J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.
26(5), 936~942(1997)

한국식품영양과학회지

단백질과 마그네슘 공급수준이 흰쥐의 칼슘과 마그네슘 대사에 미치는 영향

정복미† · 배송자* · 정해옥**

여수수산대학교 식품영양학과
*부산여자대학교 식품영양학과
**초당산업대학교 조리과학과

Effects of Dietary Protein and Magnesium Levels on Ca and Mg Metabolism in Rats

Bok-Mi Jung†, Song-Ja Bae* and Hae-Ok Jung**

Dept. of Food Science and Nutrition, Yosu Fisheries National University, Yosu 550-749, Korea
**Dept. of Food and Nutrition, Pusan Women's University, Pusan 616-736, Korea*
***Dept. of Culinary Art, Chodang University, Muan 534-800, Korea*

Abstract

The present study was carried out to investigate the effects of dietary protein and magnesium levels on calcium and magnesium metabolism in male Sprague-Dawley rats. Forty-eight male rats(average weight, 210g) divided into six diet groups; protein 8% and Mg-free diet, protein 8% and Mg 400mg/kg diet, protein 8% and Mg 800mg/kg diet, protein 20% and Mg-free diet, protein 20% and Mg 400mg/kg diet, and protein 20% and Mg 800mg/kg diet group. After the rats were fed with experimental diets for 8 weeks, organ weight, serum calcium, magnesium concentration, and urinary calcium and magnesium concentration were examined. Kidney weight was significantly higher in protein 8% and Mg-free group compared with other groups. Serum calcium concentration of protein 8% group tended to decrease with the increase of the level of magnesium. Serum magnesium concentration in protein 8% and 20% group was lower in Mg-free group than that in other groups($p<0.05$) and it also increased as the dietary magnesium level was increased. Urinary calcium and magnesium concentration in Mg-free group were significantly lower than those of other groups.

Key words: protein, magnesium, calcium, rat

서 론

마그네슘은 동물체에서 다량으로 존재하는 무기질 중 네번째로 차지하는 양이온이며(1) 체중 70kg인 성인의 체내 마그네슘 보유량은 약 24g으로, 이중 약 60%는 뼈를 구성하고 있으며, 약 39%는 세포내액에 함유하며, 약 1%정도가 세포외액에 존재한다(2) 마그네슘은 단백질과 DNA합성에서 DNA와 RNA전사, m-RNA의 해석, 미토콘드리아의 기능조절에 결정적 역할을 한다(3). 특히 마그네슘은 칼슘과의 길항작용으로 세포의 투과성에 상반된 효과를 나타내어 막수용기와 효소의 결합부위에서 칼슘과 치환하여 세포로 칼슘의 과잉 유입을 예방하며 근육수축시 troponin C의 결합부위에서 칼슘과 경쟁하는데 마그네슘 결핍이 심하게 되면 tetany와 유사한 증상을 일으킨다 이와같은 기능으로 마그네슘은 신경과 근육 세포막의 전기압을 유지시킴으로써 신경흥분의 전도율과 근육의 기능을 정상화하는데 중요한 역할을 한다(4). 마그네슘은 식품 중 곡류와 푸른 채소류, 두류, 우유 및 유제품에 주로 들어있으며 에너지 급원인 지방, 설탕, 알코올과 육류, 달걀에는 소량 들어있다(5). 보통 혼합식이를 섭취하는 집단의 마그네슘 섭취량은 권장량 이하이나 채식주의자들은 권장량보다 훨씬 많은 양을 섭취하는데 이는 채식주의자들의 식이가 주로 채소류와 비정제된 식품으로 구성되기 때문이다(6). 최근 현대인의 식이에서 마그네슘의 함량이 낮은 주된 원인은 곡류의 정제, 가공과정에서 마그네슘

