지 역 사 회 영 양 학 회 지 3(2) : 218~227, 1998
Korean J Community Nutrition 3(2) : 218~227, 1998

한국 젊은 여성의 단백질 및 칼슘 섭취 수준이 체내 철분 및 아연 평형에 미치는 영향

남기선† · 김경원* · 구재옥** · 최혜미

서울대학교 생활과학대학 식품영양학과
서울여자대학교 자연과학대학 영양학과*
한국방송통신대학교 가정학과**

Effects of Dietary Protein and Calcium Levels on Iron and Zinc Balance in Young Korean Women

Kisun Nam,† Kyungwon Kim,* Jaeok Koo, Haymie Choi**

Department of Food and Nutrition, Seoul National University
Department of Nutrition, Seoul Women's University*
*Department of Home Economics,** Korea Air and Correspondence University**

ABSTRACT

This study was performed to investigate the effects of dietary protein and calcium levels on iron and zinc balance in eight healthy Korean young women. The 20-day metabolic study consisted of a 2-day adaptation period followed by three 6-day experimental periods. Three experimental diets were the low protein-low calcium(LProLCa ; protein 44g, Ca 422mg), the high protein-low calcium(HProLCa ; protein 85g, Ca 365mg) and the high protein-high calcium (HProHCa ; protein 84g, Ca 727mg). Apparent absorption and balance of iron and zinc were significantly higher when subjects were fed high protein-low calcium diet than low protein-low calcium diet. The elevation of dietary calcium significantly depressed the apparent absorption of iron and zinc. The levels of serum iron and zinc were likely to be increased with a high protein diet, but the differences were not significant. There was a strong correlation($r=0.99$) between the iron intake and serum iron concentration. Serum zinc concentration was not correlated with hair zinc. Study results revealed that the levels of dietary protein and calcium influence iron and zinc balance in Koreans. This study suggests that dietary recommendations for trace minerals, such as iron and zinc, should be carefully examined. In addition, there is a need to evaluate the bioavailability of milk or beverage products enriched with calcium and iron. (*Korean J Community Nutrition* 3(2) : 218~227, 1998)

KEY WORDS : dietary protein · dietary calcium · iron · zinc · balance.

†**Corresponding author** : Kisun Nam, Department of Food and Nutrition, Seoul National University, San 1, Silim-Dong, Kwanak-Ku, Seoul 151-010, Korea
Tel : 02) 880-8767, Fax : 02) 884-0305

서 론

철분이나 아연은 체내에 각각 3~4g, 1.5~2.5g 정도 소량 존재하며 그 필요량도 적은 미량 무기질이지만 인체의 생명 유지에 필수적인 영양소이다. 철분의 결핍은 전세계적인 영양문제일 뿐만 아니라(WHO 1988) 우리나라에서도 1995년도 국민영양조사(보건복지부 1997) 결과에 의하면 아직도 17세 이상의 여성의 경우 34.3%, 그리고 남성의 63.8%가 적정 수준 이하의 헤모글로빈 함량을 나타내는 높은 빈혈 빈도를 보이는 등 한국인의 철분 영양상태는 아직 좋지 않은 것으로 추정된다.

철분은 현재까지 알려진 영양소 중에서 흡수율이 가장 낮아 건강한 성인의 경우 대개 섭취한 양의 10~20 % 정도만이 십이지장과 소장의 상부에서 흡수된다(Forth & Rummel 1973). 철분의 평형은 식품 중에서 섭취한 양과 대변 및 뇨 등으로 배설된 양의 차이로 설정되는데 일단 체내에 흡수된 철분은 매우 효율적으로 사용되고, 정상적인 경우에는 아주 소량만 배설되므로 체내 철분 평형에 가장 많은 영향을 주는 것은 바로 흡수되는 철분의 양이다(Bowering & Sanchez 1976 ; van Campen 1974 ; Refsum & Schreiner 1984). 철분의 흡수에 영향을 주는 인자들로는 식품 중에 들어있는 철분의 양 및 형태(헴철, 비헴철)와 철분의 체내 이용률에 영향을 줄 수 있는 여러 식이요소들, 그리고 인체의 철분 보유 상태 등을 들 수 있다(Hallgerg 1981 ; Morris 1983). 이러한 요인들 중 본 연구의 변인요소인 단백질과 칼슘이 주는 영향에 대해서도 많은 연구가 이루어져서 일반적으로 단백질은 철분의 흡수를 증진시킨다고 여겨진다(Cook & Monsen 1976 ; Layrisse 등 1969 ; Monsen & Cook 1979). 그러나 실험에 따라서는 상반된 결과(Abernathy 등 1965 ; Layrisse 등 1968 ; Martinez-Torres & Layrisse 1970 ; Reddy & Cook 1997)가 보고되고 있어 이에 대한 영향은 아직도 확실하지 않은 상태이다.

소장 점막 세포의 세포막에 존재하는 철분수용체는 어떤 단백질인지 정확하게 알려지지는 않았지만 대부분의 무기질들이 흡수과정에서 수용체를 공유하여 경쟁적으로 흡수되기 때문에 소장내 존재하는 칼슘이나 아연 등의 함량이 높으면 철의 흡수가 저해될 수 있다(Whiting 1994 ; Fairweather-Tait 1995 ; Shackelford 1994). 그렇지만 Hallberg 등(1992)은 실험을 통해 칼슘의 철분 흡수 저해작용이 장관내에서 일어나는 것이 아닐 수 있다고 제시하여 철분 흡수와 관련된 칼슘의 영향에 대해서는 아직 더 많은 연구가 필요한 실정이다.

