

고 칼슘 섭취가 철이 부족한 성장기 흰쥐의 철 이용성과 뼈 성장에 미치는 영향

장순옥[§] · 김기대 · 이성현*

수원대학교 생활과학대학 식품영양학과, 농업과학기술원 농촌자원개발연구소*

The Effect of Excess Calcium on the Iron Bioavailability and Bone Growth of Marginally Iron Deficient Rats

Chang, Soon Ok[§] · Kim, Gi Dae · Lee, Sung Hyeon*

Department of Food and Nutrition, College of Human Ecology, The University of Suwon, Whasung, Kyunggi 445-743, Korea, National Rural Resources Development Institute,*
NIASI, RDA, Suwon 441-853, Korea

ABSTRACT

This study examined the effect of excess calcium (Ca) on the iron (Fe) bioavailability and bone growth of marginally Fe deficient animals. Two groups of weanling female SD rats were fed either normal Fe (35 ppm) or Fe deficient diet (8 ppm) for 3 weeks. Then each group of animals were assigned randomly to one of three groups and were fed one of six experimental diets additionally for 4 weeks, containing normal (35 ppm) or low (15 ppm) Fe and one of three levels of Ca as normal (0.5%), high (1.0%), or excess (1.5%). Feces and urine were collected during the last 3 days of treatment. After sacrifice blood, organs, and femur bone were collected for analysis. Final body weight and average food intake were not affected by either the levels of dietary Ca or Fe. Low Fe diet significantly reduced the level of serum ferritin, however, for Hb, Hct, and TIBC no difference was shown than those in the normal Fe group. TIBC increased slightly by high and excess Ca intake in low Fe groups. For both normal and low Fe groups, high and excess Ca intakes reduced the apparent absorption of Fe and Fe contents of liver significantly ($p < 0.05$). Calcium contents in kidney and Femur of rats that were fed high and excess levels of Ca were significantly greater than those of normal Ca groups. However, weight, length, and breaking force of the bone were not affected by increased Ca intakes. Both in control and low Fe groups, high and excess intakes of Ca decreased the apparent absorption of Ca. These results indicate that the excess intakes of calcium than the normal needs would be undesirable for Fe bioavailability and that the adverse effects be more serious in marginally iron deficient growing animals. In addition bone growth and strength would not be favorably affected by high Ca intakes, though, the long term effect of increased Ca contents in bone requires further examination. (*Korean J Nutrition* 37(8): 645~654, 2004)

KEY WORDS : excess calcium, iron and calcium interaction, calcium bioavailability, iron bioavailability, bone growth.

서 론

철과 칼슘은 우리나라 사람이 가장 부족하기 쉬운 영양성분이며¹⁾ 성장기, 가임기, 노년기 등 생의 주기에서 그 필요량이 높은 시기들도 일치하는 무기질이다.²⁾ 한국인의 최근 10년간 철 섭취량은 평균 12 mg/일 수준으로 섭취량 자체는 크게 부족하지 않다고 평가할 수 있다.¹⁾ 그러나 철의 영양상

태를 빈혈판정 기준인 헤모글로빈 (Hb)로 평가할 경우 인구 집단에 따라 4% (3~6세 아동)³⁾~21% (여대생)^{4,5)}이며 좀더 민감한 지표인 혈청 페리틴 (ferritin)을 기준으로 할 경우는 17.7% (3~6세 아동)³⁾~39% (임신부)⁶⁾ 수준으로 보고되어 철 이용성의 문제점을 나타내고 있다.

무기질은 흡수율이 제한되어 과량섭취의 독성으로 인한 위해를 차단한다. 철의 경우는 그 흡수율이 3~25% 수준으로 낮는데 이는 철의 폐쇄된 대사체계와 철 과잉이 미생물의 번식에 유리한 환경을 제공하는 생리적 현상에서⁷⁾ 인체를 보호하려는 기전으로 볼 수 있다. 특히 흡수율이 3~5% 수준으로 낮은 비헴철은 여러 식이요인에 의해 그 흡수가 향상

접수일 : 2004년 8월 12일

채택일 : 2004년 10월 11일

[§]To whom correspondence should be addressed.

되거나 저해된다. 흡수촉진 인자로는 아스코르브산이나 육류, 가금류 등 동물성 단백질 섭취량 증가를 들 수 있고 저해 인자로는 무산중, 탄닌, 피틴산 등이 있다.⁸⁾ 또한 장 점막의 동일한 이온운반체를 이용하는 다른 무기질의 섭취는 철 흡수율을 저하할 수 있는데 그 중 하나로 칼슘을 지목할 수 있다.⁹⁾

칼슘은 우리 식생활에서 섭취량이 권장량에 가장 미흡한 영양소로 1일 국민 평균섭취량이 권장량의 70% 수준이다.¹⁾ 칼슘부족은 노년기의 골다공증, 골절의 원인이 되며¹¹⁾ 최근 고혈압,¹²⁾ 순환기계 질환이나 대장암 등의 발생에까지 영향을 미친다는 보고가 있다.¹³⁾ 한국인의 경제수준 향상과 건강에 대한 관심증가로 근래 식이보충제 섭취가 보편화되고 있는데, 특히 칼슘보충제의 경우 그 섭취수준의 폭이 매우 크다. 즉 1일 섭취하는 보충제의 칼슘함량은 41~1500 mg으로 나타나지만¹⁴⁻¹⁶⁾ 노인의 경우 많게는 권장량의 5배까지도 섭취하는 것으로 보고되었다.¹⁶⁾ 보충제뿐만 아니라 식품가공과정에서 강화를 통한 칼슘공급은 더욱 광범위하여 가공식품의 영양소강화 중 칼슘강화의 빈도가 가장 높다.¹⁷⁾ 반면 정부의 강화정책의 부재로 인하여 주식 (staple food)에 영양소강화를 하는 국제적 관례를 따르지 않고 과자류, 음료, 라면 등 다양한 식품군에서 칼슘이 강화되어 일반인의 칼슘 섭취가 상한 섭취량 (UL)인 2500 mg/일을 상회할 수도 있다.¹⁸⁾

권장량 이상의 칼슘과량섭취는 성장기에는 최대 골밀도를 형성하며, 폐경기 이후는 골 손실을 보상할 수 있어 골다공증을 예방할 수 있다는 보고들이 많다.¹⁹⁻²¹⁾ 반면 Nials 등은 폐경 직후 여성에 2년 동안 500 mg의 칼슘보충에서도 효과가 나타나지 않아 1000~2000 mg 수준의 칼슘섭취도 폐경직후의 골손실을 방지할 수 없다고 하였다.²²⁾ 실험동물을 대상으로 한 실험들에서도 정상이상의 칼슘보충이 보충량 증가에 따라 뼈의 성장, 무기질 함량이나 강도증가로 이어지는 것은 아니었다.²³⁾ 따라서 칼슘의 과다 섭취가 뼈의 질적 향상을 가져오지 않으면서 부족하기 쉬운 철의 이용성을 저해하는지 여부가 구명되어야 할 것이다.