†To whom all correspondence should be addressed

이 80~95% 제거되고, 우유와 치이즈는 다량의 급원이나 우유와 유제품은 칼슘의 함량이 높으므로 섭취시 마그네슘의 생체내 이용율을 떨어뜨리며, 채소류의 경우는 조리과정에서 50% 이상 손실되며, 풍부한 급원인 두류, 새우 등은 현대 식이에서 쉽게 사용되지 않는 것 등이라고 볼 수 있다(7). 미국의 경우 마그네슘의 권장량은 성인 남자의 경우 350mg/day, 성인 여자의 경우 300 mg/day로 1965년부터 식이조사를 통하여 일상식이에서 섭취하는 마그네슘의 섭취량을 조사한 결과, 성인의 경우 25%만이 권장량 수준이거나 권장량 이상을 섭취한다고 하였다(8). 일본의 경우 권장량은 설정되지 않았으나, Nagai 등(9)은 어촌에 살고 있는 주민들의 마그네슘 섭취량은 300mg/day라고 보고하였으며, 한국인의 마그네슘 섭취량은 농촌여성을 대상으로 한 연구에서, 승(10)의 경우 259mg/day, 김(11)의 경우 379mg/day라고 보고하였으며, 김과 김(12)은 여대생의 경우 177~200mg/day로 보고하였다. 또한 단백질은 무기질대사에 영향을 미치는 식이 요인 중의 하나로 알려져 있으며(13) 단백질과 마그네슘과의 관계에서 McCance(14)는 성인을 대상으로 단백질 섭취량을 증가시켰을 때 분중 마그네슘의 배설량이 현저히 감소하였으며 따라서 마그네슘의 체내 보유량이 향상되었다고 하였다. 고 등(15)은 성숙된 쥐에 40일간 저단백식이와 고단백식이를 급여한바, 간과 비장의 마그네슘 농도는 고단백군이 높은 수준을 보였다고 하였으며, Miller 등(16)도 생후 3주된 돼지에 casein, 분리 대두단백 및 난백 등 식이단백질의 종류를 달리하여 4주간 급여했을 때 혈청의 마그네슘 농도는 난백식이군이 가장 낮았다고 하였다. 현재까지 우리나라의 경우 마그네슘의 권장량이 설정되어 있지 않으며 평형 실험결과도 거의 없으므로(17) 본 연구는 흰쥐를 이용하여 단백질 섭취 수준을 저단백질의 경우 8%로, 표준단백질 섭취의 경우 20%로 하고 마그네슘 공급수준을 각각 달리하여 체내 칼슘과 마그네슘의 상태를 조사하였다.

재료 및 방법

실험동물

실험동물은 체중이 평균 210g 되는 Sprague-Dawley계 웅성 흰쥐로 본 실험실에서 직접 교미시켜 낳은 지 7~8주 된 것으로 이유 후 고형사료(삼양유지사료)로 사육하다가 실험시작 1주일 전부터 대조군식이로 적응시켜 동물의 체중에 따라 각군의 평균체중이 비슷해지도록 8마리씩 6군으로 나누어 8주간 실험하였다. 동물실험실의 사육조건은 온도 24±2°C, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며, 명암은 12시간(08 : 00~20 : 00)을 주기로 자동조절되었으며, 물은 2차 증류수로 매일 급여하였고 모든 사료와 물은 자유 급식시켰다. 실험에 사용된 모든 기구들은 무기질의 오염을 방지하기 위하여 깨끗이 씻은 후 0.4% EDTA(Ethylene Diamine Tetra Acetic acid) 용액에 24시간동안 담갔다가 꺼낸 후 2차 증류수로 3번이상 세척 후 건조기에서 습기를 완전히 제거한 다음 사용하였다.

실험식이

본 실험에 사용한 실험식이의 구성성분은 Table 1과 같으며 casein과 choline chloride는 Junsei Co. 제품, DL-methionine은 Sigma Co. 제품 그외 비타민과 무기질성분들은 특급시약을 사용하였다. 단백질은 8%와 20% 두가지 수준을 사용하였으며 마그네슘은 3가지 수준 즉 Mg-free, 요구량수준(400mg/kg diet), 요구량의 2배수준(800mg/kg diet)으로 공급하였다.

식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

식이섭취량은 매일 같은 시각에 측정하였으며, 체중은 일주일에 한번씩 일정한 시간에 측정하였고, 식이섭

Table 1. Formulation of experimental diets (g/kg diet)

Ingredients	8% protein	20% protein
Casein	80	200
DL-Methionine	3	3
Cornstarch	770	650
Fiber[1]	50	50
Corn oil	50	50
AIN-mineral mixture[2] (omitting Mg^{2-})	35	35
AIN-vitamin mixture[3]	10	10
Choline chloride	2	2
Mg^{2+}[4]	Varied	Varied

[1] Cellulose : Sigma Co, LTD., U.S.A

[2] Mineral mixture(g/kg): Calcium lactate, 500 ; sodium chloride, 43 ; sodium dihydrogen phosphate, 31 ; potassium citrate, 220 ; potassium sulfate, 52 ; manganous carbonate, 3.5 ; ferric citrate, 6.0 ; zinc carbonate, 1.6 ; cupric sulfate, 0.3 ; potassium iodate, 0.01 ; sodium selenite, 0.01 ; chromium potassium sulfate, 0.55

[3] Vitamin mixture(/kg) : Thiamin·HCl, 600mg ; riboflavin, 600mg ; pyridoxine, 700mg ; nicotinic acid, 3g ; D-calcium pantothenate, 1.6g ; folic acid, 200mg ; D-biotin, 20mg ; cyanocobalamine, 1mg ; vitamin A, 400,000 IU ; dl-alpha tocopheryl acetate, 5000 IU ; cholecalciferol(vitamin D), 2.5mg ; menaquinone, 5.0mg

[4] The magnesium oxide was added to reach the level of 400mg, 800mg magnesium/kg diet which represents medium level, high level, respectively

취로 인한 일시적인 체중변화를 막기 위해 측정하기 2시간 전에 식이통을 제거한 후에 실시하였다. 체중증가량은 실험종료 체중에서 실험개시 체중을 감하여 총 체중증가량을 구하고 실험일수로 나누어 1일 평균 체중증가량으로 하였다. 식이효율은 일주일간의 체중증가량을 일주일간의 식이섭취량으로 나눈 값으로 계산하였다.