인체에서 아연의 결핍증이 보고된 것은 그리 오래된 일이 아니며 아연의 결핍으로 인해 성장지연, 생식기 부전 왜소증, 피부질환, 간경화증, 철 결핍시의 증상, 상처회복의 지연, 미각감퇴증, 식욕저하 등이 나타났다고 한다(Aggett & Comerford 1995). 아연은 이와같은 광범위한 결핍증세를 나타낼뿐만 아니라 생체 내 200여종 이상 되는 효소의 구성성분으로 작용하는 것으로 알려져 그 기능과 함께 중요성이 강조되고 있다. 철분과 마찬가지로 아연의 생체이용률은 식이의 구성요소(단백질, 섬유소, 피틴산, 무기질)에 영향을 받는다. 이중 특히 단백질(Blendis 등 1981 ; Colin 등 1982 ; Snedecker & Greger 1983), 칼슘(Forbes 등 1984 ; Snedeker 등 1982 ; Spencer 등 1979)의 영향에 대해서는 많은 관심이 주목되어 왔다. 이러한 연구들은 아연의 필요량이 식이의 단백질과 칼슘 등 다른 영양소의 섭취 수준에 따라 달라질 수 있음을 제시하고 있는 것이다. 그러나 이제까지의 연구는 단백질 특히 동물성 단백질과 칼슘의 섭취량이 우리 나라보다 훨씬 많은 외국에서 그들의 섭취상태를 고려하여 행하여졌으므로 이들의 연구 결과를 섭취 상태가 다른 우리 실정에 그대로 적용하기는 어렵다. 그리고 우리 나라에서는 아직 아연의 대사 실험도 거의 전무한 상태여서 아연에 대한 기초 연구가 요구되는 상태라고 생각한다.

그러므로 본 연구에서는 철분 결핍의 위험도가 높은 시기 중의 하나인 가임기의 젊은 여성을 대상으로 하여 단백질과 칼슘의 수준을 현재의 영양권장량인 60g, 700 mg보다 낮은 수준(40g 단백질, 400mg 칼슘)에서 이보다 조금 높은 수준(80g 단백질, 800mg 칼슘)으로 단백질 및 칼슘의 섭취를 증가 시켰을 때 이들 두 요인이 체내의 철분 및 아연 평형에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

조사 대상 및 방법

1. 실험 설계 및 실험대상자

8명의 건강한 성인 여성을 실험대상자로 하여 단백질 및 칼슘 섭취 수준의 변화에 따른 철분과 아연 대사 실험을 실시하였다. 총 20일간의 실험기간 중 첫 2일은

적응기간으로 하고 다음은 6일씩 세 기간 동안 열량은 같고 단백질, 칼슘 수준이 다른 세종류의 실험식이를 각각 공급하였다.

첫째 기간에는 저단백저칼슘식이(Low Protein-Low Calcium Diet : LProLCa), 둘째 기간에는 고단백저칼슘식이(High Protein-Low Calcium Diet : HProLCa)와 셋째 기간에는 고단백고칼슘식이(High Protein-High Calcium Diet : HProHCa)로 이행하여 제공하였다.

사정상 첫째 기간동안 불참한 2명을 제외하고 모든 실험대상자들은 3가지 실험식이를 모두 섭취하였으며 각 식이는 3가지 식단으로 이루어져 3일간의 메뉴 주기를 갖도록 하였다. 각 식이 기간의 마지막 3일의 대변 및 뇨를 수집하여 분석에 사용하였고 각 식이 기간이 끝난 후 혈액을 채취하였다.

본 실험대상자는 대사성 질환이 없는 건강한 8명의 지원자에 의해 구성되었으며 이들의 평균 나이는 24세였으며 체중은 50.3kg, 신장은161.0cm이었다. 각 대상자는 매일 식전에 배뇨, 배변토록 하고 아침 식사 전에 체중을 측정하였으며 실험 기간 중 불편 유무를 수시로 확인하였으며 실험에 관한 충분한 목적과 의의를 설명하고 실험대상자로서의 의무를 성실히 이행하도록 사전교육을 실시한 후 실험을 시행하였다.

2. 실험식이

실험대상자들이 섭취한 식이는 단백질과 칼슘의 함유 수준이 다르게 작성된 3가지의 기본 식단에 준한 것이었다(구재옥 · 최혜미 1988). 기본 식단은 식품분석표와 한국인 영양권장량(1995)에 수록된 식품분석표에 의해서 작성하였다. 5가지 기초식품군을 기준으로 하여 한국인의 상용식품을 주로 선택하였으며 식습관도 함께 고려하여 구성하였다. 식품 무게는 조리 전 식품의 가식부 중량을 기준으로 하였고 식품의 세척 및 조리수는 모두 이온제거수를 사용하였으며 조리에 필요한 기구 및 식기류는 될 수 있는 대로 1회용 플라스틱 그릇을 사용하였는데 사용 전후에 이온제거수로 여러 번 헹구었다. 실험대상자들의 모든 식수도 이온제거수로 무제한 공급하였고 실험대상자들은 식수섭취량을 기록하여 보고함으로써 실험에 참고가 되도록 하였다.

각 실험식이의 열량과 단백질 및 칼슘, 철분, 아연의 함량은 Table 1과 같다. 저단백저칼슘식이에서 고단백저칼슘식이로 이행함에 따라서 동물성 단백질이 17g에서 39g으로 늘어났고 동물성 단백질의 비율은 39%에서 48%로 높아졌으며 고단백고칼슘식이는 동물성 단백질이 54g이며 비율은 63%로 구성되었다.

3. 분석 방법

실험 기간 동안에 준비된 실험식이와 실험대상자들의 혈액, 대변, 뇨를 다음과 같이 수집하여 분석에 사용하였다.

1) 시료 수집

식이는 각 실험 기간 동안에 섭취한 식이의 1일분을 같은 양 준비하여 혼합, 분쇄한 후 밀봉, 냉동 보관하여 열량, 단백질, 칼슘, 철분 및 아연 분석에 사용하였다. 혈액은 각 실험식이 첫째날에 공복 혈액을 채취한 후 원심 분리하여 혈청을 분리하고 분석시까지 냉동 보관하였다. 대변 시료는 각 실험기간의 후반 3일간의 대변을 수집하였는데 식이 구분을 위하여 각 식이 기간 4일째 아침 식사 전에 marker로 식용색소(Food color, sky blue)를 복용하였다. 수집된 3일의 대변의 중량을 기록하고 혼합하여 일부를 냉동 보관하여 분석에 사용하였다. 실험식이의 후반 3일간 매일 24시간의 뇨를 수집하였다. 수집된 뇨를 혼합하여 총량을 기록하고 진한 HCl 용액 0.5ml가 들어 있는 100ml 들이 폴리에틸렌병에 넣어 냉동 보관하였다.