칼슘섭취가 철의 이용성에 미치는 영향에 대한 연구들은 상반된 결과를 보고하고 있다. Cook 등은 이중 방사능 동위원소를 사용하여 식이성 비헴철과 철 보충제의 흡수가 칼슘보충에 의해 영향을 받는지를 61명의 정상인을 대상으로 조사한 연구에서 300 mg 또는 600 mg 칼슘보충을 탄산칼슘 (CaCO₃)으로 했을 경우에는 철 보충제의 흡수에 저해적 영향이 없었다고 보고한다.²⁴⁾ 그러나 탄산칼슘이 아닌 calcium citrate나 calcium phosphate로 600 mg을 보충했을 경우는 그 흡수율이 49%와 62%로 각각 줄었다. 이들 보충

제를 식사와 함께 섭취했을 경우는 칼슘 보충형태에 관계없이 철 흡수가 저해되어 보고자들은 식사와 함께 칼슘보충제를 섭취한다면 여성들의 철 부족이 염려된다고 하였다. 또 다른 연구에서는 앞서 연구가 1회 식사로 흡수율을 측정할 점을 보완하여 280, 684, 1281 mg 칼슘 식사 중 선택하여 5일씩 섭취하면서 철의 흡수율을 측정하였는데 이때는 칼슘 수준이 비헴철의 흡수에 영향을 미치지 않았다고 한다.²⁵⁾ 보다 장기적인 칼슘 보충 연구에서는 건강한 성인여성에게 12주간 1200 mg/일 보충했을 때 혈청 페리틴 농도에 영향을 미치지 않았다고 하며²⁶⁾ 6개월간 1200 mg 칼슘을 보충한 남녀성인의 페리틴을 포함한 혈액 성상에 별 영향이 없었다는²⁷⁾ 보고도 있다. 철 흡수에 대한 칼슘의 저해적 영향은 일반적으로 나타나는 것이 아니라 그 섭취 수준이나 섭취방법에 영향을 받는 것으로 보인다.

이처럼 칼슘보충이 뼈의 성장이나 기능에 미치는 영향이 불분명하고 철의 이용성에 미치는 영향에 대한 연구들도 다양한 결과를 보여주고 있다. 한편 현실적으로는 칼슘의 섭취증가는 국가적으로 장려되고 반면 철의 강화나 보충은 빈혈의 해소, 인지 능력과 신체적 기능 향상등의 장점과 함께 단점인 지질의 과산화물을 생성하고 허혈성 심질환이나 암의 위험요인이 될 수 있는 만큼²⁸⁾ 일반적인 강화나 보충제 활용은 어렵다고 본다. 따라서 본 연구에서는 정상수준 이상의 칼슘보충이 성장기 동물의 골대사에 영향을 미쳐 뼈의 성장과 강도를 향상시킬 수 있는지 여부와 철 경계결핍 동물에서 철의 이용성에 영향을 미치는지를 실험동물을 이용하여 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물 및 실험디자인

이유한 3주령의 암컷 흰쥐 (Sprague Dawley rats, 체중 60g; 대한 실험동물) 45마리를 2군으로 나누어 대조군 (n = 21)은 정상철식이 (35 ppm Fe)를, 철결핍군 (n = 24)은 철결핍식이 (8 ppm Fe)를 3주간 급여하여 철 결핍을 유도하였다. 철 급여수준은 선행연구를²⁹⁾ 참고하여 성장에 영향을 주지 않으면서 빈혈을 유발할 수 있는 수준인 8 ppm으로 하였다. 3주간 식이급여 후 꼬리에서 채취한 혈액의 Hb과 hematocrit (Hct) 값으로 철결핍군의 빈혈 (Hb 12 g/dL 이하)을 검사하고 두 군간의 유의적인 차이를 확인하였다. 칼슘수준에 따른 철의 이용성을 조사하기 위하여 대조군과 철결핍군을 다시 3군으로 분류하여 2 × 3 factorial design으로 철과 칼슘의 수준을 달리한 6군으로 하여 한 군에 7~8마리씩 무작위 배치하였다. 철결핍군은 경계결핍을 유지하도

록 철 수준을 15 ppm으로 높였으며, 칼슘수준은 정상칼슘 (Nca: 0.5%Ca), 고칼슘 (Hca: 1.0%Ca), 과잉칼슘 (Eca: 1.5%Ca)이었다. 각 군의 동물에 실험식이와 탈이온수를 임의섭취하도록 하여 4주간 사육하였고 이 기간 동안 몸무게와 식이 섭취량은 2~3일 간격으로 가급적 동일한 시간에 측정하였다.

실험동물들은 bottom-wired cage에 한 마리씩 분리 사육하였고 사육실 환경은 23 ± 2°C로 유지하였다. 사육 cage와 용기들은 무기질의 오염이 없도록 세척후 0.1% EDTA와 탈 이온수로 처리하여 사용하였다. 실험 종료 전 3일간은 plastic 대사장으로 옮겨 3일간의 분변과 뇨를 수집하였다.

2. 실험식이

실험에 사용된 식이는 AIN-93을 기본으로 한 정제식으로 20% casein을 base로 철과 칼슘의 수준을 조정하였다. 처음 3주간은 빈혈을 유발하기 위하여 실험군은 철의 함량이 8 ppm수준이었고 그 외 성분들은 정상군과 동일한 구성이었다. 그 다음 4주간 식이는 Table 1과 같이 철, 칼슘, 인이 조정된 실험식이다. 원료로는 옥수수전분 (동방유량), sucrose (제일제당), 단백질 급원으로는 casein (Murray Goulburn Co-operative Co. Australia), 옥수수기름 (제일제당), 라이드 (동방유량), 식이 섬유 (Sigma-Aldrich), 비타민혼합제 (Vitamin mixture, Sigma-Aldrich), 칼슘, 철 제외 mineral mixture (Sigma-Aldrich), 기타 미량 성분은 시약급을 사용하였다. 칼슘급원으로는 CaCO₃을, 철급원으로는 FeSO₄ · 7H₂O를 사용하였다. 식이 내 인의 함량은 칼슘 함량에 맞추어 칼슘과 인의 비가 대략 2 : 1이 되도록 조정하였고 인산칼륨 (KH₂PO₄)을 이용하였다.

3. 시료의 수집과 분석

1) 혈액, 장기, 뼈, 분변 채취

실험종료 전 3일간 실험동물을 metabolic cage에 넣고 매일 동일한 시간에 24시간동안 수집된 분변과 뇨를 수거하였으며, 중량을 측정한 후 -20°C에서 냉동 보관하였다. 실험 종료일에 12시간 절식한 동물을 ethyl ether로 마취 후 경동맥에서 채취한 혈액 중 약 1 ml 정도는 7.5% EDTA 처리된 전혈세포 측정병에 담아 Hb과 Hct를 분석하기 전까지 4°C에서 냉장 보관하였다. 그 외에 채취한 혈액은 24시간 냉장상태로 냉장고에 방치한 후 원심분리하여 얻은 혈청은 분석할 때까지 -20°C에서 냉동 보관하였다. 간과 양쪽 신장 및 비장을 적출하여 지방등의 이물질을 깨끗이 제거한 후 생리식염수 (0.9% NaCl용액)로 세척, 여과지로 물기를

뺀고 생조직의 무게를 측정하였다. 양쪽 대퇴골은 적출 후 부착되어 있는 근육, 지방, 인대 등의 부착물을 전부 제거한 다음 무게와 길이를 측정하였다. 모든 시료는 분석시까지 -20°C에서 냉동 보관하였다.

2) 시료 분석

혈청 페리틴은 MEIA (Microparticle enzyme immunoassay)에 의해 double-antibody Abbot AxSYM kit를 사용하여 측정하였다. Total iron binding capacity (TIBC)는 혈청 철과 unsaturated iron binding capacity (UIBC)를 Nitroso-PSAP [2-(5-nitro-2-pyridylazo)-5-(n-propyl-n-sulfopropylamino)-phenol]법을³⁰⁾ 이용하여 750 nm에서 화학자동분석기 (Hitachi747, Hitachi co, Japan)로 비색 정량하고 두 값을 합하여 산출하였다. UIBC측정은 혈청에 과잉의 철을 첨가하면 불포화트렌스페린은 첨가된 철과 결합하여 포화트렌스페린으로 되고, 여기에 Nitroso-PSAP 정색시약을 첨가하여 결합되지 않은 잔여 철을 정량한 후 첨가한 과잉의 철에서 잔여 철분량을 제하여 구하였다.