시료채취 및 분석

뇨는 실험 종료 3일 전부터 대사장(metabolic cage)에서 부패를 방지하기 위하여 toluene 2~3 방울 넣은 용기에 수집하여 매일 총 양을 측정한 후 원심분리하여 상등액을 취하여 3일간의 뇨를 시료분석 때까지 냉동보관하였고, 혈액은 실험 종료 후 16시간 절식시킨 뒤 ethyl ether로 마취시킨 후 개복하여 심장으로부터 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 원심분리관에 넣어 실온에서 30분간 응고시킨 후 3000rpm에서 20분간 원심분리하여 혈청을 분리한 후 냉동실에 보관하였다가 시료분석에 사용하였고, 채혈 후 각 장기를 적출하여 지방 및 결합조직을 제거하고 0.9% 생리식염수로 세척하여 여지로 수분을 제거한 후 무게를 측정하였다.

냉동보관한 뇨 및 혈청은 Thompson-Blanchflower 법(18)에 의해 시료 1ml에 질산 : 과염소산(4 : 1) 혼합액 5ml을 넣고 hume hood에서 연소시킨 후 d-HCl 5ml 첨가한 후 가온한다. 이와같이 습식분해한 시료액을 100 ml mess flask에 여과지를 놓고 여과하여 눈금을 채운 뒤 일정량 취하여 $LaCl_3$로 희석 후 원자흡광광도계(Shimadzu AA 646)로 Ca과 Mg의 농도를 측정하였다.

통계처리

실험식이에 의한 결과는 평균과 표준편차로 나타내었으며, 통계처리는 SAS를 이용하여 분산분석과 Duncan's multiple range test로 각군의 평균치를 비교하였고, 이에 대한 유의성 검정은 $p<0.05$ 수준에서 행하였다.

결과 및 고찰

식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

단백질과 마그네슘 수준에 따른 식이섭취량과 체중증가량 및 식이효율의 결과는 Table 2와 같다. 식이섭취량은 단백질 8%군의 경우 마그네슘 0mg군의 섭취량이 가장 적었으며, 단백질 20%군에서는 마그네슘 0mg 및 400mg군에 비해 800mg군의 식이섭취량이 유의하게 많았다. 또한 마그네슘 0mg군과 800mg군에서는 단백질 20%군에 비해 8%군의 식이섭취량이 낮았으며 마그네슘 400mg군에서는 단백질 수준에 따른 차이는 없었다 체중증가량은 단백질 8%군과 20%군을 비교했을 때 마그네슘 각 수준에서 20%군의 체중증가량이 유의하게 높았으며($p<0.05$) 단백질 수준과는 관계없이 대체로 마그네슘 400mg군에 비해 0mg, 800mg군이 유의하게 낮았다 Bunce 등(19)은 닭에게 마그네슘과 단백질 수준을 달리하여 식이를 공급했을 때 체중증가는 고단백식이를 섭취하면서 저마그네슘식이를 섭취한 군이 고단백식이와 고마그네슘식이를 섭취한 군에 비해 낮았다고 하였는데, 이는 본 연구와 대체로 일치하는 경향이었다. 식이효율은 단백질 8%군에서는 0.66~0.95로 0mg군이 가장 낮았고 400mg군이 가장 높았으며, 단백질 20%군에서는 0.93~1.27로 800mg군이 0mg, 400mg군에 비해 가장 낮게 나타났다. 단백질 수준에서 볼 때 20%군보다 8%군의 식이효율이 떨어졌으며 마그네슘 수준에서는 요구량 수준에 비해 결핍, 과잉군에서 식이

Table 2. Feed intake, body weight gain and feed efficiency ratio of rats fed diets with different levels of protein and Mg[1)]