수집과 분석시에 사용한 모든 기구는 세척 후 0.5N HNO_3 용액에 24시간 담갔다가 이온제거수로 3번 이상 헹구어 사용하였다.

2) 시료 분석

식이의 일부분을 80℃ 오븐에서 함량에 도달할 때까지 건조시키고 다시 공기중에 두어 공기 건조시킨 후 열량은 Ballistic bomb calorimeter(CBB 330-030 F)로, 단백질은 micro-kjeldahl법(Bauer 등 1974)으로 측정하였다. 식이의 칼슘은 건식회화법(유태종 등 1983)으로 회화시킨 후 HCl을 넣어 용해시킨 후 10% $LaCl_3$ 용액으로 희석시켜(Osborne & Voogt 1978) Atomic Absorption(AA) Spectrophotometer(Yanaco, Ash-Jarrel Model)로 422.7nm에서 측정하여 구하였다. 식이의 철분은 칼슘 분석시와 비슷한 방법으로 재료를 준비한 후 Inductively Coupled Plasma(ICP) emissim spectrometry를 이용하여 측정하였다. ICP 기종은 Inductively Coupled Plasma Quantorecorder(Shimadzu, ICPQ 1000)를 사용하였다. 식이의 아연은 시료를 건조 · 탄화, 회화시킨 후 Osis 등(1972)의 방법에

의거하여 AA spectrophotometer로 213.8nm에서 흡광도를 측정하고 그 함량을 계산하였다.

대변의 철분 및 아연은 식이 시료와 같은 방법으로 시료를 준비하여 같은 조건에서 각각 ICPQ와 AA를 이용하여 그 함량을 구하였다.

뇨의 철분은 Zettner & Mansbach(1965)이 사용한 방법에 의하여, 아연은 Fuwa 등(1964)의 방법에 따라 AA로 측정하였다.

혈청의 철분은 산성 pH에서 ferrous iron이 ferrozine과 반응하여 발색물질을 형성하는 것을 이용하는 방법(Sigma)을 사용하여 560nm에 spectrophotometer로 흡광도를 측정하여 구하였으며, 혈청의 불포화철분결합능력(unsaturated iron binding capacity UIBC)을 위와 비슷한 방법으로 분석하여 이로부터 총철분결합능력(total iron binding capacity, TIBC) 및 포화도(saturation %)를 산출하였다. 혈청의 아연은 Masuda & Oromi(1980) 등의 방법에 따라 ICPQ로 측정하여 함량을 계산하였다.

두발의 아연 함량은 실험식이가 끝난 직후 머리 안쪽 부분의 모근과 가까운 부분을 잘라 Erten 등(1978)의 방법을 변형하여 AA로 측정하여 구하였다.

3) 통계 분석

본 연구의 모든 실험 결과는 각 실험식이별로 평균치, 표준편차를 구하고 각 식이별 차이에 대한 유의성은 ANOVA F-test 및 Student's t-test로 검증하였다. 실험식이의 섭취량, 배설량, 평형, 흡수량 등 각 변수의 관련성은 Pearson's moment product correlation coefficients(r)와 회귀분석을 사용하였으며 SAS를 이용하여 분석하였다.

실험 결과 및 고찰

실험 기간 동안 별다른 신체적 변화를 느끼거나 불편을 호소하는 사람은 관찰되지 않았으며 실험대상자들의 체중은 거의 변화없이 전기간을 통해 일정하였다.

1. 실험식이

냉동 보관해 두었던 실험식이로 분석한 열량, 단백질, 칼슘, 철분 및 아연(Table 1)은 계산치와는 다소 차이가 있으나 실험 자체에 영향을 주는 정도는 아니었다. 이에 따라 흡수량과 평형에 관련된 모든 자료의 계산은 본 실험에서 얻어진 분석치를 사용하였다.

2. 철분의 평형

단백질과 칼슘 섭취 수준이 대변과 뇨 중의 철분 배설량과 흡수량(apparent absorption) 및 철분 평형(iron balance)에 미치는 영향은 Table 2와 같다.

대변을 통해 배설된 철분의 양은 각 기간을 통해 그

Table 1. Comparison of nutrient contents of the experimental diets by calculation[1] and by analysis

Diet	Calorie(kcal)		Protein(g)		Ca(mg)		Fe(mg)		Zn(mg)	
	Calculated	Analyzed	Calculated	Analyzed	Calculated	Analyzed	Calculated	Analyzed	Calculated[3]	Analyzed
LProLCa	1903.9[2] ±24.7	1962.9 ±50.5	44.49 ±2.94	44.02 ±3.38	437.98 ±23.86	422.11 ±87.12	10.87 ±4.64	10.98 ±4.61	6.95 ±2.66	6.84 ±2.91
HProLCa	1945.3 ±89.8	2179.4 ±108.4	81.13 ±4.22	84.92 ±1.16	413.28 ±2.89	365.24 ±68.67	16.08 ±2.70	14.24 ±1.83	10.95 ±2.41	9.87 ±1.73
HProHCa	1952.2 ±27.8	2020.8 ±122.1	82.96 ±2.87	85.58 ±1.05	759.47 ±60.29	726.78 ±58.05	14.48 ±4.45	13.18 ±2.89	11.60 ±2.59	9.11 ±1.69

1) by food composition table
2) mean±SD(mean of 3 menus of each experimental diet period)
3) Zn content was calculated by "Food values of Portions commonly used" (1980)
LProLCa : Low Protein-Low Calcium HProLCa : High Protein-Low Calcium HProHCa : High Protein-High Calcium

Table 2. Effect of dietary protein and calcium on iron excretion and balance (mg/day)

Diet	Intake	Fecal excretion	Urinary excretion	Apparent absorption	Balance
LProLCa	10.98±2.66[1]	8.17±0.56	0.08±0.02	2.81±0.56	2.71±0.56
HProLCa	14.24±1.06	8.54±0.69	0.06±0.01	5.69±0.69^{++}	5.63±0.69^{++}
HProHCa	13.18±1.67	11.55±0.91*	0.06±0.01	1.64±0.91**	0.58±0.91**

