of calcium on non-heme iron absorption in man. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **47**, 875(1993)
- Greerup, A., Rossander-Hulten, L., Gramatkovski, E. and Hallberg, L. : Iron absorption from the whole diet : comparison of the effect of two different distributions of daily calcium intake. *Am. J. Clin. Nutr.*, **61**, 97(1995)
- Prather, T. A. and Miller, D. D. : Calcium carbonate depresses iron bioavailability in rats more than calcium sulfate or sodium carbonate. *J. Nutr.*, **122**, 327(1992)
- Conrad, M. C., Umbreit, J. N. and Moore, E. G. : Rat duodenal iron-binding protein mobilferrin is a homologue of calreticulin. *Gastroenterology*, **104**, 1700(1993)
- Cook, J. D., Baynes, R. D. and Skine, B. S. : Iron deficiency and the measurement of iron status. *Nutr. Res. Rev.*, **5**, 189(1992)
- NRC Food and Nutrition Board : Nutrients requirements of the laboratory rat. *Natl. Acad. Sci., Washington D. C.*, p.7(1978)
- American Institute of Nutrition : Report of the American institute of nutrition ad hoc committee on standards for nutritional studies. *J. Nutr.*, **107**, 1340(1977)
- 임정남 : 식품의 무기성분 분석. *식품과 영양*, **7**, 42(1986)
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. : Principles procedures of statistics. McGraw-Hill Book Co., New York(1980)
- 권오란, 김미경 : 식이내 Ca 수준과 지방의 종류를 달리 하였을 때 흰쥐의 체내 지방대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **21**, 324(1988)
- 이종호, 문수재, 허갑범 : Phytate와 저 Ca 섭취가 흰쥐의 성장기간 동안 Ca, P, Zn 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **26**, 145(1993)
- Yacowitz, H., Fleischman, A. I., Amsden, R. T. and Bierenbaum, M. L. : Effects of dietary calcium upon lipid metabolism in rats fed saturated or unsaturated fat. *J. Nutr.*, **92**, 389(1967)
- Hatton, D., Muntzel, M., Absalon, J., Lashley, D. and McCarron, D. A. : Dietary calcium and iron : effects on blood pressure and hematocrit in young spontaneously hypertensive rats. *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**, 542(1991)
- Sokoll, L. J. and Dawson-Hughes, B. : Calcium supplementation and plasma ferritin concentrations in premenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **56**, 1045(1992)
- Standish, J. F., Ammerman, C. B., Palmer, A. Z. and Simpson, C. F. : Influence of dietary iron and phos-

- phorus on performance, tissue mineral composition and mineral absorption in steers. *J. Anim. Sci.*, **33**, 171(1971)
28. Johnson, M. A. and Murphy, C. L. : Adverse effects of high dietary iron and ascorbic acid on copper status in copper-deficient and copper-adequate rats. *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**, 96(1988)
29. Sherman, A. R., Guthrie, H. A. and Wolinsky, I. : Interrelationships between dietary iron and tissue zinc and copper levels and serum lipids in rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **156**, 396(1977)
30. Chapman, D. G. and Campbell, J. A. : Effect of calcium and phosphorus salts on the utilization of iron by anaemic rats. *Br. J. Clin. Nutr.*, **11**, 127(1957)
31. Washko, P. W. and Cousins, R. J. : Role of dietary calcium and calcium binding protein in cadmium toxicity in rats. *J. Nutr.*, **107**, 920(1977)
32. Itokawa, Y., Tanaka, C. and Fujiwara, M. : Changes in body temperature and blood pressure in rats with calcium and magnesium deficiencies. *J. Appl. Physiol.*, **37**, 835(1974)
33. Six, K. M. and Goyer, R. A. : Experimental enhancement of lead toxicity by low dietary calcium. *J. Lab. Clin. Med.*, **76**, 933(1970)
34. Haek, A. C., Lemmens, A. G., Mullink, J. W. M. A. and Beynen, A. C. : Influence of dietary Ca : P ratio on mineral excretion and nephrocalcinosis in female rats. *J. Nutr.*, **118**, 1210(1988)
35. Benson, J. D., Emery, R. S. and Thomas, J. W. : Effects of previous calcium intake on adaptation to low and high calcium diets in rats. *J. Nutr.*, **97**, 53(1969)
36. Sammon, P. F., Stacey, R. and Bronner, F. : Role of parathyroid hormone in calcium homeostasis and metabolism. *Am. J. Physiol.*, **218**, 479(1970)
37. Roland, D. A., Sloan, D. R. and Harms, R. H. : Calcium metabolism in the laying hen. IV. The calcium status of the hen at night. *Poult. Sci.*, **52**, 351(1973)
38. 송영득, 이종호, 안광진, 정춘희, 김미림, 이관우, 이명희, 임승길, 김경래, 이현철, 문수재, 허갑범 : 정상 성인 남자의 칼슘섭취량 및 운동량과 골밀도와의 관계. *대한의학협회지*, **21**, 23(1988)
39. Cook, J. D., Dassenko, S. A. and Whittaker, P. : Calcium supplementation : effect on iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**, 106(1991)

(1996년 7월 23일 접수)