Dietary Group		Feed intake		Weight gain	FER
Protein level (%)	Mg level (mg/kg diet)	g/day	g/day/100gB W.	g/day	
8	0	21.26±0.33[d2)]	6.38±0.25[a]	1 89±0.16[e]	0.66±0.10[c]
8	400	23 77±0.44[b]	6.07±0.15[b]	3.05±0.14[c]	0.95±0.22[b]
8	800	22 95±0.94[c]	6.24±0.15[ab]	2 65±0.27[d]	0.92±0.19[b]
20	0	23.31±0.30[bc]	5.43±0.28[d]	3.64±0.17[b]	1.02±0.29[ab]
20	400	23 63±0.25[b]	5.41±0.11[d]	3.86±0.20[a]	1.27±0.34[a]
20	800	24.68±0.56[a]	5.80±0 27[c]	3 62±0.19[b]	0.93±0.21[b]
ANOVA terms	A(protein)	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05
	B(Mg)	p<0 05	p<0.05	p<0.05	p<0.05
	A*B	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05

[1)]Mean±S.D.(n=8)
[2)]Values with different superscripts within the column are significantly different at p<0 05

효율이 떨어졌음을 알 수 있었다.

장기의 무게

Table 3은 장기의 무게를 나타낸 것으로 간의 경우 단백질 8% 수준에서 마그네슘 0mg군의 무게가 400mg, 800mg군에 비해 가장 낮았으나 유의적인 차이는 아니었으며 단백질 20% 수준에서는 마그네슘 800mg군이 가장 높았으나 0mg, 400mg군과 유의적인 차이는 없었다. 간무게에서는 단백질 수준에 따른 차이는 없었고, 마그네슘 수준에 따른 차이에서 마그네슘 수준이 높아짐에 따라 무게도 약간씩 증가하는 경향이었다. 신장의 무게는 단백질 8%군에 비해 20%군이 감소한 경향을 나타내었으며, 단백질 8%군에서는 마그네슘 0mg군이 다른 군에 비해 유의적으로 높았으나 마그네슘 400mg, 800mg군은 차이가 없었다. 단백질 20%군에서는 오히려 마그네슘 0mg군과 400mg군이 800mg군에 비해 유의적으로 감소하였다. Koh 등(20)은 마그네슘 결핍식이를 섭취한 쥐들에서 신장에서의 칼슘축적을 보고하였는데 이는 특히 탄수화물 급원으로 전분(starch)과 비교했을 때 서당(sucrose)을 함유한 식이를 섭취한 쥐들에서 신결석(nephrocalcinosis) 현상을 나타냈음을 연구하였다. 또한 Bunce 등(21)은 마그네슘이 낮은 식이를 섭취한 쥐들에서 신석회화(renal calcification)가 나타났음을 보고하였다. Weaver와 Evans(22)는 마그네슘을 권장량 수준으로 섭취하더라도 칼슘의 섭취 수준이 높다면 역시 신석회화(kidney calcification)가 나타날 수 있다고 보고하였고, Greger 등(23)은 칼슘을 권장량 수준으로 섭취하더라도 칼슘의 공급 형태에 따라 신석회화(kidney calcification)를 관찰하였다. 본 연구에서는 탄수화물 급원으로 전분(starch)을 사용한 결과 마그네슘 0mg군의 신장의 무게가 다른 군에 비해 유의하게 증가되었으며, 이는 단백질 20% 수준에 비해 8% 수준에서 뚜렷하게 나타났는데 단지 신장의 무게로 신석회화(kidney calcification)를 단정지을 수는 없지만 본 연구결과와 타 연구결과를 종합해 볼 때 마그네슘 결핍식이가 신석회화(kidney calcification)의 유일한 원인이 아님을 알 수 있으며, 이는 식이의 종류나 수준, 형태에 따라 달라질 수 있음을 알 수 있었다. 심장의 무게는 단백질 8%, 마그네슘 0mg군에서 다른 군에 비해 가장 높게 나타났으며 단백질과 마그네슘 수준에 따른 차이는 없었다. 김과 손(24)은 마그네슘 부족시 심장근육의 칼슘이 마그네슘을 충분히 공급받은 군에 비해 유의적으로 높게 나타났다고 보고하였으며, 이는 마그네슘 부족시 세포속으로 칼슘의 유입이 많아지게 되어 심장세포의 석회화(calcification)가 일어난 것으로 설명하였는데, 본 연구에서는 특히 단백질 20%군에 비해 8%군의 마그네슘 부족군에서 무게가 더 증가한 것으로 나타났다. 뇌의 무게에서는 단백질 8% 수준에서 마그네슘 0mg군이 가장 높게 나타났으며 단백질 20% 수준에서는 마그네슘 800 mg군이 가장 높게 나타났다. 비장의 경우 단백질 8%군이 20% 군에 비해 높게 나타났으며 마그네슘 0mg군이 400, 800mg군에 비해 유의적으로 높았다.

