

저단백식이와 마그네슘 결핍식이 섭취시 마그네슘 보충이 흰쥐의 칼슘, 마그네슘 및 인 대사에 미치는 영향

정 복 미

여수대학교 식품영양학과

Effects of Magnesium Supplement on Calcium, Magnesium, and Phosphorus Metabolism in Rats Fed Protein and Mg Deficient Diets

Jung, Bok Mi

Department of Food Science and Nutrition, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

ABSTRACT

The present study was carried out to investigate the effects of magnesium supplement levels and periods on calcium, magnesium, and phosphorus metabolism in male Sprague-Dawley rats given low protein and magnesium deficient diets for 2 weeks. Serum calcium content was significantly lower in the magnesium supplement group than in the magnesium-deficient group, but calcium excretion in urine and feces was significantly increased as magnesium level and period was increased. Increasing the dietary magnesium level and periods raised serum content and excretion of magnesium in urine & feces. Urinary excretion of phosphorus in two week group was significantly lower in the magnesium supplement group than in the magnesium-deficient group. Fecal phosphorus excretion in supplement group (Mg 800mg/kg diet) was significantly higher than that of other group. (*Korean J Nutrition* 31(6) : 1031~1038, 1998)

KEY WORDS : magnesium deficient · magnesium supplement · mineral metabolism · rat.

서 론

마그네슘은 탄수화물, 지방, 단백질과 전해질 대사의 많은 효소와 관계가 있으므로 대사활동에 필수적이며, 신경근 기능에 깊이 관련된 세포내 이온으로 중요하다¹⁾. 마그네슘은 식품에 널리 분포되어 있으며, 특히 곡류와 푸른 채소류는 풍부한 급원인 반면 에너지원인 지방과 설탕 등에는 별로 함유되어 있지 않다. 정상식을 하는 경우 마그네슘이 결핍될 염려는 없으나 식생활이 점차 서구화 되어 가는 과정에서 마그네슘의 섭취량이 낮아질 수 있으며 또한 조리과정에서도 마그네슘의 손

실이 나타날 수 있다²⁾. 마그네슘은 특히 당대사와 밀접한 관련이 있어 임상연구를 통하여 당뇨병환자에서 저마그네슘혈증이 동반되고 저마그네슘혈증과 당뇨조절 지표간에 밀접한 상관관계가 있음이 밝혀지고 있다^{3,4)}. 또한 마그네슘은 운동중 에너지대사에 필수적이며, 운동과 마그네슘과의 관계에서 운동선수들의 마그네슘 섭취량 감소를 포함한 현대 산업화사회에서의 식이습관으로 인해 마그네슘 결핍이 만연될 수 있으며 이는 운동을 방해할 수 있음을 시사하였다⁵⁾. Brilla와 Harley⁶⁾는 강도 높은 운동후 고마그네슘혈증과 더불어 노중 마그네슘배설이 증가하였다고 하였으며, Beuker와 Helbig⁷⁾는 근육강도와 마그네슘의 연구에서 높은 수준의 강도를 나타내는데는 마그네슘이 요구된다고 하였다. 또한 Abraham 등⁸⁾은 여러 가지 수술로 인한 스트

채택일 : 1998년 6월 15일

레스시 마그네슘 결핍이 올 수 있으며, 마그네슘 결핍은 여러 가지 질환 특히 알코올중독증⁹⁾이나 심장병환자에게서도 보고되고 있다¹⁰⁾. 이러한 마그네슘 결핍은 체내 정상기능에 많은 변화를 가져오는데, 결핍되는 원인은 식이섭취량 감소, 장내 흡수감소, 장내손실증가, 신장기능이상에 의한 손실증가 등이며 이중 한가지 또는 복합적으로 올 수 있고, 쥐의 경우 serotonin, catecholamin, lipid, thiamin과 여러 가지 무기질 대사의 불균형을 일으키며, 그 증상은 주로 말초혈관확장, 과홍분, 경련, 원형탈모증, 영양성 피부장애, 껍질혈중 등으로 나타난다고 보고되었다⁹⁾. 마그네슘 결핍시 나타날 수 있는 무기질 대사의 불균형으로 Cerklewski¹¹⁾는 쥐에서 마그네슘 결핍은 조직의 납농도를 증가시켰음을 보고하였고, Whang과 Aikawa¹²⁾는 마그네슘 결핍시 칼륨이 결핍됨을 보고하였으며, Macintyre와 Davidson¹³⁾은 마그네슘 결핍에 의해 칼륨은 결핍되나 나트륨은 체내에 보유되었음을 관찰하였다. Rude와 Olerich¹⁴⁾는 마그네슘결핍은 사람의 경우 부갑상선호르몬의 분비와 작용을 손상시켜 osteopenia를 초래하고, 동물에서는 골격을 약하게 한다고 보고하였다. 반면 마그네슘 섭취 증가는 대변중의 인배설을 증가시켜 negative balance를 일으키기 쉬우며, Vit D에 대한 sensitivity를 저하시킴으로써 인과 칼슘대사에 작용한다고 보고되었다¹⁵⁾. 이와 같이 한가지 무기질의 결핍은 여러조직에서 다른 무기질의 불균형을 일으킬 수 있다¹⁶⁾.