Apparent absorption=Fe intake-fecal Fe Excretion
Balance=Fe intake−(fecal+urinary excretion)
LProLCa : Low Protein-Low Calcium
HProLCa : High Protein-Low Calcium
HProHCa : High Protein-High Calcium
1) mean±SE(mg/day)
$^{++}$significantly different from LProLCa diet, $p<0.01$
*significantly different from HProLCa diet, $p<0.05$
**significantly different from HProLCa diet, $p<0.01$

섭취량에 대해 각 74%, 60%, 88%였으며 뇨로 배설되는 양은 전 기간을 통해 전체 배설량의 1% 이하였다. 대변으로 손실되는 철분의 양이 고단백고칼슘식이일 때 다른 식이에 비해 40% 정도 증가되었는데 이와 같은 변화는 특히 철분의 섭취량이 거의 같은 두 기간(고단백저칼슘식이와 고단백고칼슘식이)에서 식이를 통해 증가된 칼슘의 양에 기인한다($p<0.05$). 전기간에서 뇨로 배설되는 철분의 양이 큰 차이없이 일정하게 적은 것으로 보아 섭취되거나 일단 흡수된 철분 중에서 뇨로 배설되는 철분의 양은 아주 소량임을 확인할 수 있었다.

철분의 흡수량 및 평형은 고단백저칼슘식이를 섭취했을 때 저단백저칼슘식이에 비해 유의적으로 증가하였는데($p<0.01$) 이러한 변화는 고단백식이에 의한 효과로 볼 수 있고(Fig. 1), 칼슘의 섭취량이 두 배 증가한 고단백고칼슘식이는 고단백저칼슘식이에 비해 철분의 흡수량 및 평형이 모두 유의적으로($p<0.01$) 감소하였다(Fig. 2). 이러한 결과는 일반적으로 단백질(특히 동물성 단백질)이 철분의 흡수를 증가시킨다는 여러 보고들(Cook & Monsen 1976 ; Layrisse 등 1984)과 일치한다. 본 실험에서는 육류 단백질(어류, 가금류 포함)은 저단백저칼슘식이일 때 6.67g인 데 반해 고단백저칼슘식이에서는 22.37g으로 3배 정도 증가하였고 이에 따라 철분의 흡수 및 평형이 증가된 것을 설명할 수 있다. 또한 실험 식이 구성상의 어려움으로 인해 저단백저칼슘식이에 비해 고단백저칼슘식이 때에 철분의 함량이 다소 많았던 것의 영향도 있을 것으로 여겨진다. 즉, 본 실험에서 섭취량자체에 유의적인 차이가 있지는 않았지만 섭취하는 철분이 많게 되면 흡수되는 절대량도 많아지기 때문이다(van Campen 1974). 그러나 섭취량의 차이가 고려된 흡수율로 계산해 보면 저단백저칼슘식이, 고단백저칼슘식이, 고단백고칼슘식이 기간에 각각 25.6±5.1%, 40.0±4.8%, 12.4±6.9%로 절대적인 흡수량 뿐만 아니라 흡수율도 고단백저칼슘식이에 증가했으므로 단백질 수준이 철분의 흡수에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

본 실험 결과에서 볼 수 있듯이 칼슘 섭취 수준이 높아졌을 때 철분의 흡수가 저해된 것은 앞서 발표된 몇 가지 연구들(Barton 등 1983 ; Monsen & Cook 1976 ; Snedeker 등 1982)과 같았다. 이들 연구는 칼슘 뿐 아니라 인의 섭취 수준에 의해서도 철분의 흡수가 영향을 받을 수 있다고 지적했으나 본 연구에서는 인의 섭취 수준(1,100~1,400mg)은 일정한 상태에서 칼슘의 양만 증가시켜 주었으며 섭취한 인의 양도 다른 연구(Snedeker 등 1982)에서 사용된 중간 수준(800~1,500mg)에 해당되므로 인에 의한 영향은 크지 않을 것으로 생각한다. 따라서 식이 구성 자체가 칼슘 함량을 제외하고는 거의 같은 고단백고칼슘식이일 때 고단백저칼슘식이 기간보다 철분의 흡수량이 감소된 것은 칼슘의 영향이라고 말할 수 있다.

이러한 결과는 다른 보고들과도 일치하고 있다. Hulten 등(1995)은 21명의 건강한 젊은 여성을 대상으로 한 연구에서 육류 섭취량이 감소하거나 식이중의 피틴산과 칼슘 함량이 증가했을때 철분의 흡수가 크게 감소한다고 발표하였으며, Gleerup 등(1995)도 유제품을 함께 섭취했을때 철분의 흡수가 절반이하로 감소된다고 하여 철분과 함께 고칼슘식이를 섭취하지 않을 것을

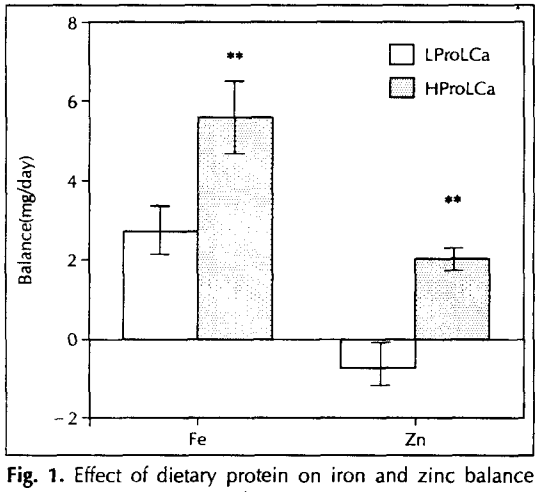

Fig. 1. Effect of dietary protein on iron and zinc balance (mean±SE). **$p<0.01$

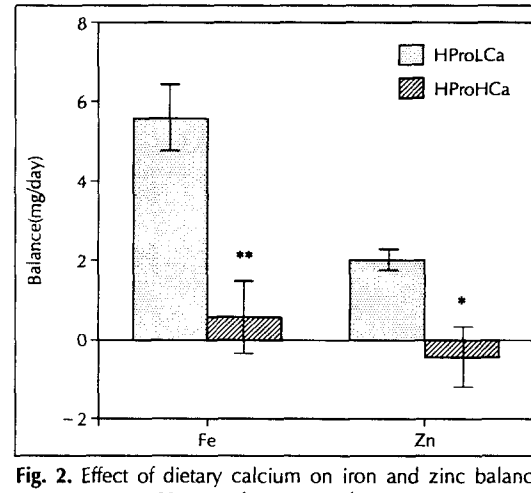

Fig. 2. Effect of dietary calcium on iron and zinc balance (mean±SE). *$p<0.05$ **$p<0.01$