혈청중 칼슘, 마그네슘 농도와 Mg/Ca 비율

쥐에게 단백질과 마그네슘 공급수준을 달리한 식이를 급여한 후의 혈청 중 칼슘, 마그네슘 농도와 그 비율은 Table 4와 같으며 혈청 중 칼슘의 농도는 단백질 수준에 따른 차이에서 8%군이 20%군에 비해 유의하게 증가하였고, 단백질 8% 수준에서 마그네슘 공급수준별로 보았을 때 0mg군이 유의하게 높았으며 400mg, 800mg

Table 3. Organ weight of rats fed diets with different levels of protein and Mg[1)]

Dietary Group		Liver	Kidney	Heart	Brain	Spleen
Protein level (%)	Mg level (mg/kg diet)	g/100g B.W				
8	0	2.42±0.14[b2)]	0.74±0.02[d]	0.37±0.03[a]	0.60±0.04[a]	0.15±0.01[a]
8	400	2.58±0.08[ab]	0.67±0.06[b]	0.32±0.03[b]	0.53±0.03[c]	0.13±0.01[c]
8	800	2.56±0.13[ab]	0.68±0.04[b]	0.33±0.02[b]	0.55±0.03[b]	0.13±0.01[c]
20	0	2.50±0.19[ab]	0.63±0.04[c]	0.32±0.04[b]	0.49±0.03[f]	0.14±0.01[b]
20	400	2.52±0.16[ab]	0.65±0.02[c]	0.34±0.02[b]	0.50±0.02[e]	0.12±0.01[d]
20	800	2.61±0.11[a]	0.68±0.04[b]	0.33±0.03[b]	0.51±0.02[d]	0.12±0.02[d]
ANOVA terms	A(protein)	NS	p<0.05	NS	p<0.05	p<0.05
	B(Mg)	p<0.05	p<0.05	NS	p<0.05	p<0.05
	A*B	p<0.05	p<0.05	NS	p<0.05	p<0.05

[1)]Mean±S.D (n=8)
[2)]Values with different superscripts within the column are significantly different at p<0.05
NS: Not Significant

Table 4. Serum calcium, magnesium concentrations and Mg/Ca of rats fed diets with different levels of protein and Mg[1)]

Dietary group		Ca	Mg	Mg/Ca
Protein level (%)	Mg level (mg/kg diet)	(μg/ml)		
8	0	131.39±3.17[a2)]	19.37±2.10[f]	0.15±0.01[f]
8	400	123.91±5.66[b]	37.78±3.21[d]	0.30±0.01[d]
8	800	118.24±4.39[c]	42.60±1.78[b]	0.36±0.02[c]
20	0	114.58±4.06[d]	21.43±2.45[e]	0.20±0.02[e]
20	400	100.12±4.34[e]	41.28±0.74[c]	0.41±0.02[b]
20	800	114.89±7.50[d]	50.72±2.01[a]	0.45±0.02[a]
ANOVA terms	A(protein)	p<0.05	p<0.05	p<0.05
	B(Mg)	p<0.05	p<0.05	p<0.05
	A*B	p<0.05	p<0.05	p<0.05

[1)]Mean±S.D.(n=8)
[2)]Values with different superscripts within the column are significantly different at p<0.05

으로 높아짐에 따라 낮아지는 경향이었다. 단백질 20% 수준에서는 마그네슘 0, 800mg군에 비해 400mg군이 유의적으로 낮았다. 김과 손(24)도 혈장 칼슘의 농도는 마그네슘 부족군에서 높은 경향을 보였다고 하였는데 이는 본 연구결과와 일치하였다. 혈청 중 마그네슘의 농도에서는 단백질 8%군에 비해 20%군이 높게 나타났으며 마그네슘 수준에 따른 차이에서는 0mg군이 가장 낮았으며 공급수준이 높아질수록 증가하는 경향이었고, 단백질 20% 수준에서는 마그네슘 800mg군이 가장 높게 나타났다. Robeson 등(25)은 마그네슘 결핍쥐들의 혈청 마그네슘 농도는 대조군에 비해 반이하로 떨어졌음을 보고하였고, Koh 등(20)도 마그네슘 결핍쥐에서 식이 탄수화물 급원과는 상관없이 저마그네슘혈증을 보고하였으며, Britton과 Stokstad(26)는 쥐에게 저마그네슘식이 섭취결과 혈청 마그네슘이 유의하게 감소되었음을 보고하였는데 이들은 본 연구와 일치하는 경향이었다. Schwartz 등(27)은 이유 후 1주된 쥐에 식이내 마그네슘의 수준을 0.01, 0.05, 0.1%로 하고 식이단백질을 각각 12% 및 36%로 조절된 식이를 5주간 급여하였을 때 혈장 중 마그네슘의 농도는 마그네슘의 첨가수준과는 관계없이 36% 단백질군이 증가되었다고 보고하였는데 본 연구에서는 단백질 수준은 다르나 8%에 비해 20% 단백질군의 혈청 마그네슘의 농도가 마그네슘의 첨가수준이 높을수록 증가되어 조금 다른 양상을 나타냈다. 한가지 무기질의 결핍은 여러 조직에서 다른 무기질의 불균형을 일으키는 것은 알려진 사실이며, 특히 세포내의 마그네슘 농도변화는 칼슘 조절효과로 세포기능에 영향을 나타내며, 마그네슘은 칼슘과 동일부위에서 경쟁적으로 결합하여 적절한 생리적 반응을 일으킨다(1). 본 연구에서는 마그네슘 0mg군의 혈청 중 칼슘의 농도가 가장 높았고, 이는 단백질 20% 수준보다 8% 수준에서 더 뚜렷한 경향을 나타냈으며, 이는 마그네슘 결핍으로 칼슘의 농도상승을 일으켜 길항작용을 나타냈음을 알 수 있었다. Mg/Ca의 비율에서 단백질 8%수준에서 마그네슘 0mg군이 다른 군에 비해 가장 낮았으며 마그네슘 공급수준이 400, 800mg으로 증가할수록 유의적으로 증가하였다. 단백질 20% 수준에서 역시 마그네슘공급이 증가할수록 칼슘에 대한 마그네슘의 비율이 증가하는 경향이었다. Mg/Ca 비율은 마그네슘 결핍쥐에서 저하되었음을 보고하였으며(28) 이는 단백질 섭취 수준과는 관계없이 본 연구와 일치하는 경향이었다.