전혈에서의 혈색소 (Hemoglobin)농도는 cyanmethemoglobin법을 사용하였고, 적혈구용적비 (Hematocrit)는 MCV (평균 혈구 용적) X 적혈구수를 자동으로 산출하는 기기 (Coulter counter JT)를 이용하여 측정하였다.

시료의 칼슘함량은 각 조직이나 시료를 105°C에서 va-

Table 1. Composition of experimental diets

	Normal Iron (35 ppm Fe)			Low Iron (15 ppm Fe)		
	Nca ²⁾	Hca	Eca	Nca	Hca	Eca
Corn Starch	517.3 ¹⁾	495.4	479.1	517.4	495.5	479.2
Casein	200	200	200	200	200	200
Sucrose	100	100	100	100	100	100
Corn Oil	35	35	35	35	35	35
Lard	35	35	35	35	35	35
α -Cellulose	50	50	50	50	50	50
L-cystine	3	3	3	3	3	3
Min. Mix ³⁾ (Ca, Fe free)	35	35	35	35	35	35
Vit. Mix ⁴⁾	10	10	10	10	10	10
Choline chloride	2	2	2	2	2	2
KH ₂ PO ₄	0	9.40	13.18	0	9.40	13.18
CaCO ₃	12.49	24.98	37.47	12.49	24.98	37.47
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.175	0.175	0.175	0.075	0.075	0.075

¹⁾Values are g/kg diet and diets are prepared on the basis of AIN-93G composition.

²⁾Ca level: Nca (Normal Ca: 0.5%), Hca (High Ca: 1.0%), Eca (Excess Ca: 1.5%)

³⁾AIN-93 Mineral Mixture (Ca, Fe free)

⁴⁾AIN-93 Vitamin Mixture

cuum dry oven에서 24시간 건조시킨 후 일정량의 시료 (뼈는 그대로)를 550~600°C의 회화로에서 24시간동안 회화하여 얻은 회분을 6N HCl용액 10 ml을 넣어 용해하였다. 이것을 0.5% LaCl₃ · 7H₂O로 희석하여 원자흡광광도계 (Atomic Absorption Spectrophotometer, Hitachi Z-6100, Hitachi co, Japan)로 422.7 nm에서 측정하였다. 철 함량은 전처리과정은 칼슘의 경우와 동일하지만 희석을 탈이온수로 하여 원자흡광광도계로 248.3 nm에서 측정하였다.

대퇴골의 강도는 파단력으로 제시하였고 Textrometer (Texture analyser TA-XT2, Stable Micro System, co. UK. Test speed 0.5 mm/s)를 이용하여 뼈 길이의 중심부 위에서 측정하였다. 측정값은 peak값을 취하였다.

4. 통계분석

모든 자료는 SPSS (Ver.7.5)를 이용하여 통계처리하였고 실험결과는 평균과 표준오차 (mean ± SE)로 제시하였다. 빈혈유도를 위한 정상군과 빈혈군 간의 유의성 검증은 Student's t-Test를 이용하여 비교하였다. 칼슘과 철의 수준에 따른 영향은 일반선형모델 (General Linear Models)을 이용하여 2-way ANOVA 분석을 시행한 후, p < 0.05 를 유의 수준으로 하여 factor에 따른 유의차를 검증하고 사후 검증으로 Duncan's multiple range test를 이용하여 군 간의 차이를 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 철 결핍에 의한 빈혈모델 설정

철 결핍군에서 Hb과 Hct 값은 대조군의 82.9%, 84.5%의 수준으로 낮았으며 두 군간에 유의적 (p < 0.001)인 차이를 보였고 Hb 값이 10.2 g/dl로 빈혈의 범주로 볼 수 있다. 급격한 성장이 이루어지는 이유기 이후의 어린 쥐에서는 빈혈 위험이 높은 시기이기 때문에 3주간의 철 결핍식 (8 ppm

Fe)으로도 빈혈을 초래할 수 있었던 것으로 보인다.^{31,32)} 7주령된 암컷 흰쥐에게 철 결핍식 (8 ppm Fe)을 10주간 급여하여 빈혈 모델을 설정하였을 시에 나타난 Hb값이 정상군의 90.5%로서 가벼운 빈혈 상태를 초래하였다는 결과와는²⁹⁾ 차이가 있다. 체중 증가는 대조군이 철 결핍 유도군보다 유의적으로 높게 나타났다 (p < 0.05). 식이 효율은 유의적인 차이가 없었는데 이는 철 결핍군의 낮은 식이섭취량으로 인한 결과이다 (Table 2). 철 결핍상태에서의 식욕부진은 실험동물에서 자주 나타나는 것으로 보고되었다.³¹⁾

2. 철 결핍급여 수준에 따른 성장과 식이효율

Table 3에 4주간의 실험식이 급여 후의 각 군의 체중증가량, 식이섭취량, 및 식이효율을 제시하였다. 3주간 빈혈 유도후 체중은 저철식이군에서 유의적으로 낮았다 (p < 0.05). 실험식에 따라 평균 식이섭취량은 실험군 간에 차이가 없었으나, 체중 증가량은 정상철식이군에 비해 저철식이군에서 유의적 (p < 0.05)으로 높게 나타나, 결과적으로 전체 식이효율에 있어서 저철식이군에서 유의적으로 높았다 (p < 0.01). 이는 철 결핍을 유도한 3주간의 실험식이 급여 이후 4주 동안

Table 2. Comparison of weight gain, daily food intake, and hematology of rats fed normal or low iron diet

	Normal Iron 35 ppm Fe	Low Iron 8 ppm Fe
Initial body weight (g)	59.3 ± 3.7 ¹⁾	58.6 ± 3.7 ^{NS}
Weight gain (g/d)	5.2 ± 0.3	4.8 ± 0.5 ^{*2)}
Final body weight (g)	170.1 ± 7.0	162.2 ± 11.8 [*]
Food intake (g/d)	15.5 ± 0.7	14.5 ± 0.9 ^{NS}
FER ³⁾	0.33 ± 0.01	0.33 ± 0.02 ^{NS}
Hemoglobin (g/dl)	12.3 ± 1.1	10.2 ± 1.4 ^{***}
Hematocrit (%)	36.9 ± 3.3	31.2 ± 4.1 ^{***}

¹⁾Values are mean ± SE (n = 21 or 24)

²⁾Difference by Student's t-Test is significant as follows, *p < 0.05, ***p < 0.001, NS: Not significant.