우리나라에서는 아직은 마그네슘의 보충효과를 본 실험이 없으므로 본 연구에서는 전보¹⁷⁾에서 단백질과 마그네슘의 수준을 달리하여 지방대사등을 살펴 본 결과, 단백질 8%수준에서 마그네슘 수준에 따라 지질대사에 뚜렷한 결과가 나타난 것을 이유로, 본 연구에서는 2차적으로 단백질수준을 8%로 고정하고, 마그네슘을 2주간 결핍시킨군을 baseline으로 하여 그 후 계속 2주, 4주간 결핍시킨군, 마그네슘 400mg, 800mg 보충수준과 기간에 따른 흰쥐의 혈청, 뇨, 분변의 칼슘, 마그네슘 및 인의 상태를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물 및 식이

실험동물은 평균 210g 되는 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐로, 본 실험실에서 직접 교미시켜 낳은 지 7~8주 된 것으로, 이유후 실험시작전까지 고형사료로(삼양유지사료) 사육 후 동물의 체중에 따라 각 군의 평균 체중이 비슷해지도록 24마리씩 총 72마리를 3 group으로 분류한 다음, 6주에 걸쳐 2주에 한번씩 매번 8마

리의 동물을 희생시켰으며, 실험실계는 Table 1과 같다.

동물실험실의 사육조건은 온도 24±2℃, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며, 명암은 12시간(08:00-20:00)을 주기로 자동 조절되었으며, 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 Acetate) 용액에 24시간 동안 담갔다가 꺼낸 후 2차 증류수로 3번 이상 세척 후, dry oven에서 습기를 완전히 제거한 다음 사용하였다.

실험식이의 조성은 Table 2와 같으며 단백질은 Casein(Junsei, Co.)으로 8% 수준만 사용하였으며 마그네슘은 Magnesium oxide(Junsei, Co.) 형태로 3가지 수준(Mg-free, 400mg/kg diet, 800mg/kg diet)으로 공급하였다. 동물실험에서 AIN의 Mg 요구량은 400mg/kg diet이며, 결핍군은 Mg-free로 하였고, 보충군은 요구량의 2배수준인 800mg/kg diet로 공급하였다. 전분은 미원(주), 섬유소는 Sigma Co. 제품으로 사용하였고, 그외 무기질 및 비타민은 Junsei Co. 제품을 사용하였다.

2. 식이효율

식이섭취량은 매일, 체중증가량은 일주일당 한번 일

Table 1. Experimental design

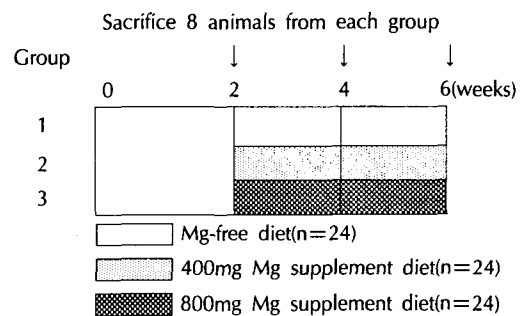


Table 2. Formulation of magnesium-free diet(g/kg diet)

Ingredients	
Casein	80
DL-Methionine	3
Cornstarch	770
Fiber ¹⁾	50
Corn oil	50
AIN-mineral mixture(76)	35
(omitting Mg ²⁺)	
AIN-vitamin mixture(76)	10
Choline chloride	2
Mg ²⁺²⁾	Varied

1) Cellulose : Sigma Co., LTD. U.S.A

2) The magnesium oxide was added to reach the level of 400mg, 800mg magnesium/kg diet

정한 시간에 측정하였고, 식이효율은 일주일간의 체중 증가량을 일주일간의 식이섭취량으로 나눈 값으로 계산하였다.

3. 시료채취 및 분석

노는 실험종료 3일 전부터 대사장(metabolic cage)에서 부패를 방지하기 위하여, toluene 2~3방울 넣은 용기에 수집하여 매일 총양을 측정 후, 일정량 희석한 후 원심분리하여 상등액을 취하여 3일간의 노를 시료분석 때까지 냉동 보관하였고, 분은 채취하여 105±5℃에서 1시간 건조시켜 깨끗한 솔로 다른 이물질 제거 후, 막자사발에 곱게 갈아 일정량 취하여 냉동 보관 후 무기질 측정에 이용하였다. 혈액은 실험종료 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 냉동 보관한 다음 시료분석에 사용하였고, 채혈 후 간, 신장, 심장을 적출하여 지방 및 결합조직을 제거하고, 0.9% 생리식염수로 세척하여 여지로 수분을 제거한 후 무게를 측정하였다.

냉동보관한 노, 분 및 혈액은 Thompson-Blanchflower법¹⁸⁾에 의한 습식분해를 하여, 칼슘과 마그네슘은 원자흡광광도계(Shimadzu AA 646)로 측정하였으며, 인은 Fiske-Subbarow법¹⁹⁾으로 측정하였다.