권유하고 있다. 그러나 최근에 14명의 성인을 대상으로 한 연구에서는(Reddy & Cook 1997) 1일 칼슘의 섭취가 280~1,281mg으로 변해도 비헴형 철분의 흡수에는 아무런 영향도 미치지 못했다는 연구 결과를 제시하여 철분의 흡수에 대한 칼슘의 영향 및 그 기작에 관한 연구는 더 필요하다고 생각한다.

3. 혈청의 철분

체내의 철분 영양상태(iron status)는 철분 흡수에 영향을 미치고 철분의 흡수율은 체내의 철분 영양상태와 관련이 있다. 이를 평가하기 위하여 여러 가지 측정법이 있으나 본 실험에서는 단백질 및 칼슘 섭취 수준이 철분 평형뿐만 아니라 체내 철분 영양상태에도 영향을 미치는지 여부를 알기 위해 혈청의 철분 및 철분결합능력을 측정하였다(Table 3). 혈청의 철분 함량은 저단백저칼슘식이에서 고단백저칼슘식이로 이양된 후 단백질 수준의 증가로 인해 증가하는 경향을 나타내기는 하였으나 개인간의 차이가 커서 유의적은 아니었고 고단백저칼슘식이와 고단백고칼슘식이간의 칼슘에 의한 영향은 없었다.

총철분결합능력은 각 기간에서 거의 일정했으나 혈청 철분 농도의 변화로 인해 고단백식이일 때 transferrin의 포화도가 증가한 것으로 나타났다. Transferrin의 포화 정도는 철분 결핍성 빈혈의 좋은 지표(Bainton & Finch 1964)로 사용되지만 혈청의 철분과 총결합능력 자체가 하루 동안에 또는 매일매일 변동이 있다는 보고(Statland & Winkel 1977 ; Wiltink 등 1973)를 고려해 보면 혈청의 철분 및 총결합능력의 변화를 식이에 의한 것이라고 단정하기는 어렵다.

혈청의 철분 농도와 그 기간에서의 철분의 흡수량 및 평형과는 낮은 양의 상관관계(r=0.42)를 나타냈으며

Table 3. Parameters of iron status in experimental period

Diet	Serum iron	TIBC	Transferrin Saturation
	(μg/dl)	(μg/dl)	(%)
Pre-experimental	107.7±41.6[1)]	311.0±101.0	36.8±17.0
LProLCa	54.2±33.1	266.4±58.2	22.8±16.6
HProLCa	89.2±38.8	277.3±95.2	33.5±13.7
HProHCa	82.2±31.1	247.4±84.6	35.9±16.8

TIBC : Total Iron Binding Capacity
LProLCa : Low Protein Low Calcium
HProLCa : High Protein Low Calcium
HProHCa : High Protein High Calcium
1) mean±SD

섭취된 철분의 양과 혈청의 철분 농도간에는 높은 양의 상관관계(r=0.99)가 있는 것으로 보아 혈청의 철분은 체내의 철분 영양상태보다 최근의 섭취한 철분의 양을 반영하는 지표가 된다고 생각한다. 특히 저단백저칼슘식이와 비교해 보면 실험식이 섭취 기간 전에 채혈한 혈액에서 분석된 혈청의 철분의 농도가 실험식이 섭취 후의 것보다 높은 것으로 보아 실험대상자들이 섭취했던 일상식이가 실험식이보다 다소 많은 양의 철분을 함유했을 것으로 추정된다.

이와 같이 혈청의 철분과 transferrin의 포화도가 저단백질식이에 비해 고단백질식이 기간 중에 증가되어 보이나 철분 섭취량 자체가 고단백질식이시에 다소 많은 것을 고려하면 이러한 효과를 단백질에 의한 것이라고는 단정지을 수 없다. 또한 철분섭취량이 비슷한 고단백저칼슘식이와 고단백고칼슘식이간에 혈청의 철분, 총철분결합능력 및 transferrin 포화도에 차이가 없으므로 칼슘 수준 역시 혈청의 철분 및 총철분결합능력에 영향을 미치지 못하는 것으로 보인다.

4. 아연의 평형

각 실험 기간 동안 대변과 뇨로 배설된 아연의 양 및 흡수량과 평형은 Table 4에 기록하였다. 아연은 주로 대변을 통해 배설되었으며(섭취량의 75.5~103.6%), 뇨로 배설되는 양은 0.5mg 이하로 배설량의 4.6~6.0%였다. 아연의 섭취량이 비슷한 고단백저칼슘식이와 고단백고칼슘식이의 경우를 비교하면 고칼슘식이시에 대변으로 배설되는 아연의 배설량이 20% 이상 많았다($p<0.05$). 단백질이 변인요소인 저단백저칼슘식이와 고단백저칼슘식이 기간에서 아연 섭취량의 차이를 고려하여 섭취량에 대한 배설량의 비율로(Table 4) 살펴보면 고단백질의 영향으로 대변이나 뇨로 배설되는 아연은 감소되었다($p<0.05$). 뇨로 배설되는 아연의 양은 보통 0.4~0.6mg/일(Simko 등 1995)로 대부분의 실험대상자가 모두 정상 범위에 속하였다. 본 실험 결과 뇨로 배설되는 아연의 양은 단백질의 수준과 무관하였는데 이는 Meiner 등(1977)의 보고와는 일치하나 고단백식이를 계속했을 때 뇨로 배설되는 아연량이 유의적으로 증가하였다고 하는 여러 보고도 있다(Colin 등 1982 ; Greger & Snedeker 1980). 아연의 흡수량 및 평형도 고단백저칼슘식이 기간에서 저단백저칼슘식이 기간에 비해 유의적으로 높았고($p<0.01$), 고단백저칼슘식이에서 고단백고칼슘식이로 이행함에 따라 흡수량