³⁾FER (Food efficiency ratio): weight gain (g)/food intake (g) for 3 weeks

Table 3. Weight gain, food intake, and food efficiency ration of rats fed experimental diets for 4 weeks

	Initial BW (g)	Final BW (g)	Weight gain (g/d)	Food intake (g/d)	FER ⁴⁾
NFeNCa ²⁾	170.1 ± 7.5 ^{1a)}	233.6 ± 12.0	2.2 ± 0.3 ^{ab)}	16.5 ± 1.0	0.13 ± 0.01 ^{ab)}
NFeHCa	170.0 ± 7.5 ^{a)}	221.9 ± 8.2	1.8 ± 0.1 ^{b)}	15.4 ± 0.9	0.11 ± 0.01 ^{b)}
NFeECa	170.2 ± 6.1 ^{a)}	228.8 ± 14.5	2.1 ± 0.4 ^{ab)}	16.5 ± 1.3	0.12 ± 0.01 ^{b)}
LFeNCa	161.9 ± 9.3 ^{b)}	235.3 ± 16.5	2.5 ± 0.4 ^{a)}	16.4 ± 0.8	0.15 ± 0.02 ^{a)}
LFeHCa	162.3 ± 11.3 ^{b)}	226.5 ± 23.4	2.2 ± 0.5 ^{ab)}	16.2 ± 1.3	0.13 ± 0.02 ^{ab)}
LFeECa	162.3 ± 14.8 ^{b)}	228.6 ± 29.0	2.4 ± 0.6 ^{a)}	16.4 ± 1.7	0.14 ± 0.02 ^{a)}
Signif ³⁾	Fe*	NS	Fe*	NS	Fe**

¹⁾Values are mean ± SE (n = 7 - 8)

²⁾Experimental diet; NFe (35 ppm Fe), LFe (15 ppm Fe), NCa (0.5% Ca), HCa (1.0% Ca), ECa (1.5% Ca)

³⁾Significance by 2-way ANOVA; Fe: effect of Fe level, *p < 0.05, **p < 0.01, NS: Not significant

⁴⁾FER (Food efficiency ratio): weight gain (g)/food intake (g) for 4-week

에 철 급여수준이 8 ppm에서 15 ppm으로 상향조정되어 저철식이군에서 정상철식이군에 비하여 따라잡기 성장 (catch-up growth)이 나타난 것으로 볼 수 있겠다. 칼슘수준은 성장과 식이효율에 영향을 미치지 않았으며 실험종료 시의 체중에서는 군 간에 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 철 수준 15 ppm은 성장기 쥐의 외견상 정상 성장에는 부족함이 없는 수준임을 뒷받침하고 칼슘은 정상수준 이상에서는 성장이나 식이효율에 촉진적인 효과가 없음을 보여준다.

3. 식이 철과 칼슘 수준이 혈액 성상에 미치는 영향

혈색소 (Hb), 적혈구 용적비 (Hct), 철의 영양상태를 나타내는 혈액성상에 관한 결과는 Table 4에 제시하였다. Hb, Hct은 칼슘과 철 수준에 따른 군 간에 유의적인 차이가 없었고, 혈청 페리틴의 경우 식이철 수준에 영향을 받아 저철식이군에서 정상철식이군의 81.1% 수준으로 유의적 (p < 0.05)으로 낮았다. TIBC의 경우 칼슘과 철 수준에 따른 유의적인 차이는 없었으나, Ca × Fe의 영향으로 유의적인 차이를 보였으며 (p < 0.05), 저철식이군에서 식이칼슘이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 트랜스페린 포화도는 군 간에 유의적인 차이는 보이지 않았다.

철 부족의 가장 민감한 척도인 혈청 페리틴은 식이 칼슘이 과잉 공급될 때 정상 철을 공급받은 쥐에서는 부정적인 영향이 현저하였으나 이미 페리틴 수준이 저하된 저철군에서는 과잉 칼슘의 영향은 나타나지 않았다. 저철군에서는 오히려 철 부족시 증가되는 트랜스페린에 의해 고칼슘급여는 TIBC수준을 증가 (p < 0.05)시켰고 이에 따라 트랜스페린 포화도는 유의적이지는 않지만 감소되었다. 철 부족시 혈액의 철 영양지표들이 변화하는 양상은 본 연구 결과와 거의 유사하게 진행되며³³⁾ 철 부족이 더 지속되면 철 결핍성 빈혈인 혈색소 감소를 볼 수 있을 것이다. 본 연구에서는 빈혈 유도 후 저철 (15 ppm)식 공급으로 철의 경계결핍이 유지된 상태로 파악되며 이때 과잉의 칼슘 공급은 빈혈을 유발

하지는 않았으나 철의 영양지표들은 손상되었다.

4. 철과 칼슘급여 수준에 따른 조직의 철과 칼슘 함량

간의 철 함량은 식이철 수준에 의해 유의적 영향을 받아 저철식이군이 정상철식이군의 65.3% 수준으로 낮았다 (Fig 1). 또한 칼슘급여 수준이 정상 이상으로 증가하였을 때 정상군과 저철식이군 모두에서 간의 철 함량이 유의적으로 감소하였다 (p < 0.01). 간은 철의 저장소로서 체내 철 영양상태를 반영한다. 따라서 본 실험결과로 철 경계 결핍시에 철 보충없이 칼슘만 보충되면 간의 철 저장력은 감소되어 철 영양상태가 더 악화될 수 있을 것으로 보여진다.

신장의 칼슘 함량은 식이칼슘 수준이 증가할수록 최대 2배까지 유의적 (p < 0.001)으로 증가하였다 (Fig. 2) 또한 정상

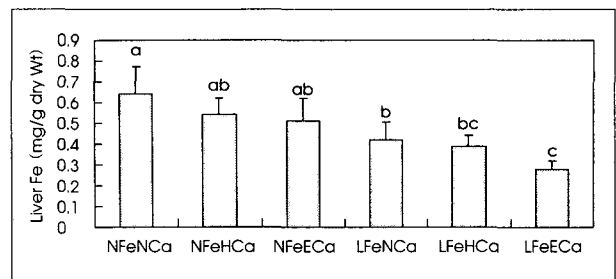


Fig. 1. Iron concentration in the liver of rats fed different level of calcium and iron: both Ca and Fe levels are significant factors for liver iron content by two-way ANOVA, Ca**, Fe***.

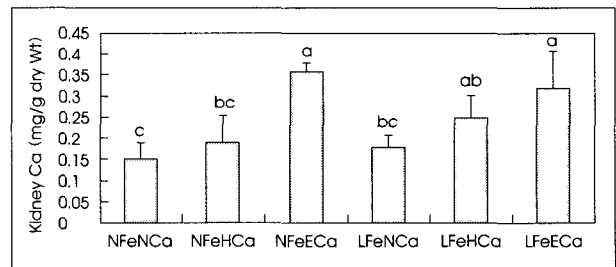


Fig. 2. Calcium concentration in the kidney of rats fed different level of calcium and iron: Ca level is a significant factor for kidney calcium content by two-way ANOVA, Ca***.

Table 4. The effect of dietary iron and calcium levels on the hemoglobin and iron status of rats

	Hemoglobin (g/dl)	Hematocrit (%)	TIBC ³⁾ (μg/dl)	Serum ferritin (ng/ml)	Transferrin Saturation (%)
NFeNCa	14.9 ± 1.1 ¹⁾	47.1 ± 3.7	331.0 ± 67.4 ^{ab}	7.61 ± 2.35 ^a	70.3 ± 6.9
NFeHCa	15.2 ± 0.3	46.7 ± 1.6	376.0 ± 26.1 ^a	5.46 ± 1.20 ^{ab}	79.7 ± 9.2
NFeECa	15.2 ± 0.3	46.5 ± 1.3	295.5 ± 69.9 ^b	4.79 ± 0.96 ^b	63.0 ± 18.0
LFeNCa	15.4 ± 0.4	48.1 ± 1.5	318.0 ± 70.3 ^b	4.55 ± 0.69 ^c	79.4 ± 17.7
LFeHCa	15.2 ± 0.7	47.7 ± 2.0	344.8 ± 85.8 ^{ab}	4.88 ± 0.78 ^b	73.3 ± 15.7
LFeECa	15.1 ± 0.4	47.4 ± 1.9	428.6 ± 32.5 ^a	5.15 ± 0.99 ^b	67.6 ± 16.8
Signif ²⁾	NS	NS	Ca × Fe*	Fe*, Ca × Fe*	NS