4. 통계처리

실험식이에 의한 결과는 평균과 표준편차로 나타내었으며, 통계처리는 SAS를 이용하여 분산분석과 Duncan's Multiple Range Test로 각 군의 평균치를 비교

하였고, 이에 대한 유의성 검정은 P<0.05 수준에서 행하였다.

결과 및 고찰

1. 식이효율

단백질 8% 식이와 마그네슘 결핍식이 섭취 후 마그네슘 보충기간과 수준에 따른 흰쥐의 식이효율은 Table 3과 같다. 식이효율은 결핍군의 경우 결핍기간이 길어질수록 식이효율은 떨어지는 경향이었으나, 400mg 보충군의 경우 2주 결핍군에 비해 2주 보충군에서 식이효

Table 3. Feed efficiency ratio(FER) of rats fed diets with different of Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Mg	FER
Deficient for 2 weeks (baseline)		0.19±0.03 ^a
Deficient	0mg	
2 weeks		0.13±0.03 ^{ba}
4 weeks		0.11±0.01 ^b
Supplement	400mg	
2 weeks		0.19±0.02 ^{aA}
4 weeks		0.12±0.01 ^b
Supplement	800mg	
2 weeks		0.12±0.03 ^{ba}
4 weeks		0.11±0.01 ^b

1) Mean±S.D.(n=8)

2) Values with different small superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) are significantly different at p<0.05

3) Values with different capital superscripts within the each column Mg supplement levels are significantly different at p<0.05

Table 4. Organ weight of rats fed diets with different of Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Liver wt.	Kidney wet wt.	Kidney dry wt.	Heart wt.
	g/100g B.W			
Deficient for 2 weeks (baseline)	2.85±0.08 ^{NS2)}	0.78±0.03 ^{NS}	0.53±0.03 ^{a3)}	0.32±0.01 ^b
Deficient	0mg			
2 weeks	3.00±0.42	0.82±0.11	0.44±0.06 ^{ba4)}	0.36±0.04 ^{aA}
4 weeks	2.76±0.28	0.80±0.07	0.42±0.02 ^b	0.34±0.01 ^{ab}
Supplement	400mg			
2 weeks	2.74±0.23	0.74±0.44	0.40±0.03 ^{bb}	0.32±0.02 ^{bb}
4 weeks	2.89±0.15	0.77±0.06	0.39±0.03 ^b	0.33±0.02 ^{ab}
Supplement	800mg			
2 weeks	2.95±0.31	0.78±0.06	0.43±0.03 ^{baB}	0.31±0.02 ^{bb}
4 weeks	3.00±0.36	0.76±0.09	0.38±0.04 ^b	0.33±0.01 ^{ab}

1) Mean±S.D.(n=8) 2) not significant at p<0.05

3) Values with different small superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) are significantly different at p<0.05

4) Values with different capital superscripts within the each column Mg supplement levels are significantly different at p<0.05

율은 변화가 없었으며, 800mg 보충군의 식이효율은 떨어졌다. 전반적으로 마그네슘 보충수준과 기간을 달리 하여 식이효율을 보았을 때, 400mg 보충군에서도 2주 보충군에서만 2주 결핍군에 비해 식이효율의 변화가 없었을 뿐, 다른군에서는 전체적으로 효율이 떨어졌음을 알 수 있었다. 2주 결핍군에서 식이효율이 높게 나타난 것은 식이급여기간이 실험시작에서부터 짧았기 때문이라 생각되며, 400mg 보충군에서는 2주와 4주 보충군에서 모두 식이효율이 비슷하게 나올 것으로 예상되었으나, 4주 보충군에서 오히려 떨어진 것은 실험동물의 개체에 대한 오차에서 발생할 수도 있지 않을까 사료된다.

2. 결핍증상

본 실험시작 후 10일 경과뒤부터 마그네슘 결핍쥐에서 영양성 피부장애로 시작하여 컷불혈중, 경련, 원형탈모증 등이 나타난 것을 확인할 수 있었다.

3. 장기무게

단백질은 8%로 동일한 수준에서 마그네슘의 보충기간과 수준이 흰쥐의 체중 100g당 각 장기의 무게에 미치는 영향을 Table 4에 제시하였다. 마그네슘 보충기간에 따른 간의 무게는 각 군간에 유의성이 없었으며, 신장의 무게에서 건조무게의 경우 보충기간에 따른 효과에서 결핍군에서는 2주 결핍군에 비해 결핍기간이 길수록 낮았고, 보충군의 경우 400mg, 800mg 보충군은 2주 결핍군에 비해 2주, 4주 보충군에서 모두 낮았으며 (P<0.05). 이는 보충기간이 길어질수록 낮아지는 경향이였다. 보충수준의 경우 2주 보충군에서 4주결핍군에