뇨중 칼슘, 마그네슘 배설량과 Mg/Ca 비율

단백질과 마그네슘 수준을 달리하여 식이를 급여한 후 뇨중 배설된 칼슘과 마그네슘의 농도는 Table 5와 같다 뇨중 칼슘 배설량은 단백질 20% 수준에 비해 8% 수준군이 증가되었으며 특히 단백질 8% 수준에서 마그네슘 800mg군의 뇨중 칼슘 배설량이 가장 많았으며 공급수준이 낮을수록 감소하는 경향이었다. 단백질 20% 수준에서 마그네슘 0mg군의 배설량이 가장 낮았으며 400 mg. 800mg군으로 갈수록 약간씩 증가하는 경향이었다. 마그네슘 400mg 섭취군에서 단백질 8% 수준군이 20% 수준군에 비해 뇨중 칼슘 배설량이 증가되었는데 Wachman(29)은 식이내의 단백질은 체내 칼슘대사에 영향을 주는 인자 중의 하나로, 식이 중 단백질 함량이 높으면 소변 중 칼슘 배설량을 증가시키고 계속적으로 높은 함량의 단백질을 섭취하면 골다공증의 원인이 될 수 있다고 하였다. 또한 Bell 등(30)은 동물실험에서 단백질의 섭취량을 증가시켰을 때 뇨중의 칼슘 배설량은 감소되었다고 보고하였으며, Whting과 Draper

Table 5. Urinary calcium, magnesium concentrations and Mg/Ca of rats fed diets with different levels of protein and Mg[1]

Dietary group		Ca	Mg	Mg/Ca
Protein level (%)	Mg level (mg/kg diet)	(mg/24 hour)		
8	0	4.06±0.82[c2)]	0.64±0.10[e]	0.15±0.01[f]
8	400	6.73±1.18[b]	3.70±0.47[b]	0.59±0.04[d]
8	800	11.53±1.43[a]	4.40±0.43[a]	0.39±0.03[e]
20	0	0.39±0.06[f]	0.26±0.04[f]	0.63±0.02[c]
20	400	0.88±0.18[e]	1.26±0.13[d]	1.03±0.08[b]
20	800	1.29±0.20[d]	3.23±0.46[c]	4.13±0.38[a]
ANOVA terms	A(protein)	p<0.05	p<0.05	p<0.05
	B(Mg)	p<0.05	p<0.05	p<0.05
	A*B	p<0.05	p<0.05	p<0.05

[1)]Mean±S.D (n=8)
[2)]Values with different superscripts within the column are significantly different at p<0.05