¹⁾Values are mean ± SE (n = 7 - 8)

²⁾Significance by 2-way ANOVA; Fe, Ca×Fe: effect of Fe level, interaction of Ca level and Fe level respectively, *p < 0.05, NS: Not significant

³⁾TIBC: Total iron binding capacity

의 2배 수준의 칼슘급여는 철의 결핍시에 신장의 칼슘 함량이 더 높은 경향을 나타내었으나 과량 (정상 3배)의 칼슘 섭취시에는 철의 결핍 영향이 나타나지 않았다. 이와 같은 경향은 선행 동물실험에서도 나타나 식이칼슘 수준이 반드시 신장의 칼슘 농도와 양의 상관관계를 나타내는 것은 아닌 것으로 보인다. 즉 식이칼슘이 본 연구와 같이 정상의 2~3배 수준으로 급여된 정상 쥐에서 신장의 칼슘 함량이 고칼슘군에서 유의적으로 높았다는 보고³⁴⁾가 있으나 빈혈모델 쥐에게 식이칼슘을 정상의 3~5배로 투여하였을 때 신장의 칼슘축적은 정상칼슘군보다 오히려 감소되는 경향을 보였다.³⁵⁾ 사람을 대상으로 한 관찰보고들도 칼슘의 섭취증가가 신결석을 유발하기 보다는 수산의 흡수를 저해하여 오히려 신결석을 감소할 수도 있다고 하여 다양한 생리적 상황에서 고칼슘섭취가 신장 기능에 다른 영향을 미칠 수 있을 것으로 보인다.

5. 철과 칼슘급여 수준에 따른 뼈의 성장과 강도

대퇴골의 무게, 길이는 Table 5에서 보는 바와 같이 군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 강도 역시 유의적인 차이를

보이지 않아 정상수준 이상의 칼슘을 보충해도 뼈의 성장과 강도에서 증가효과를 볼 수 없음을 나타낸다. 대퇴골의 칼슘함량은 식이 철과 칼슘 수준의 영향으로 철 수준이 낮고, 칼슘급여량이 정상수준의 2배 이상에서 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.01$).

어린 동물이 경우 식이칼슘 수준이 0~0.6% 사이에서는 칼슘수준 증가에 따라 뼈의 성장과 칼슘 축적이 증가되는 것으로 보였다.^{36,37)} 정상의 2~5배 칼슘공급은 정상,³⁹⁾ 난소절제,^{38,40)} 빈혈유도²⁹⁾ 실험동물에서 대퇴골의 무게와 길이로 본 성장에서는 본 연구결과와 같이 영향이 없었고 강도와 칼슘함량에서는 유의적 차이를 일관되게 보이지는 않았다. 일부 연구들은 본 연구와 같이 고칼슘급여가 뼈의 칼슘함량을 증가시켰다고 하였고³⁹⁾ 일부는 칼슘의 증가없이 강도만 유의적으로 증가하였다고 보고하였다.^{38,40)} 저 칼슘섭취는 성장기 뼈의 칼슘 축적을 줄이기⁴¹⁾ 때문에 성장이 완료되기 이전에 칼슘섭취 증가하는 것이 뼈의 무기질화를 도우고⁴²⁾ 최대 골밀도를 확보하는 좋은 방안이다. 그러나 적정 칼슘공급 수준과

Table 5. Femur bone growth, strength and calcium content of the rats fed different levels of calcium and iron

	Wet weight (g)	Weight (g/100 g BW)	Length (mm)	Breaking force (kg)	Ca (mg)	Ash (mg)
NFeNCa	0.87 ± 0.04 ¹⁾	0.37 ± 0.02	33.3 ± 0.4	8.90 ± 0.37	79.8 ± 4.1 ³⁾	310 ± 17 ^a
NFeHCa	0.84 ± 0.03	0.37 ± 0.02	32.4 ± 0.3	8.23 ± 0.53	91.1 ± 8.7 ^{ab}	290 ± 10 ^b
NFeECa	0.84 ± 0.05	0.36 ± 0.01	33.0 ± 0.6	8.37 ± 1.08	92.9 ± 11.2 ^{ab}	294 ± 15 ^{ab}
LFeNCa	0.87 ± 0.06	0.36 ± 0.02	33.5 ± 0.3	8.26 ± 0.78	91.2 ± 7.0 ^{ab}	298 ± 24 ^{ab}
LFeHCa	0.85 ± 0.05	0.37 ± 0.01	33.0 ± 0.8	8.16 ± 0.65	95.5 ± 11.1 ^c	297 ± 20 ^{ab}
LFeECa	0.86 ± 0.08	0.37 ± 0.02	33.3 ± 0.9	8.64 ± 0.80	99.9 ± 11.4 ^c	322 ± 27 ^c
Signif ²⁾	NS	NS	NS	NS	Ca**, Fe**	Ca × Fe*

¹⁾Values are mean ± SE (n = 7 - 8)

²⁾Significance by 2-way ANOVA: Ca, Fe, Ca×Fe: effect of Ca, Fe level, interaction of Ca level and Fe level, respectively, *p < 0.05,

***p < 0.01, NS: Not significant

³⁾Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Table 6. Apparent absorption of calcium in rats fed different levels of calcium and iron

	Intake (mg/d)	Fecal excretion (mg/d)	Urinary excretion (mg/d)	Apparent absorption ⁴⁾ (mg/d)	Apparent absorption ⁵⁾ (%)
NFeNCa	59.0 ± 23.4 ^{1)c3)}	26.9 ± 11.4 ^c	0.67 ± 0.4 ^c	32.1 ± 13.5 ^b	53.1 ± 8.0 ^a
NFeHCa	81.4 ± 16.2 ^{bc}	55.7 ± 20.0 ^{bc}	0.40 ± 0.1 ^c	24.7 ± 8.3 ^c	32.4 ± 17.1 ^b
NFeECa	159.4 ± 10.6 ^a	112.2 ± 22.7 ^a	1.75 ± 0.5 ^{ab}	47.2 ± 22.8 ^a	29.5 ± 13.7 ^b
LFeNCa	75.6 ± 13.1 ^c	39.5 ± 7.8 ^c	1.62 ± 0.6 ^b	36.1 ± 9.9 ^b	47.3 ± 7.8 ^a
LFeHCa	123.4 ± 11.1 ^b	87.5 ± 9.4 ^b	1.91 ± 0.8 ^a	35.9 ± 6.5 ^b	29.0 ± 4.3 ^b
LFeECa	169.4 ± 26.1 ^a	122.9 ± 20.2 ^a	1.60 ± 0.7 ^b	46.4 ± 13.4 ^a	27.2 ± 5.8 ^b
Ca ²⁾	***	***	NS	**	***
Fe	***	***	***	NS	NS
Ca × Fe	NS	NS	**	NS	NS

¹⁾Values are mean ± SE (n = 5 - 6)

²⁾P-values for factors (Ca, Fe) or interaction (Ca × Fe) are based on 2-way analysis of variance, significant as follows; ***p < 0.01,

***p < 0.001, NS: Not significant.

³⁾Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

⁴⁾Apparent absorption (mg/d): Intake (mg/d) - Fecal excretion (mg/d)

⁵⁾Apparent absorption (%): Apparent absorption (mg/d)/Intake (mg/d) × 100

여러 생리적 상황에서의 과도한 칼슘 공급에 대한 효용성은 현재의 실험결과들로는 제시하기 어렵다.