비해 400mg 보충군이 유의하게 낮았으며, 800mg 보충군과는 차이가 없었고, 4주 보충군에서는 4주결핍군과 보충군과의 차이는 나타나지 않았다. Kikunaga 등²⁰⁾은 마그네슘 결핍쥐에게 시금치의 마그네슘 이용율에 대한 연구에서 신장의 칼슘함량을 측정 한 결과, 마그네슘 결핍 쥐들은 대조군에 비해 많은 양의 칼슘이 신장에 축적되었으나, 시금치를 첨가한 마그네슘 결핍쥐들은 마그네슘결핍 대조군에 비해 신장의 칼슘양이 현저히 감소하였음을 보고하였다. 본 연구에서도 결핍군에 비해 보충군에서 신장의 건조무게가 낮은 것으로 나타났으며, 이와같이 낮은 이유가 마그네슘의 보충에 의해 칼슘의 함량이 낮아진것이 아닌가 사료되나, 보충수준과 기간, 식이중의 요인들에 따라 달라질 수 있으므로 더 많은 연구가 요구된다. 심장의 무게는 결핍군에서 2주 결핍군에 비해 4주 결핍군이 유의하게 증가하였으며, 800mg 보충군의 경우 2주 결핍군과 보충군 사이에는 차이가 없었으나, 2주 보충군에 비해 4주 보충군이 증가하였다(P<0.05). 보충수준에 따른 무게는 2주 보충군에서 결핍군에 비해 보충군에서 유의하게 증가하였으며, 4주 보충군에서는 마그네슘 보충수준에 따른 차이는 없었다. Cunnane 등²¹⁾은 14주 동안 마그네슘 결핍식을 먹인 쥐의 심장의 무게는 대조군에 비해 유의적으로 증가하였다고 하였는데, 이는 본 연구결과와 비슷한 경향이였다.

4. 혈청중 칼슘, 마그네슘 및 인의 함량

저단백식이와 저마그네슘식이 섭취시 마그네슘 보충수준과 기간에 따른 혈청중 칼슘, 마그네슘 및 인의 함

Table 5. Serum calcium, magnesium and phosphorus contents of rats fed diets with different of Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Ca		Mg	P
	µg/ml			
Deficient for 2 weeks(baseline)	130.86 ± 3.21 ^{a2)}	15.54 ± 1.51 ^c	76.97 ± 3.18 ^{N55)}	
Deficient 0mg				
2 weeks	120.98 ± 9.31 ^b	12.66 ± 2.76 ^{c3)}	69.28 ± 1.28	
4 weeks	118.01 ± 2.82 ^{ba4)}	15.52 ± 2.29 ^{cb}	74.32 ± 4.85	
Supplement 400mg				
2 weeks	120.43 ± 9.26 ^b	21.49 ± 2.35 ^{bb}	79.01 ± 2.23	
4 weeks	117.52 ± 4.98 ^{ba}	29.70 ± 4.37 ^{aa}	77.85 ± 4.46	
Supplement 800mg				
2 weeks	111.43 ± 5.63 ^{bc}	27.38 ± 3.06 ^{aa}	74.12 ± 2.19	
4 weeks	106.67 ± 6.01 ^{cb}	35.01 ± 6.40 ^{aa}	75.48 ± 8.21	

1) Mean ± S.D.(n=8)
 2) Values with different small superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) are significantly different at p<0.05
 3) Values with different capital superscripts within the each column Mg supplement levels are significantly different at p<0.05
 4) Values with different small superscripts with prime within Mg supplement periods(4 weeks) are significantly different at p<0.05
 5) not significant at p<0.05

량을 측정된 결과는 Table 5와 같다. 혈청중 칼슘함량에서 2주 결핍군의 경우 130.86µg/ml이었으나 결핍기간이 2주, 4주로 길어짐에 따라 유의하게 감소되었으며, 400mg 보충군도 기간에 따라 결핍군과 유사한 경향을 나타냈다. 800mg 보충군의 경우 2주, 4주군 모두 결핍군, 400mg 보충군에 비해 유의하게 감소하였다. 혈청중 마그네슘의 함량에서는 2주 결핍군에 비해 결핍기간이 2주, 4주 더 연장됨에 따라 약간 감소하였으나 유의적인 차이는 없었다. 그러나 400mg 보충군의 경우 결핍군에 비해 유의하게 증가하였으며, 2주군에 비해 4주군에서 더욱 증가하였다. 800mg 보충군의 경우 0mg, 400mg 군에 비해 유의적으로 증가하였으며, 보충기간이 길수록 증가하는 경향이였다. 혈청중 인함량의 경우 마그네슘 보충수준과 기간에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Sacks 등²²⁾은 저마그네슘혈증환자에게 정맥내 MgSO₄의 형태로 kg당 0.5~0.75mmol을 투여한 결과 혈청중 마그네슘의 농도가 증가하였음을 보고하였고, Rude와 Olerich¹⁴⁾는 gluten-sensitive enteropathy환자와 같은 흡수불량을 나타낸 환자에게 나타난 마그네슘 결핍현상에서, 2년간 마그네슘을 보충한 결과 혈청중 마그네슘, 칼슘, 인의 농도가 정상범위로 돌아왔으며, 혈청중 부갑상선호르몬의 농도가 상승하여 bone mineral density가 증가하였음을 보고하였다. 본 연구에서는 혈청중 칼슘함량에서 결핍군과 보충군간에 유의적인 차이는 보이지 않았으나, 800mg을 4주간 보충한 군이 다른군에 비해 유의적으로 감소하였다. Hess와 Britton²³⁾은 닭에게 마그네슘을 수준별로 섭취시킨 결과, 과량의 마그네슘급여가 닭의 혈장중 칼슘량은 감소시킨 반면 혈장 마그네슘 함량은 증가

되었다고 보고하였다. 이는 혈청중 마그네슘의 함량이 높아짐에 따른 칼슘과 마그네슘의 길항작용으로 사료된다.