Table 4. Effect of dietary protein and calcium on zinc excretion and balance (mg/day)

Diet	Intake	Fecal excretion (excretion/intake %)	Urinary excretion (excretion/intake %)	Apparent absorption	Balance
LProLCa	6.84±2.91[1)]	7.09±0.65 (103.6±9.5)	0.45±0.05 (6.6±0.8)	−0.25±0.65	−0.70±0.62
HProLCa	9.87±1.73	7.45±0.25 (75.5±2.5†)	0.42±0.04 (4.3±0.4†)	2.42±0.25‡	2.00±0.23‡
HProHCa	9.11±1.69	9.09±0.70* (99.8±7.7*)	0.44±0.04 (4.7±0.4)	0.02±0.70*	−0.42±0.71*

Apparent absorption=Zn intake-fecal Zn excretion
Balance=Zn intake-(fecal+urinary excretion)
LProLCa : Low Protein-Low Calcium
HProLCa : High Protein-Low Calcium
HProHCa : High Protein-High Calcium
1) mean±SE(mg/day)
†significantly different from LProLCa, $p<0.05$
‡significantly different from LProLCa, $p<0.01$
*significantly different from HProLCa, $p<0.05$

및 평형이 다시 감소했다($p<0.05$). 즉 고단백식이는 아연의 흡수량 및 평형을 높여주고(Fig. 1) 고칼슘식이는 낮추어 준다고 하겠다(Fig. 2).

고단백식이 동안에 아연의 흡수 및 보유가 좋아진 본 실험 결과는 여러 다른 동물 실험 및 인체 실험의 결과들(Greger 1989 ; Greger & Snedeker 1980)과 일치하고 있다. 최근 Hunt 등(1995)은 폐경기 여성을 대상으로 육류 섭취량을 변화시켰을 때 아연 및 몇 가지 다른 무기질의 평형을 알아보았는데, 단백질의 주급원인 육류의 섭취를 높여주었을 때 아연의 흡수 및 보유가 증가되었다고 발표하였다. 단백질이 아연의 흡수를 증진시키는 것은 식이단백질의 이용에 아연이 요구되어 단백질의 섭취에 따라 아연의 필요량이 증가되기 때문인 듯하다(Sandstead 등 1981). 아연의 흡수 및 평형에 대한 식이단백질의 영향은 단백질의 양만이 아니라 식이단백질의 아미노산 조성(Snedeker & Greger 1983), 식이단백질과 관련된 다른 요소인 칼슘, 인, 철 등의 수준(Solomons 1982)과 식이에 포함된 아연의 형태(Solomons 등 1979)에 따라서도 달라진다. 따라서 본 실험에서도 이런 복합적인 요인이 모두 조금씩은 영향을 미쳤을 것이라 생각된다.

본 연구에서는 칼슘의 섭취를 증가시킴에 따라 아연의 배설이 유의적으로 많아졌으나 다른 보고들(Price 등 1970 ; Spencer 등 1979)과는 일치하지 않는 것으로 보아 아연의 흡수와 보유에 대한 식이칼슘의 영향에 대하여는 인체를 대상으로 더 많은 연구가 필요하다고 생각한다. 한편 칼슘을 비롯한 무기질간의 상호작용에 대한 근래의 연구들은(Fairweather-Tait 1995 ; Sandstrom 1995 ; Shackelford 등 1994) 이들의 상호작용을 영양 필요량 및 권장량 산정시 고려해야된다고 강조하고 있다.

Table 5. Concentration of serum zinc in experimental period

Diet	Serum zinc(μg/dl)
Pre-experimental	127.8±15.4[1)]
LProLCa	91.0± 6.9
HProLCa	107.6±11.2
HProHCa	103.9±13.6

LProLCa : Low Protein-Low Calcium
HProLCa : High Protein-Low Calcium
HProHCa : High Protein-High Calcium
1) mean±SE

5. 혈청의 아연

혈청의 아연 농도는 사람의 아연 결핍을 비교적 예민하게 반영해 주고 따라서 아연의 영양 상태에 대한 지표로 널리 이용되고 있다. 실험식이 시작 전 실험대상자들의 혈청 아연의 농도(Table 5)는 127.8±15.4μg/dl로 우리 나라에서 조사된 승정자(1984)의 연구 결과(107±20μg/dl)보다 높으나 다른 자료들을 종합해 볼 때 정상치라고 생각되는 85~120μg/dl의 범위 내에 드는 수치이다(Simko 등 1995).

각 실험식이 후에 혈청의 아연 농도는 모두 실험 전에 비해 낮아졌으며, 특히 저단백저칼슘식이시에 낮았다($p<0.01$). 단백질의 수준이 높아진 다른 두 기간에서는 혈청의 아연 함량이 다시 증가하는 경향을 보였으나 실험대상자의 수가 적기 때문이거나 또는 개인차에 의해 유의적인 차이는 아니었다. 고단백질식이에 의한 혈청아연의 증가 현상은 Greger 등(1980)이나 Colin 등(1982)의 연구에서도 볼 수 있었다. 혈청 아연 농도는 식이의 칼슘 농도에 영향을 받지 않았는데 이는 Snedeker 등(1982)의 연구 결과와 일치한다. 혈청의 아

연 함량은 저단백저칼슘식이 기간에서만 체내의 보유 상태와 상관관계(r=0.58)가 있었다.

6. 두발의 아연

실험대상자들의 평균 두발의 아연 농도는 207.5±36.7μg/g으로 우리 나라에서 조사된 승정자(1984)나 김동현 · 고인석(1982)의 수치보다는 다소 높았으나 두발 아연의 정상 범위 100~250 ppm에 해당되었다.