6. 철과 칼슘급여 수준에 따른 칼슘의 체내 흡수량 및 보유량

칼슘의 섭취량, 배설량 및 겉보기 흡수율 (apparent absorption rate)은 Table 6에 제시하였다. 칼슘의 겉보기 흡수량은 과 칼슘섭취로 정상군과 저철분 식이군 모두에서 유의적으로 증가하였고 (p < 0.01), 각 군의 흡수율은 27.2~53.1% 범위였다. 이는 저칼슘공급 (0.2~0.4%) 동물에서의 겉보기 흡수율보다는 낮은 값이며, 식이칼슘 수준이 정상 수준 이상으로 증가하였을 때 유의적 (p < 0.001)으로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 다른 선행연구에서도 보여져 사람을 대상으로 한 Matkovic 등의⁴³⁾ 실험에서 저 칼슘의 섭취가 대변 중 칼슘 배설량을 감소시켜 흡수율은 증가되었다고 하였다. 동물을 대상으로 한 국내 실험연구들은^{44,45)} 식이 중 칼슘 함량을 0.25~1.0% 공급한 칼슘 평형연구에서, 고칼슘군의 분변 칼슘 배설량이 저 칼슘군보다 유의적으로 높아 칼슘 배설량은 식이칼슘 수준에 영향을 받으며 흡수율은 저 칼슘군에서 증가된다고 하였다.

체내 칼슘 흡수율은 성장기, 임신기, 수유기등과 같이 체내 요구도가 높을 때와 지속적으로 칼슘섭취가 낮은 경우 증가된다.⁴¹⁾ 칼슘의 흡수는 칼슘섭취가 낮을수록 비타민D₃의 작용에 의해 능동적 흡수가 활발하게 이루어지지만, 고칼슘 섭취시에는 부갑상선 호르몬 분비와 비타민D₃의 생성억제로 칼슘흡수에서 능동적인 칼슘 흡수는 감소되고 주로 확산에 의한 흡수가 이루어지기 때문에 과량의 칼슘을 섭취할 경우 체내 이용율은 감소하게 된다 (Avioli).⁴⁶⁾ 이와 같은 생리적 조절로 과다한 칼슘으로 인한 유해성을 막을 수 있음과 동시

에 과량 투여의 효용성도 감소할 것으로 보인다.

7. 철과 칼슘급여 수준에 따른 철의 체내 흡수량 및 보유량

철의 섭취량, 배설량 및 흡수량은 Table 7에 제시하였다. 철 섭취량과 분변으로의 배설은 저철식이군에서 유의적 (p < 0.05)으로 낮았고, 칼슘수준의 영향을 받아 칼슘 수준이 증가할수록 분변으로의 철의 배설이 유의적으로 증가하였다 (p < 0.01). 대변으로의 철 배설량이 철 공급수준 증가에 따라 유의적으로 증가하는 경향은 사람에서도 나타난다.

철의 겉보기 흡수량은 식이 철 수준의 영향으로 정상군에 비해 저철식이군에서 유의적으로 낮았고 (p < 0.001), 특히 저철식이군에서 칼슘이 정상의 2배, 3배 급여된 군들에서는 음의 철 흡수량을 보였다. 이러한 철의 음의 균형은 사람을 대상으로 한 보고에서도 나타나 백희영⁴⁷⁾은 6.7 mg/일의 철 섭취량 중 대변으로 8.9 mg/일이 배설되었다고 보고하였다.

철의 겉보기 흡수율은 칼슘섭취 수준의 영향을 받아 칼슘섭취량이 증가할수록 정상군과 저철식이군 모두에서 유의적으로 감소하였다 (p < 0.001). 일반적으로 철 섭취량이 낮을 경우 철의 흡수율은 증가하는데, 본 실험결과는 저철식이군에서 철의 겉보기흡수율이 정상철식이군의 흡수율보다 낮은 결과를 보였으며, 이는 철결계결핍 상태에서의 고칼슘 섭취의 영향이 큰 것으로 보인다. 식이의 칼슘수준이 높아졌을 때 철의 흡수가 감소하였다는 선행 연구결과들과^{24,25,48)} 본 연구결과는 철 부족시 과량의 칼슘은 빈혈발생을 더 촉진할 수 있음을 시사한다.

과량의 칼슘은 소장에서의 철의 가용성을 감소시켜 점막 세포질 및 기저막을 통한 철의 점막 운반을 방해하는 (Wienk

Table 7. The effect of different levels of calcium and iron intake on apparent absorption of iron in rats fed different levels of calcium and iron

	Intake (mg/d)	Fecal excretion (mg/d)	Urinary excretion (μg/d)	Apparent absorption ⁴⁾ (mg/d)	Apparent absorption ⁵⁾ (%)
NFeNCa	0.36 ± 0.12 ^{1)a}	0.28 ± 0.09 ^{b3)}	48.0 ± 27.4 ^b	0.07 ± 0.04 ^a	23.3 ± 4.0 ^a
NFeHCa	0.24 ± 0.05 ^b	0.22 ± 0.09 ^{bc}	65.5 ± 21.8 ^{ab}	0.02 ± 0.05 ^a	11.1 ± 27.8 ^a
NFeECa	0.35 ± 0.10 ^a	0.37 ± 0.10 ^a	83.5 ± 3.5 ^a	-0.02 ± 0.05 ^{bc}	-10.1 ± 23.6 ^{bc}
LFeNCa	0.19 ± 0.03 ^c	0.18 ± 0.04 ^c	26.7 ± 11.9 ^c	0.01 ± 0.04 ^b	4.6 ± 20.7 ^b
LFeHCa	0.20 ± 0.05 ^c	0.24 ± 0.08 ^b	30.5 ± 12.3 ^{bc}	-0.04 ± 0.05 ^{bc}	-21.6 ± 25.6 ^{bc}
LFeECa	0.19 ± 0.03 ^c	0.26 ± 0.06 ^b	29.8 ± 10.2 ^{bc}	-0.06 ± 0.04 ^c	-32.4 ± 20.5 ^c
Ca ²⁾	NS	**	***	***	***
Fe	***	*	**	***	***
Ca × Fe	NS	NS	*	NS	NS

¹⁾Values are mean ± SE (n = 5 - 6)

²⁾P-values for factors (Ca, Fe) or interaction (Ca × Fe) are based on 2-way analysis of variance, significant as follows: *p < 0.05, ***p < 0.01, ****p < 0.001, NS: Not significant.

³⁾Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

⁴⁾Apparent absorption (mg/d): Intake (mg/d) - Fecal excretion (mg/d)

⁵⁾Apparent absorption (%): Apparent absorption (mg/d)/Intake (mg/d) × 100

등)³²⁾ 한편, 장 세포내의 마지막 운반단계에서 칼슘과 철의 경쟁적 저해가 있을 것으로 제안되었다.⁹⁾ 실험동물 (Wistar rat)에게 식이칼슘을 본 연구에 적용한 수준과 유사한 1.5~1.75% 수준으로 급여한 결과 정상철식이를 섭취한 군에서는 고칼슘식이로 인해 골수의 철 저장량이 감소하였으나, Hct과 혈청 철 함량은 유의적으로 감소하지 않은 반면, 철결핍식이를 섭취한 군에서는 고칼슘식이에 의해 혈청 철 함량 및 골수의 철 저장량이 유의적으로 감소함을 보고하였다.⁴⁶⁾ 본 연구결과와 이들의 연구는 장기간의 고칼슘식이가 동물의 철결핍을 유도하거나 가속화시킬 수 있음을 나타낸다.