5. 뇨중 칼슘, 마그네슘 및 인의 배설량

Table 6은 8% 단백질식이와 저마그네슘 섭취시 마그네슘 보충실험 후 뇨중 배설되는 칼슘, 마그네슘 및 인의 함량을 측정된 것이다. 뇨중 칼슘 배설량의 경우 2주 결핍군에서 0.19µg/day로 나타났으나, 결핍기간이 2주, 4주로 길어짐에 따라 약간 감소하는 경향이였으나 유의적인 차이는 없었고, 400mg 보충군에서는 2주군에서는 유의적 차이가 없었으나, 4주군에서는 0mg군에 비해 유의적으로 증가하였으며 800mg군의 경우 결핍군에 비해 유의적으로 높았으며, 400mg 보충군에 비해서는 보충기간이 2주에서는 차이가 없었으나, 4주의 경우 800mg군이 훨씬 높은 배설량을 나타냈다. 뇨중 마그네슘 배설량에서는 마그네슘 보충기간에 따른 뇨중 마그네슘 배설량은 결핍군의 경우 2주 결핍군에 비해 4주, 6주 결핍군이 증가하였으며 (P<0.05), 보충군의 경우 400mg 보충군에서는 2주 결핍군에 비해 유의적으로 증가하였고, 2주 보충군에 비해 4주 보충군이 크게 증가하였다. 800mg 보충군도 400mg 보충군과 유사한 결과를 나타냈으며, 보충기간이 길어질수록 뇨중 마그네슘 배설량도 증가되었다. 보충수준에 따른 효과에서, 2주 보충군의 경우 결핍군과 400mg 보충군간에 유의적인 차이가 없었으나, 결핍군에 비해 800mg 보충군은 유의적으로 증가하였으며, 400mg과 800mg 보충군간에는 차이가 나타나지 않았다. 4주 보충군의 경우 결핍군에 비해 400mg과 800mg 보충군 모두 마

Table 6. Urinary calcium, magnesium and phosphorus contents of rats fed diets with different of Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Ca	Mg	P
Deficient for 2 weeks(baseline)	0.19 ± 0.01 ^{d2)}	1.03 ± 0.09 ^d	0.05 ± 0.01 ^c
Deficient 0mg			
2 weeks	0.12 ± 0.03 ^{dB3)}	4.30 ± 1.71 ^{cB}	0.27 ± 0.03 ^{BA}
4 weeks	0.17 ± 0.04 ^{DC4)}	2.48 ± 0.25 ^{DB}	0.15 ± 0.03 ^B
Supplement 400mg			
2 weeks	0.31 ± 0.01 ^{cdAB}	5.10 ± 0.98 ^{cdAB}	0.02 ± 0.01 ^{CB}
4 weeks	0.66 ± 0.02 ^{bb'}	13.13 ± 1.28 ^{aa'}	0.12 ± 0.02 ^B
Supplement 800mg			
2 weeks	0.42 ± 0.01 ^{CA}	6.20 ± 0.46 ^{bA}	0.07 ± 0.01 ^{CB}
4 weeks	4.21 ± 0.41 ^{aa'}	14.53 ± 2.14 ^{aa'}	0.11 ± 0.02 ^B

1) Mean ± S.D.(n=8)

2) Values with different small superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) are significantly different at p<0.05

3) Values with different capital superscripts within the each column Mg supplement levels are significantly different at p<0.05

4) Values with different small superscripts with prime within Mg supplement periods(4 weeks) are significantly different at p<0.05

그네슘 배설량이 유의적으로 높게 나타났다. 노중 인 배설량의 경우 결핍군에서 2주 결핍군에 비해 4주, 6주 결핍군이 유의적으로 증가하였으며, 6주 결핍군에 비해 4주 결핍군의 인 배설량이 유의하게 증가되었다. 400mg 보충군에서는 2주 보충군은 2주 결핍군에 비해 오히려 감소하였으나, 4주 보충군은 훨씬 높게 나타났다($P < 0.05$). 800mg 보충군의 경우 2주 보충군은 2주 결핍군과 비슷하게 나타났으나, 4주 보충군에서는 2주 결핍군에 비해서 높게 나타났으며, 4주 보충군에서는 결핍군, 보충군간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Pastoor 등²⁴⁾은 난소를 절제한 고양이에게 마그네슘수준을 달리 한 정제식이(0.19, 0.38, 0.76, 1.52g Mg/kg diet)를 섭취시킨 후 노중 칼슘, 마그네슘, 인 함량을 측정된 결과 식이 마그네슘 수준이 높아짐에 따라 노중 마그네슘 배설량 및 칼슘배설량이 유의하게 증가하였으나, 인의 노중 배설량은 떨어졌음을 보고하였다. 본 연구에서는 칼슘 및 마그네슘의 노중 배설량이 마그네슘 보충수준과 기간에 따라 뚜렷이 증가되는 양상을 나타낸 것은 타연구와 일치하나, 노중 인 배설량은 4주 보충군에서 경향은 떨어지나 유의적인 차이는 없었다.