두발은 혈청이나 다른 기관보다 아연의 함량이 높기 때문에 아연의 영양 상태 판정시 지침으로 사용되어 왔다. 그러나 두발의 함량이 급격히 변화되는 것이 아니므로 아연의 영양 상태를 예민하게 반영한다고는 볼 수 없다. 본 실험에서는 각 실험 기간마다 두발의 아연 함량은 측정하기 어렵고 별 의미가 없으므로 실험이 끝난 직후 채취, 정량하여 혈청의 아연과 상관 여부를 알아보았는데 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

요약 및 결론

단백질 및 칼슘 수준이 체내 철분 및 아연의 평형에 미치는 영향을 알아보고자 건강한 젊은 여성 8명을 대상으로 20일간의 대사실험을 실시하였다. 실험대상자는 2일간의 적응 기간 후 저단백저칼슘식이(44g 단백질, 422mg 칼슘), 고단백저칼슘식이(85g 단백질, 365mg 칼슘), 고단백고칼슘식이(84g 단백질, 727mg 칼슘)의 6일씩 각 실험식이를 섭취하였다.

각 식이 기간 후반 3일간의 대변 및 뇨를 수집하고 각 식이 기간이 끝난 후 공복시에 채혈하였다. 각 식이의 열량, 단백질, 칼슘, 철분 및 아연을 분석하고 대변과 뇨의 철분 및 아연을 분석하였으며 혈청중의 철분 및 아연 농도를 측정하여 비교하였다.

식이의 단백질 수준이 높아졌을 때 체내 철분과 아연의 흡수 및 평형이 유의적으로 증가되었으며($p<0.01$) 식이의 칼슘 수준이 높아졌을 때 철분($p<0.01$) 및 아연($p<0.05$)의 흡수 및 평형은 감소되었다. 혈청의 철분이나 아연 농도는 저단백질식이보다 고단백질식이일 때 증가되는 경향이 있었다. 혈청의 철분 농도는 철분 평형보다는 섭취된 철분의 함량과 높은 양의 상관관계($r=0.99$)를 나타냈다. 혈청과 두발의 아연 농도 간에는 상관관계를 볼 수 없었다.

본 연구 결과 식이중의 단백질 및 칼슘 섭취 수준은 체내 철분 및 아연의 평형에 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 따라서 우리 나라 영양권장량을 책정함에 있어서 이러한 영양소들의 대사를 재검토해야 하며 또한 최근 칼슘과 함께 철분을 강화시키는 몇몇의 시판 유제품이나 음료의 실제 유용성에 대한 평가도 필요하다고 사료된다.

참고문헌

구재옥 · 최혜미(1988) : 한국여성의 단백질 및 칼슘 섭취가 칼슘 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 21(2) : 99-112

김동현 · 고인석(1982) : 도시 및 농촌 지역의 취학 아동 두발 중 미량 금속 원소의 함량 조사에 관한 연구. *경희약대 논문집* 10 : 59-64

보건복지부(1997) : 95 국민영양조사결과보고서, 보건복지부

승정자(1984) : 한국 여대생의 혈청과 두발 중 아연 함량에 관한 연구. *한국영양학회지* 17(2) : 137-143

유태종 · 이동석 · 김영주 · 권혁인(1983) : 식품학 실험, pp63-65, 수학사, 서울

한국영양학회(1995) : 한국인 영양권장량, 중앙문화진수출판사, 서울

Abernathy RP, Miller J, Wentworth J, Speirs M(1965) : Metabolic patterns in preadolescent children : XII. Effect of am-ount and source of dietary protein on absorption of iron. *J Nutr* 85 : 265-270

Aggett PJ, Comerford JG(1995) : Zinc and human health. *Nutr Rev* 53(9) : s16-22

Bainton DF, Finch CA(1964) : The diagnosis of iron deficiency anemia. *Am J Med* 37 : 62-70

Barton JC, Conrad ME, Parmley RT(1983) : Calcium inhibition of inorganic iron absorption in rats. *Gastroenterlogy* 84 : 90-101

Bauer JD, Ackerman PG, Toro G(1974) : Clinical laboratory method, 8th ed,. 402, Mosby Co. New York

Blendis LM, Ampil M, Wilson DR, Kiwan J, Labrache J, Johnson M, Williams C(1981) : The importance of dietary protein in the zinc deficiency of uremia. *Am J Clin Nutr* 34 : 2658-2661

Bowering J, Sanchez AM(1976) : A conspectus of research on iron requirements of man. *J Nutr* 106(7) : 985-1074

van Campen D(1974) : Regulation of iron absorption. *Fed Proc* 33 : 100-105

Colin MA, Taper LJ, Ritchey SJ(1982) : Effect of dietary zinc and protein levels on the utilization of zinc and copper by adult females. *J Nutr* 113 : 1480-1488

Cook JD, Monsen ER(1976) : Food iron absorption in human subjects III Comparison of the effects of animal protein on non heme iron absorption. *Am J Clin Nutr* 29 : 859-867

Erten J, Arcasoy A, Cauder AO, Cin S(1978) : Hair Zn lev-

els in healthy and malnourished children. *Am J Clin Nutr* 31 : 1172-1174

Fairweather-Tait SJ(1995) : Iron-Zinc and Calcuim-Fe interaction in relation to Zn and Fe absorption. *Proc Nutr Soc* 54(2) : 465-473

Forbes RM, Parker HM, Erdman JW(1984) : Effects of dietary phytate, calcium and magnesium levels on zinc bioavailability to rats. *J Nutr* 114 : 1421-1425

Forth W, Rummel W(1973) : Iron absorption. *Physiol Rev* 53 (3) : 724-792

Fuwa K, Pulido P, Mckay R, Vallee BL(1964) : Determination of zinc in biological materials by atomic absorption spectrophotometry. *Anal Chem* 36(13) : 2407-2411

Gleerup A, Rossander-Hulthen L, Gramatkovski E, Hallberg L(1995) : Iron absorption from the whole diet : Comparison of the effect of two different distributions of daily calcium intake. *Am J Clin Nutr* 61(1) : 97-104

Greger JL(1989) : Effect of dietary protein and minerals on calcium and zinc utilization. *Crit Rev Food sci and Nutr* 28(3) : 249-271

Greger JL, Snedeker SM(1980) : Effect of dietary protein and phosphorous levels on the utilization of zinc, copper and manganese by adult females. *J Nutr* 110 : 2243-2253