동물실험에서 나타난 철흡수에 대한 칼슘의 저해적 영향을 뒷받침하는 임상실험들도 있다. 즉 Hulten 등⁴⁹⁾이 21명의 건강한 젊은 여성들을 대상으로 한 연구에서 칼슘함량이 증가할 때 철의 흡수가 크게 감소한다는 보고나 Hallberg 등¹⁰⁾이 유제품을 함께 섭취했을 때 철의 흡수가 절반이하로 감소된다는 보고는 본 연구결과와 함께 양적인 차이는 있으나 칼슘이 철의 흡수를 저해한다는 일관된 경향을 나타내었다고 볼 수 있다. 그러나 최근 14명의 성인을 대상으로 한 연구 (Reddy · Cook)에서는²⁵⁾ 1일 칼슘의 섭취가 280 mg에서 1,281 mg으로 증가하여도 비헴형 철의 흡수에는 아무런 영향도 미치지 못했다는 연구결과가 제시되었다. 또한, 칼슘의 섭취기간에 따른 철 흡수의 영향에 관해 Minhane · Fairweather-Tait는²⁷⁾ 건강한 성인에게 1200 mg/d의 칼슘을 단기간 보충시 철 흡수율이 유의적으로 감소하나, 같은 양의 칼슘을 장기간 보충시에는 혈액성상에 있어서 변화가 없음을 보고하여, 건강한 성인에 있어서 철의 흡수에 대한 칼슘 영향은 그 함량, 식이구성 및 섭취 기간 등에 따라 다른 것으로 보인다.

그러나 본 연구결과와 선행 연구결과들은 철 부족상태에서는 다량의 칼슘섭취는 혈액의 성상이나 철 저장에 부정적 영향을 미친 것으로 나타나 빈혈 인구 집단이 많은 현 상황에서 칼슘을 식품강화나 영양보충제에 과도하게 사용하는 점은 주의가 요구된다고 할 수 있다.

요약 및 결론

칼슘의 과다섭취가 철의 경계결핍상태에 있는 동물의 철의 생체이용성과 뼈의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위해 이유한 SD 암컷 흰쥐를 실험군은 3주간의 철 결핍식이 (8 ppm Fe)로 빈혈을 유도하였고 대조군은 정상 철식이 (35 ppm Fe)를 공급하였다. 이후 4주간은 2 × 3 factorial design인 철 수준은 정상 (35 ppm)과 저 (15 ppm)로, 칼슘 수준은 대조군과 철 부족군에 각각 정상 (0.5% Ca), 고

(1.0% Ca), 과잉 (1.5% Ca)으로 한 6종류의 실험식이를 각 군에 급여하고 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 초기체중은 저철식이군에서 유의적으로 낮았다. 식이 섭취량은 실험군 간에 차이가 없었으나 체중증가량은 철 수준의 영향으로 정상군에 비해 저철식이군에서 높게 나타나, 결과적으로 전체 식이효율에 있어서 저철식이군에서 높았다.

2) Hb, Hct은 칼슘과 철 수준에 따른 군 간에 유의적인 차이가 없었고, 혈청 페리틴의 경우 식이 철 수준에 영향을 받아 저철식이군에서 정상군에 비해 낮았다. TIBC는 칼슘과 철 수준에 따른 유의적인 차이는 없었으나, 칼슘과 철의 상호작용 (Ca · Fe)의 영향으로 유의적인 차이를 보여 저철식이군에서 식이칼슘 수준증가에 따라 TIBC는 증가하는 경향을 보였다. 트랜스페린 포화도는 칼슘과 철 수준에 따른 차이는 보이지 않았다.

3) 간의 철 함량은 정상철식이군에 비해 저철식이군에서 낮게 나타났으며 신장의 칼슘함량은 식이칼슘 수준이 정상의 2배, 3배로 증가할수록 증가하였다. 대퇴골의 무게와 길이는 군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 강도 역시 군 간에 차이를 보이지는 않았으나, 대퇴골의 칼슘함량은 식이 철과 식이칼슘 수준의 영향으로 철 수준이 낮을 때 높았고, 칼슘 함량이 정상보다 2배 이상 높을 때 더 높게 나타났다.

4) 칼슘의 겔보기흡수량은 급여칼슘 수준이 정상의 3배로 증가했을 때 정상군과 저철식이군 모두에서 증가하였으나, 칼슘의 겔보기흡수율은 식이칼슘 수준이 증가했을 때 감소하였다. 철의 분변 중 배설량은 급여칼슘 수준의 영향을 받아 칼슘 수준이 정상 이상일 때 배설이 증가하여, 철의 겔보기 흡수율은 칼슘 수준이 증가할수록 정상군과 저철식이군 모두에서 감소하였다.

이상과 같은 결과는 철 경계결핍시에 칼슘의 과다급여는 혈액 TIBC와 트랜스페린 포화도에 부정적인 영향을 미친 것으로 보이며, 철 결핍에 민감한 혈청 페리틴을 유의적으로 감소시켰다. 간의 철 저장량이 감소되고, 철 흡수가 크게 감소됨으로 철 경계결핍시에 칼슘의 과다 섭취는 철 결핍성 빈혈을 더욱 가속화시킬 수 있을 것으로 보여진다. 또한, 칼슘의 과다섭취는 철이 부족한 영양상태에서 신장에 칼슘축적을 불러 올 수 있는 것으로 보여 신장기능의 저하도 우려된다. 따라서 철 결핍시에 칼슘의 과다보충은 철 영양상태를 더욱 악화시키고, 칼슘과잉으로 인한 부작용은 더 심화시킬 수 있을 것이다. 또한 칼슘의 과다급여는 철 영양상태와는 관계없이 뼈의 성장과 강도에 영향을 주지 않았으나 대퇴골 칼슘함량은 증가되었다. 따라서 정상수준의 철과 칼슘을 섭취하고 있는 성장기에 있어서는 뼈의 강도 증가를 위해서 과도한 칼슘의 보충은 필요하지 않을 것으로 보인다. 그러나

칼슘섭취 증가에 따른 골 칼슘함량 증대가 노화로 인한 골다공증의 예방에 유리하게 작용할지는 장기간의 실험을 통해서 검증되어야 할 과제이다.