6. 분중 칼슘, 마그네슘 및 인 배설량

저단백질과 마그네슘 식이섭취 후 마그네슘보충기간과 수준에 따른 분중 칼슘, 마그네슘 및 인의 배설량은 Table 7과 같다. 분중 칼슘배설량의 경우 2주 결핍군에 비해 2주, 4주로 결핍기간이 길어질수록 배설량이 유의적으로 증가하였고, 보충수준과 기간에 따른 차이에서, 400mg 보충군에서 2주 보충군의 칼슘배설량이 4주 결핍군에 비해 오히려 떨어졌으며, 4주 보충군도 6주결핍

군에 비해 약간 떨어졌다. 800mg의 경우 2주 보충군에서는 4주결핍군에 비해 약간 증가되었으나, 유의적인 차이는 아니었다. 4주 보충군의 경우 6주 결핍군에 비해 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 아니었고, 400mg 보충군에 비해서는 유의적으로 증가하였다. 분중 마그네슘 배설량에서는 결핍군간에는 유의적인 차이가 없었으며, 400mg 보충군에서 2주, 4주군의 경우 결핍군에 비해 유의적으로 증가하였으나 기간에 따른 차이는 보이지 않았다. 800mg 보충군에서도 결핍군과 400mg 보충군에 비해 유의적으로 증가하였고, 보충기간이 길수록 증가하는 경향이였다. 분중 인의 배설량에서는 2주 결핍군이 가장 낮았으며, 4주, 6주로 결핍기간이 길어질수록 배설량이 증가하는 경향이였다. 400mg 보충군의 경우 2주군은 4주, 6주 결핍군에 비해 감소되었으며, 4주군은 6주 결핍군과 차이가 없었다. 800mg 보충군에서는 2주군은 4주 결핍군과는 차이가 없었으나, 4주군은 결핍군과 다른 보충군과 비교해 유의적으로 높게 나타났다. Pastoor 등²⁴⁾은 식이 마그네슘 수준이 높아짐에 따라 분중 마그네슘 배설도 증가한다고 하였으며, 이는 본 연구결과와 일치하는 경향이였다. Spencer⁶⁾는 마그네슘 섭취 증가는 대변중의 인배설을 증가시킨다고 하였는데, 본 연구에서는 400mg 보충수준에서는 기간에 관계없이 결핍군과 차이가 없었으나, 800mg으로 4주간 보충시킨 후에는 다른군에 비해 유의하게 증가하였음을 나타냈는데, 이는 마그네슘결핍후 많은 양의 보충으로 적어도 4주이상 보충시킨 후에 대변중의 인배설이 증가됨을 알 수 있었다. 칼슘, 마그네슘 및 인과의 대사관계에서 Ohta 등²⁵⁾은 인의 흡수정도는 쥐에게 칼슘과 마그네슘주입을 어디에 하느냐에 따라 달라

Table 7. Fecal calcium, magnesium and phosphorus contents of rats fed diets with different of Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Ca	Mg	P
	mg/day		
Deficient for 2 weeks(baseline)	8.69 ± 0.40 ^{d2)}	0.64 ± 0.13 ^d	2.95 ± 0.56 ^c
Deficient 0mg			
2 weeks	11.31 ± 1.48 ^{ca3)}	0.54 ± 0.06 ^{dc}	10.45 ± 1.09 ^{ca}
4 weeks	20.63 ± 1.40 ^{ab4)}	0.56 ± 0.08 ^{dc}	14.50 ± 1.02 ^{bb}
Supplement 400mg			
2 weeks	8.45 ± 0.33 ^{ab}	2.62 ± 0.62 ^{cb}	6.39 ± 0.99 ^{ab}
4 weeks	18.08 ± 0.71 ^{bb}	3.35 ± 0.33 ^{cb}	14.98 ± 1.07 ^{bb}
Supplement 800mg			
2 weeks	12.70 ± 1.44 ^{ca}	7.67 ± 1.01 ^{ba}	10.98 ± 1.14 ^{ca}
4 weeks	22.93 ± 1.99 ^{aa}	10.60 ± 0.73 ^{aa}	20.94 ± 0.90 ^{aa}

1) Mean ± S.D.(n=8)
 2) Values with different small superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) are significantly different at $p < 0.05$
 3) Values with different capital superscripts within the each column Mg supplement levels are significantly different at $p < 0.05$
 4) Values with different small superscripts with prime within Mg supplement periods(4 weeks) are significantly different at $p < 0.05$