(31)는 고단백질식이 중에서도 식물성 단백질에 비해 동물성 단백질의 섭취가 많을 때에는 뇨중 칼슘 배설량이 증가한다고 보고하였다. 이들 연구로 단백질의 종류와 수준에 따라 뇨중 칼슘 배설량이 달라질 수 있음을 나타냈는데, 본 연구에서는 단백질 20% 수준은 보통수준이며 식이 중의 마그네슘 수준이 높을수록 뇨중 칼슘 배설량 또한 증가하므로 마그네슘에 따른 차이는 뚜렷이 나타났음을 알 수 있었다. 뇨중 마그네슘농도는 단백질 8% 수준에서 마그네슘 0mg군이 가장 낮았으며 400mg, 800mg으로 증가할수록 높아졌고, 단백질 20% 수준도 비슷한 경향이었다. Mg/Ca 비율은 단백질 8% 수준에서 마그네슘 0mg군이 가장 낮았으며 400mg군에서 약간 증가하였다가 800mg군에서 약간 감소하였고, 20% 수준에서는 마그네슘 수준이 높아질수록 증가하는 경향이었다. Anast와 Gardner(32)는 혈청 중 마그네슘 수준이 증가됨에 따라 뇨중 마그네슘 배설이 증가되며, 수일간 저마그네슘식이 섭취로 혈청 마그네슘 수준이 감소되면 뇨중 마그네슘 배설도 저하된다고 하였는데 이는 본 연구결과와 일치하였다. 최근 카페인과 설탕 섭취는 뇨중 마그네슘 배설을 증가시키고 이뇨제 복용시에도 뇨중 마그네슘 배설이 증가한다고 하였는데(20) 뇨중 마그네슘 배설을 증가시키는 요인은 식이 중 마그네슘 뿐만 아니라 여러가지 요인이 작용할 수 있다고 사료된다.

요 약

본 연구는 단백질과 마그네슘의 공급수준을 달리하여 체내 칼슘과 마그네슘의 상태를 조사하기 위하여 수행되었으며, 체중이 평균 210g되는 Sprague-Dawley계 웅성 흰쥐를 이용하여 8마리씩 6군으로 나누어 8주간 실험한 결과는 다음과 같다. 식이섭취량은 단백질 8%군의 경우 마그네슘 0mg군의 섭취량이 가장 적었으며, 단백질 20%군에서는 마그네슘 0mg 및 400mg군에 비해 800mg군의 식이섭취량이 유의하게 많았다. 체중증가량은 마그네슘 각 수준에서 단백질 20%군의 체중증가량이 유의하게 높았으며 단백질 수준과는 관계없이 대체로 마그네슘 400mg군에 비해 0mg, 800mg군이 유의하게 낮았다. 장기의 무게에서 신장의 무게는 단백질 8%군에 비해 20%군이 감소한 경향이었으며 단백질 8%군에서 마그네슘 0mg군이 다른 군에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 혈청 중 칼슘의 농도는 단백질 수준에 따른 차이에서 8%군이 20%군에 비해 유의하게 증가하였고, 단백질 8% 수준에서 마그네슘 0mg군이 유의하게 높았으며, 400mg, 800mg으로 높아짐에 따라 낮아지는 경향이었다. 단백질 20% 수준에서는 마그네슘 0 mg, 800mg군에 비해 400mg군이 유의적으로 낮았다. 혈청 중 마그네슘의 농도에서는 단백질 8%군에 비해 20%군이 높게 나타났으며, 마그네슘 수준에 따른 차이에서는 0mg군이 가장 낮았으며 공급수준이 높아질수록 증가하는 경향이었고, 단백질 20% 수준에서 마그네슘 800mg군이 가장 높게 나타났다. 뇨중 칼슘 농도는 단백질 20% 수준에 비해 8% 수준군의 칼슘 배설량이 증가되었으며, 특히 단백질 8% 수준에서 마그네슘 800mg군의 뇨중 칼슘 배설량이 가장 많았으며 공급수준이 낮을수록 감소하는 경향이었다. 뇨중 마그네슘 배설량은 단백질 8% 수준에서 마그네슘 0mg군이 가장 낮았으며 400mg, 800mg으로 증가할수록 높아졌고 단백질 20% 수준도 비슷한 경향이었다. 이상의 결과에서 마그네슘 결핍식이 섭취시 단백질의 섭취수준에 따라 여러가지

결과가 달리 나타날 수 있으며, 특히 저단백, 저마그네슘 식이섭취시 체중, 장기무게, 혈청과 뇨의 칼슘 및 마그네슘 상태에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