Literature cited

- 1) Korean Health Industry Development Institute/Ministry of Health and Welfare. 2001 National health and nutrition survey report. 2003
- 2) Korean Society of Nutrition. Korean Recommended Dietary Allowances 7th Rev. 2000
- 3) Son SM, Park SH. Nutritional status of iron, zinc and copper of preschool children residing in low-income area of seoul. *J Community Nutr* 4 (1) : 3-9, 1999
- 4) Son SM, Jung HY. The Effect of iron supplementation on the hematological iron status and Pb and Cd Levels in erythrocyte, hair and urine of subjects with suboptimal iron status. *Korean J Nutrition* 31 (7) : 1165-1173, 1998
- 5) Kye SH, Paik HY. Iron nutriture and related dietary factors in apparently healthy young Korean women (1): comparison and evaluation of blood biochemical indices for assessment of iron nutritional status. *Korean J Nutrition* 26(6) : 692-702, 1993
- 6) Yu KH, Yoon JS, Hahm YS. A Cross-sectional study of biochemical analysis and assessment of iron deficiency by gestational age (II) 32(8) : 887-896, 1999
- 7) Oppenheimer SJ. Iron and its relation to immunity and infectious disease. *J Nutr* 131 : 616s-635s, 2001
- 8) Ziegler EE, Filer LJ. Present knowldge in nutrition. 8th Ed. KNS/ILSI, 2003
- 9) Cook JD, Dassenko SA, Whittaker P. Calcium supplementation: effect on iron absorption. *Am J Clin Nutr* 53: 106-111, 1991
- 10) Hallberg L, Brune M, Erlandsson M, Sandberg AS, Rassander-Hulthen L. Calcium: effect of different amount on nonheme and heme-iron absorption in humans. *Am J Clin Nutr* 53: 112-119, 1991
- 11) Heaney RP. Nutritional factors in osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 13: 287-366, 1993
- 12) Lawrence MR. Dietary calcium and hypertension. *J Nutr* 117: 1806-1808, 1987
- 13) NIH Consensus Statement. Optimal calcium intake. *J Am Med Assoc* 272: 1942-1948, 1994
- 14) Chang SO. A study of the nutrition information on the labels of vitamin-mineral supplements and consumer use of this information in Korea. *Nutritional Sci* 4(1) : 55-62, 2001
- 15) Kim SH. Patterns of vitamin/mineral supplements usage among the middle-aged in Korea. *Korean J Nutrition* 27(3) : 236-252, 1994
- 16) Song BC, Kim MK. Patterns of vitamin/mineral supplements usage by the elderly in Korea. *Korean J Nutrition* 30(2) : 139-146, 1997
- 17) Chang (Hong) SO. Current status of nutrient fortification in processed foods and nutrition labeling. *J Korean Dietet Assoc* 4 (2) : 160-167, 1998
- 18) Chang (Hong) SO. Current status of nutrient fortification in processed foods and food fortification policies in other countries. labeling. *J Korean Dietet Assoc* 5 (2) : 205-214, 1999
- 19) Teegarden D, Weaver CM. Calcium supplementation increases bone density in adolescent girls. *Nutr Rev* 52(5) : 171-173, 1994
- 20) Rigg RR, O'Fallon WM, Muse H, O'Conner MK, Melton LH III. Long term effects of calcium supplementation on serum PTH, bone turnover, and bone loss in elderly women. *J Bone Miner Res* 11: S118, 1996
- 21) Smith EL, Gilligan C, Smith PE, Sempos CT. Calcium supplementation and bone loss in middle-aged women. *Am J Clin Nutr* 50: 833-842, 1989
- 22) Nials L, Christiansen C, Rodbro P. Calcium supplementation and postmenopausal bone loss. *Brit J Med* 289: 1103-1109, 1984
- 23) O JH, Lee YS. Effects of dietary calcium levelson the reduction of calcium availability in ovariectomized osteoporosis model rats. *Korean J Nutrition* 26 (3) : 277-286, 1993
- 24) Cook JD, Dassenko SA, Whittaker P. Calcium supplementation: effect on iron absorption. *Am J Clin Nutr* 53: 106-111, 1991
- 25) Reddy MB, Cook JD. Effect of calcium intake on nonheme-iron absorption from a complete diet. *Am J Clin Nutr* 65: 1820-1825, 1997
- 26) Sokoll LJ, Dawson-Hughes B. Calcium supplementation and plasma ferritin concentrations in premenopausal women. *Am J Clin Nutr* 56: 1045-1048, 1992
- 27) Minihane AM, Fairweather-Tait SJ. Effect of calcium supplementation on daily nonheme-iron absorption and long-term iron status. *Am J Clin Nutr* 68: 96-102, 1998
- 28) Lynch SR. Iron overload-Prevalence and impact on health. *Nutr Rev* 53: 255-260, 1995
- 29) Lee YS, Lee JH. Effect of calcium and iron loading on bioavailability of minerals in normal and Ca/Fe-deficient rats. *Korean J Nutrition* 32 (3) : 248-258, 1999
- 30) Peterson GL. *Anal Biochem* 83: 346-356, 1995
- 31) Pinero DJ, Li NQ, Connor JR, Beard JL. Variation in dietary iron alter brain iron metabolism in developing rats. *J Nutr* 130: 254-263, 2000
- 32) Wienk KJH, Marx JJM, Lemmens AG, Brink EJ, Van der Meer R, Beynen AC. Mechanism underlying the inhibitory effect of high calcium carbonate intake on iron bioavailability from ferrous sulfate in anemic rats. *Br J Nutr* 75: 109-120, 1996
- 33) Cook JD, Finch CA. Assessing iron status of a population. *Am J Clin Nutr* 32: 2115-2119, 1979
- 34) Choi MK, Jun YS. Effects of Ca Intake Levels on Mg Utilization in Rats of Different Ages. *Korean J Nutrition* 31 (9) : 1404-1410, 1998
- 35) Lee JH, Lee YS. Effect of excess calcium and iron supplementation on bone loss, nephrocalcinosis and renal function in osteoporotic model rats. *Korean J Nutrition* 33 (2) : 147-157, 2000
- 36) Kochanowski BA. Effect of calcium citrate-malate on skeletal development in young growing rats. *J Nutr* 120: 876-881, 1990
- 37) Chang, SO. A study on the calcium bioavailability of eggshell powder in the growing rats. *Korean J Nutrition*, 36 (7) : 684-690 2003
- 38) Kim EM, Lee YS, Chang YK. Effect of ovariectomy and dietary calcium levels on bone metabolism in rats fed high calcium during the growth period. *Korean J Nutrition* 32 (2) : 150-157, 1999

- 39) Jeong HY, Kim JY, Lee HS, Kim JY. The effect of dietary calcium and phosphate levels on calcium and bone metabolism in rats. *Korean J Nutrition* 30(7): 813-824, 1997
- 40) Lee YS, Kim EM. Effect of ovariectomy and dietary calcium levels on bone metabolism in rats fed low calcium diet during the growth period. *Korean J Nutrition* 31(3): 279-288, 1998
- 41) Donahue HJ, Mazzeckl RS, Horvath SM. Endurance training and bone loss in calcium deficient and ovariectomized rats. *Metabolism* 37: 741-744, 1988
- 42) Peterson CA, Eurell JO, Ann C, Erdman JR. Alterations in calcium intake on peak bone mass in the female rat. *J Bone Miner Res* 10: 81-95, 1977
- 43) Matkovic V, Fontana D, Tominac C, Goel P, Chesnut III CH. Factors that influence peak bone mass formation: A study of calcium balance and the inheritance of bone mass in adolescent females. *Am J Clin Nutr* 52: 878-888, 1990
- 44) Lee JH, Moon SJ, Huy KB. Influence of Phytate and Low Dietary Calcium on Calcium, Phosphate and Zinc Metabolism by Growing Rats. *Korean J Nutrition* 26(2): 145-155, 1993
- 45) Sung CJ. Effects of calcium intake on calcium, sodium and potassium metabolism in young and adult female rats. *Korean J Nutrition* 28(4): 309-320, 1995
- 46) Avioli LV. Calcium and osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 4: 471-491, 1984
- 47) 백희영. 정상식이를 섭취하는 우리나라 성인 여성들의 주요 무기질 대사에 관한 연구. 숙명여자대학 논문집 28: 549-563 1988
- 48) Barton JC, Conrad ME, Parmley RT. Calcium inhibition of inorganic iron absorption in rats. *Gastroenterology* 84: 90-101, 1983
- 49) Hulthen L, Gramatkovski E, Gleerup A, Hallberg L. Iron absorption from the whole diet relation to meal composition, iron requirement and iron stores. *Eur J Clin Nutr* 49(11): 794-808, 1995