진다고 하였는데 즉 칼슘과 마그네슘을 위로 주입하는 것보다 장으로 주입하는 것이 인의 흡수정도가 유의하게 높게 나왔다고 보고하였으며, Chonan 등²⁶⁾은 과일 의 식이 인과 칼슘의 첨가는 쥐에게 마그네슘 흡수율과 혈청중 마그네슘의 농도를 감소시킨다고 하였으며, 칼슘의 투여형태에 따라 신장에서의 칼슘축적정도와 혈청 마그네슘 농도가 달라진다고 보고하였다. Hashimoto 등²⁷⁾은 고양이의 경우 식이중 단백질 함량 즉 고 단백질 섭취시 노중 마그네슘농도가 감소되었음을 나타냈으나, 노중 칼슘배설은 식이단백질 수준에 따른 영향이 없었음을 보고하였다. 이와같이 칼슘, 마그네슘 및 인의 대사에 있어서 각 무기질의 급여형태, 기간 및 수준등에 따라 상호간에 영향을 미치므로 한마디로 결론을 내리기가 어려우며, 본 실험에서도 마그네슘 보충기간과 수준에 따라 마그네슘은 일정한 경향을 나타내었으나, 혈청 및 노중 칼슘의 경우는 마그네슘보충수준과 기간에 따라 타연구와 비슷한 양상을 나타내었으나, 혈청중 인함량과 노중 인배설량은 타연구와 반대되는 경향을 나타내어 해석하기가 어려웠으며, 분중 칼슘과 인 배설량의 경우도 마찬가지였다. 이는 무기질 대사실험시 시료의 수집과정, 전처리, 측정과정에서의 오차도 무시할 수 없으며, 기존의 이론을 바탕으로 더 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

· 요약 및 결론

본 연구는 단백질수준을 8%로 고정하고, 마그네슘을 2주간 결핍시킨군을 baseline으로 하여 그 후 계속 2주, 4주간 결핍시킨군, 보충수준과 기간에 따라 마그네슘 400mg, 800mg을 각각 2주, 4주간 보충급여 후, 흰쥐의 혈청, 뇨, 분중의 칼슘, 마그네슘 및 인의 상태를 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 혈청중 칼슘함량은 결핍기간이 길어짐에 따라 유의하게 감소되었고, 400mg 보충군도 보충기간에 따라 결핍군과 유사한 경향을 나타냈다. 800mg 보충군은 2주, 4주군 모두 결핍군, 400mg 보충군에 비해 유의하게 감소하였다. 혈청중 마그네슘의 함량에서는 400mg 보충군이 결핍군에 비해 유의하게 증가하였으며, 특히 2주군에 비해 4주보충군에서 더욱 증가하였다. 800mg 보충군은 0mg, 400mg군에 비해 유의적으로 증가하였으며, 보충기간이 길수록 증가하는 경향이였다. 혈청중 인함량은 마그네슘 보충수준과 기간에 따른 유의적인 차이가 없었다.

2) 노중 칼슘배설량은 결핍군간에 차이는 없었고, 보충수준과 기간에 관계없이 보충군이 결핍군에 비해 유

의하게 증가하였고, 2주보충군에 비해 4주보충군이 훨씬 높게 나타났다. 노중 마그네슘 배설량은 결핍군의 경우 2주군에 비해 결핍기간이 길수록 증가하였으며 ($P<0.05$), 보충군의 경우 400mg 보충군에서는 2주 결핍군에 비해 유의하게 증가하였고, 2주군에 비해 4주 보충군이 크게 증가하였다. 800mg 보충군도 보충기간이 길수록 노중 마그네슘 배설량이 증가되었다. 노중 인배설량은 결핍군에서 2주군에 비해 4, 6주군이 유의적으로 증가하였으며, 보충군에서는 보충수준에 관계없이 2주군에 비해 4주 보충군이 유의하게 증가되었다.

3) 분중 칼슘배설량은 2주 결핍군에 비해 결핍기간이 길수록 배설량이 유의하게 증가하였고, 400mg 보충군에서 2주, 4주 보충군의 칼슘배설량이 각각 결핍군에 비해 오히려 떨어졌으며, 800mg 보충군은 결핍군과는 차이가 없었고, 400mg 보충군에 비해서는 유의적으로 증가하였다. 분중 마그네슘 배설량은 400mg 보충군에서 2주, 4주군의 경우 결핍군에 비해 유의하게 증가하였으며, 800mg 보충군에서도 결핍군과 400mg 보충군에 비해 증가하였고, 보충기간이 길수록 증가하는 경향이였다. 분중 인의 배설량 역시 결핍기간이 길어질수록 배설량이 증가하는 경향이였다. 400mg 보충군의 경우 2주군은 4주, 6주 결핍군에 비해 감소되었으며, 800mg 보충군에서 4주군은 결핍군과 다른 보충군과 비해 높게 나타났다($P<0.05$).

이같은 결과에서 마그네슘결핍과 보충이 칼슘, 마그네슘 및 인과의 상호대사에 있어서 마그네슘은 결핍과 보충수준과 기간에 따른 현상이 뚜렷이 나타났으나, 칼슘과 인은 약간 다른 경향을 나타내 앞으로 무기질의 상호관계에 대한 더 많은 연구를 하여 보다 정확한 결론을 밝히는 것이 중요하리라 사료된다.