Hallberg L(1981) : Bioavailability of dietary iron in man. *Ann Rev Nutr* 1 : 123-147

Hallberg L, Rossander-Hulten L, Brune M, Gleerup A(1992) : Calcium and iron absorption : A mechanism of action and nutritional importance. *Eur J Clin Nutr* 46(5) : 317-327

Hinkle DE, Wierman W, Jures SG(1979) : Applied statistics for the behavioral science, pp198-209, Rand McNally, Chicago

Hulten L, Gramatkovski E, Gleerup A, Hallbery L(1995) : Iron absorption from the whole diet relation to meal composition, iron requirement and iron stores. *Eur. J Clin Nutr* 49(11) : 794-808

Hunt JR, Gallagher SK, Johnson LK, Lykken GI(1995) : High-versus-low-meat diets : Effects on zinc absorption iron status, and calcium, copper, iron, magnesium, manganese, nitrogen, phosphorus and zinc balance in postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 62(3) : 621-632

Layrisse M, Cook JD, Martinez C, Roche M, Kuhn IN, Walker RB, Finch CA(1969) : Food iron absorption, A comparison of vegetable and animal foods. *Blood* 33(3) : 430-443

Layrisse M, Martinez-Torres C, Lects I, Taylor P, Ramirez J (1984) : Effect of histidine, cysteine, glutathionine or beef on iron absorption in humans. *J Nutr* 114 : 217-223

Layrisse M, Martinez-Torres C, Roche M(1968) : The effect of interaction of various foods on iron absorption. *Am J Clin Nutr* 21 : 1175-1183

Martinez-Torres C, Layrisse M(1970) : Effects of amino acids on iron absorption from staple vegetable food. *Blood* 35 : 669-682

Masuda T, Oromi Y(1980) : The determination of metals in whole blood and blood serum by inductively coupled plasma emission spectroscopy. Shimadzu Review *37 (1) : 81-84*

Meiner CR, Taper J, Korslund M, Ritchey SJ(1977) : The relationship of zinc to protein utilization in the preadolescent child. *Am J Clin Nutr* 30 : 879-882

Monsen ER, Cook JD(1979) : Food iron absorption in human subjects. V Effect of the major dietary constituents of semisynthetic meal. *Am J Clin Nutr* 32 : 804-808

Monsen ER, Cook JD(1976) : Food iron absorption in human subjects Ⅳ The effect of calcium and phosphate salts on the absorption of non-heme iron. *Am J Clin Nutr* 29 : 1142-1148

Morris ER(1983) : An overview of current information on bioavailability of dietary iron to humans. *Fed Proc* 42 : 1716-1720

Osborne DR, Voogt P(1978) : The analysis of nutrients in food, pp165-171, Academic Press, San Diego

Osis D, Kramer L, Wiatrowski E, Spencer H(1972) : Dietary zinc intake in man. *Am J Clin Nutr* 25 : 582-588

Price NO, Bunce GE, Enger RW(1970) : Copper, manganese and zinc balance in preadolescent girls. *Am J Clin Nutr* 23 : 258-260

Reddy MB, Cook JD(1997) : Effect of calcium intake on nonheme-iron absorption from a complete diet. *Am J Clin Nutr* 65(6) : 1820-1825

Refsum SB, Shreiner B BI(1984) : Regulation of iron balance by absorption and excretion. *Scand J Gastroenterol* 19 : 867-874

Sandstead H, Klevay L, Mahalko J, Johnson L, Milne D(1981) : Effect of dietary N on requirement and RDA for Zn, Cu, Fe, Ca, P and Mg. *Am J Clin Nutr* 34 : 617-624

Sandstrom B(1995) : Consideration in estimates of requirements and critical intake of zinc. Adaptation, availability and interactions. *Analyst* 120(3) : 913-915

Shackelford ME, Collins TF, Black TN, Ames MJ, Dolans S, Sheikh NS, Chi RK, O'Donnell MW(1994) : Mineral interactions in rats fed AIN-76A diets with excess calcium. *Food Chem Toxicol* 32(3) : 255-263

Simko MD, Cowell C, Gilbride JA(1995) : Nutrition assessment : A comprehensive guide for planning intervention. 2nd ed.,pp 216-217, An Aspen Pub. MD.

Snedeker SM, Greger JL(1983) : Metabolism of zinc, copper and iron as affected by dietary protein, cysteine and histidine. *J Nutr* 113 : 644-652

Snedeker SM, Smith SA, Greger JL(1982) : Effect of dietary Ca and P levels on the utilization of Fe, Cu, An by adult males. *J Nutr* 112 : 136-143

Solomons NW(1982) : Biological availability of zinc in humans. *Am J Clin Nutr* 35 : 1048-1075

Solomons NW, Jacob RA, Pineda O, Viteri F(1979) : Studies on the bioavailability of zinc in man Ⅱ Absorption of Zn from organic and inorganic sources. *J Lab Clin Med* 94 : 335-343

Spencer H, Asmussen CR, Holtz RB, Kramer L(1979) : Metabolic balances of Cd, Cu, Mn and Zn in man. *Am J Clin Nutr* 32 : 1867-1875

Statland BE, Winkel P(1977) : Relationship of day-to-day variation of serum iron concentrations to iron-binding capacity in healthy young women. *Am J Clin Pathol* 67(1) : 84-90

Underwood EJ(1977) : Trace element in human and animal nutrition, p209, Academic Press, New York

Whiting SJ(1994) : The inhibitory effect of dietary calcium on iron bioavailability : A cause for concern?. *Nutr Rev* 53 : 77-80

WHO(World Health Organization)(1988): Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B_{12}, Report of a joint FAO/WHO Expert Consultation FAO Food & Nutrition Series No.23, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

Wiltink WF, Kruithof J, Mol C, van Eijk HG(1973) : Diurnal and nocturnal variations of the serum iron normal subjects. *Clin Chem Acta* 49 : 99-104

Zettner A, Mansbach(1965) : Application of atomic absorption spectrophotometry in the determination of iron in urine. *Am J Clin Pathol* 44(5) : 517-519