문 헌

1. Goodwill, M and Stewart, M. D : Magnesium, the mimic/antagonist of calcium. *N. Engl. J. Medicine*, **310**, 1253(1984)
2. Anast, C. S. and Gardner, D. W. : Magnesium metabolism. In "*Pathophysiology of calcium, phosphorus and magnesium*" Academic Press, New York, p.423(1981)
3. Ebel, H. and Gunther, J. : Magnesium metabolism ' a review. *J. Clin. Chem. Biochem*, **18**, 257(1980)
4. Caldwell, P. C. ' Factors governing movement and distribution of inorganic ions in nerve and muscle. *Physiol. Rev.*, **48**, 1(1968)
5. The National Research Council ' Recommended Dietary Allowances. 9th edition, National Academy of Science, Washington, D.C., p.134(1980)
6. Abdulla, M. : Inorganic chemical elements in prepared meals in Sweden. Dissertation. University of Lund, Sweden(1986)
7. Abdulla, M., Behbehani, A. and Dashti, H. : Marginal deficiency of magnesium and the suggested treatment. *Magnesium in health and disease*. John Libby & Company Ltd., p 111(1988)
8 Marier, J. R. : Magnesium content of the food supply in the modern day world. *Magnesium*, **5**, 1(1986)
9 Nagai, K., Kimura, M. and Itokawa, Y. · Food habits and magnesium intake of Japanese. Magnesium in health and disease. John Libbey & Co. Ltd., p.63(1989)
10. 송정자 · 일상식이를 섭취하는 일부 한국 농촌 여성의 Mg 영양상태에 관한 연구. 한국영양학회지, **23**, 25(1990)
11. 김신정 : 일부지역 농촌 부인의 마그네슘과 칼슘의 영양상태에 관한 연구. 숙명여자대학교 석사학위논문(1988)
12. 김상순, 김순경 : 단백질 섭취수준이 인체내 칼슘, 인, 마그네슘 대사에 미치는 영향에 관한 연구. 숙명여자대학교 생활과학연구소 논문집, **2**, 59(1988)
13 Howe, J. C. : Basic nutrition in health and disease. Saunders, 7th ed., p. 92(1981)
14. McCance, W. L. : The effect of protein intake on the absorption of calcium and magnesium. *Biochem. J.*, **36**, 684(1942)
15. 고진복, 정복미, 이성동 : 식이성 단백질 수준에 따른 체내 무기물 함량에 미치는 영향. 부산여대 논문집, **22**, 561(1987)
16. Miller, E. R., Eshiet, N., Ku, P. K., Bradley, B. L. and Ullrey, D. E. ' Effects of dietary protein source upon nutrient balance in the boby pig. *Fed. Proc.*, **27**, 726(1968)
17. 한국영양학회 : 한국인 영양권장량 6차 개정판. p.92(1995)
18. Thompson, R. H. and Blanchflower, W. J. : Wet ashing apparatus to prepare biological materials for atomic absorption spectrophotometry. *Lab. Prac.*, **20**, 859(1971)
19. Bunce, G. E., Reeves, P. G., Oba, T S. and Sauberlich, H E. : Influence of the dietary protein level on the magnesium requirement. *J. Nutr.*, **79**, 220(1963)
20 Koh, E. T , Reiser, S and Fields, M. ' Dietary fructose as compared to glucose and starch increase the calcium content of kidney of magnesium-deficient rats. *J. Nutr.*, **119**, 1173(1989)
21. Bunce, G. E., Saacke, R. G. and Mullins, J. : The morphology and pathogenesis of Mg deficiency-induced nephrocalcinosis *Exp. Mole. Path.*, **33**, 203(1980)
22 Weaver, C. M. and Evans, G H : Nutrient interaction and hypertention. *Food. Technol.*, **40**, 99(1986)
23. Greger, J. L., Krzykowski, C. E., Khazen, R. R. and Krashoc, C. L : Mineral utilization by rats fed various commercially available calcium supplements or milk. *J. Nutr.*, **117**, 717(1987)
24. 김지영, 손숙미 : 식이 Mg 함량이 immobilization stress를 받은 흰쥐의 일반적인 stress반응과 심근의 전해질 및 hydroxyproline 양에 미치는 영향. 한국영양학회지, **28**, 442(1995)
25. Robeson, B. L., Maddox, T. L. and Martin, W. G. : Muscle changes in rats fed Mg and Ca deficient diets. *J. Nutr.*, **109**, 1383(1979)
26 Britton, W. M. and Stokstad, E. L R : Aorta and other soft tissue calcification in the magnesium-deficient rat. *J. Nutr*, **100**, 1501(1970)
27. Schwartz, R., Wang, F. L. and Woodcock, N. A. : Effect of varying dietary protein-magnesium ratios on nitrogen utilization and magnesium retention in growing rats. *J. Nutr.*, **97**, 185(1969)
28. Kimura, M. and Itokawa, Y. ' Inefficient utilization of iron and minerals in magnesium deficient rats. *Magnesium in health and disease*. John Libby & Company Ltd., p. 95(1988)
29. Wachman, B. : Diet and osteoporosis. *Lancet*, **1**, 958 (1968)
30. Bell, R R , Engelmann, D. T., Sie, T. and Draper, H H. : Effect of a high protein intake on Ca metabolism in the rat. *J. Nutr*, **105**, 475(1975)
31. Whiting, S. J. and Draper, H. H. : The role of sulfate in the calciuria of high protein diets in the adult rat. *J. Nutr.*, **110**, 212(1980)
32. Anast, C. S. and Gardner, D. W. · Magnesium metabolism. In "*Disorders of mineral metabolism : pathophysiology of calcium, phosphorus and magnesium*" Bronner, F. and Coburn, J. W.(eds.), Academic Press, New York, p 423(1981)

(1997년 7월 19일 접수)