Literature cited

- 1) Ebel H, Gunther T. Magnesium metabolism : a review. *J Clin Chem Biochem* 18 : 257-70, 1980
- 2) The National Research Council. Recommended Dietary Allowances, Ninth edition, National Academy of Science, Washington. D.C. pp.134, 1980
- 3) Mather HM, Nisbet JA, Burton GH, Posten GJ, Bland JM, Bailey PA, Pilkington TRE. Hypomagnesemia in diabetes. *Clin Chem Acta* 95 : 235, 1979
- 4) Han JH, Yoon KH, Kang MI, Hong KS, Cha BY, Lee KW, Son HY, Kang SK. Correlations between serum magnesium concentration and metabolic control, and other variables in diabetic. *J Korean Diabetes Associat* 13 : 163-166, 1989

- 5) Kies CV, Driskell JA. Sports nutrition. minerals and electrolytes. CRC Press pp.159, 1995
- 6) Brilla LR, Haley TF. Effect of magnesium supplementation on strength training in humans. *J Am Coll Nutr* 11 : 326, 1992
- 7) Beuker F, Helbig H. Comparative study of the effect of magnesium replacement in runners and in sports involving strength(double-blind trial) *Magnesium Res* 2 : 69, 1989
- 8) Abraham AS, Shaoul R, Shimonovitz S, Eylath U, Weinstein M. Serum Mg in acute medical and surgical conditions. *Biochem Med* 24(1) 21-26, 1980
- 9) Shils ME, Olson JA, Shike M. Modern nutrition in health and disease. 6th ed. Lea & Febiger, pp.537-559, Philadelphia, 1994
- 10) Rayssiguier Y. New data on magnesium and lipid interrelationships in the pathogenesis of vascular disease. Magnesium Deficiency, pp.123-131, 1983
- 11) Cerklewski FL. Influence of maternal magnesium deficiency on tissue lead content of rats. *J Nutr* 113 : 1443-1447, 1983
- 12) Whang R, Aikawa JK. Magnesium deficiency and refractoriness to potassium repletion. *J Chron Dis* 30 : 65-68, 1977
- 13) Macintyre I, Davidsson D. The production of secondary potassium depletion, sodium retention, nephrocalcinosis and hypercalcemia by magnesium deficiency. *Magnesium Deficiency*, 70 : 456-462, 1958
- 14) Rude RK, Olerich M. Magnesium deficiency : possible role in osteoporosis associated with gluten-sensitive enteropathy. *Osteoporos Int* 6 : 453-461, 1996
- 15) Medalle R, Waterhouse CA, Hahn TJ. Vit D resistance in Mg deficiency. *Am J Clin Nutr* 29 : 854-858, 1976
- 16) Spencer H. Minerals and mineral interaction in human beings. *J Am Diet Associat* 86 : 864-866, 1986
- 17) Jung BM, Koh JB, Kim JY. Effects of magnesium supplement levels and periods on lipid metabolism and enzyme activities in rats. *Korean J Nutrition* 26 : 933-941, 1993
- 18) Thompson RH, Blanchflower WJ. Wet ashing apparatus to prepare biological materials for atomic absorption spectrophotometry. *Lab Prac* 20 : 859-861, 1971
- 19) Fiske CH, Subbarow Y. The colorimetric determination of phosphorus. *J Biol Chem* 66 : 375-400, 1925
- 20) Kikunaga S, Ishii H, Takahashi M. The bioavailability of magnesium in spinach and the effects of oxalic acid on magnesium utilization examined in diets of magnesium-deficient rats. *J Nutr Sci Vitaminol* 41 : 671-685, 1995
- 21) Cunnane SC, Soma M, Mcadoo KR, Horrobin DF. Magnesium efficiency in the rat increases tissue of docosahexaenoic acid. *J Nutr* 115 : 1498-1503, 1985
- 22) Sacks GS, Brown RO, Dickerson RN, Bhattacharya S, Lee PD, Mowatt-Larssen C, Iardi G, Kudsk KA. Mononuclear blood cell magnesium content and serum magnesium concentration in critically ill hypomagnesemic patients after replacement therapy. *Nutrition* 13 : 303-308, 1997
- 23) Hess JB, Britton WM. Effect of dietary magnesium excess in White Leghorn hens. *Poult Sci* 76 : 703-710, 1997
- 24) Pastoor FJ, Van't Klooster AT, Opitz R, Beynen AC. Effect of dietary magnesium level on urinary and faecal excretion of calcium, magnesium and phosphorus in adult, ovariectomized cats. *Br J Nutr* 74 : 77-84, 1995
- 25) Ohta A, Baba S, Ohtsuki M, TakiZawa T, Adachi T, Hara H. In vivo absorption of calcium carbonate and magnesium oxide from the large intestine in rats. *J Nutr Sci Vitaminol* 43 : 35-46, 1997
- 26) Chonan O, Takahashi R, Kado S, Nagata Y, Kimura H, Uchida K, Watanuki M. Effects of calcium gluconate on the utilization of magnesium and the nephrocalcinosis in rats fed excess dietary phosphorus and calcium. *J Nutr Sci Vitaminol* 42 : 313-323, 1996
- 27) Hashimoto M, Funaba M, Abe M, Ohshima S. Effect of chronic high protein intake on magnesium, calcium, and phosphorus balance in growing cats. *Exp Anim* 45 : 63-70, 1996