

저단백식이와 마그네슘 결핍식이 섭취시 마그네슘 보충이 흰쥐의 지질대사 및 효소 활성에 미치는 영향

정복미 · 고진복* · 김재영**

부산여자대학교 식품영양학과, 생물학과*

지산간호전문대학 임상병리과**

Effects of Magnesium Supplement Levels and Periods on Lipid Metabolism and Enzyme Activities in Rats

Jung, Bok Mi · Koh, Jin Bog* · Kim, Jae Young**

Department of Food and Nutrition, Biology,* Pusan Women's University, Pusan, Korea

Department of Clinical Pathology,** Jisan Junior College, Pusan, Korea

ABSTRACT

The present study was carried out to investigate the effects of magnesium supplement levels and periods on lipid metabolism in male Sprague-Dawley rats given low protein and magnesium deficient diets. The effects of magnesium supplement levels and periods on lipid metabolism in rats given a low protein and magnesium deficient diet for 2 weeks were investigated. Serum total lipid and triglyceride contents were significantly lower in magnesium supplement group compared with magnesium deficient group. Serum HDL-cholesterol/total cholesterol ratio was significantly increased as magnesium supplement level was increased. Liver total lipid, triglyceride, total cholesterol and phospholipid contents were significantly lower in magnesium supplement group than those in magnesium deficient group. Serum ALP, GOT and GPT activities were significantly decreased in magnesium supplement group compared with magnesium deficient group. In summary, the effects of magnesium supplement on lipid metabolism and enzyme activities were significant and we can see that magnesium supplement level proper to be requirement level(400 mg/kg diet) in the other cases except serum lipid contents.

KEY WORDS : low protein diet · magnesium supplement · lipid metabolism.

서 론

최근 심혈관 질환이 현대생활에서 주된 사망의 원인으로 부각되면서 이를 예방하기 위한 여러 가지 연구가 활발하게 진행되고 있다¹⁾. 그중 우리 체내에

채택일 : 1993년 9월 27일

다량의 무기질인 마그네슘이 심혈관 질환과 밀접한 관계가 있다고 보고되고 있다²⁾³⁾. 마그네슘 함량과 고혈압, 협혈성 심장질환과의 관계에 대한 역학 조사에서 물과 토양의 마그네슘 함량이 낮은 지역에서는 고혈압과 협혈성 심장 질환의 발병률이 높음을 보고하였다⁴⁾⁵⁾. Rasmussen 등⁶⁾은 협혈성

Mg 보충수준과 기간에 따른 지질대사

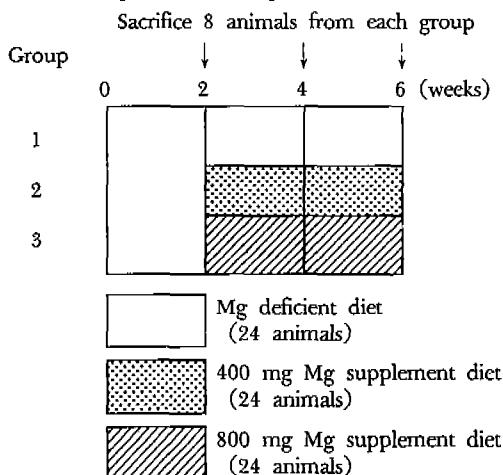
심장질환과 심근 경색증 환자들을 대상으로 3개월 간 마그네슘(Mg hydroxide 형태)을 보충한 식이를 급여한 결과 혈중 중성지방 농도가 27% 감소되었음을 보고하였다. Lal 등⁷⁾은 쥐에게 isoprenaline hydrochloride를 투여하여 심근 경색을 유발시킨 후 마그네슘(Mg sulfate 형태)을 3주동안 매일 보충한 결과 경색의 크기가 유의하게 감소하였다고 보고하였다. 본 연구는 예비실험을 한 결과 단백질 8% 수준에서는 마그네슘 수준에 따른 혈청중 중성지방 함량이 뚜렷이 감소되었으므로 단백질 수준이 8%일 때의 마그네슘 보충효과를 보기 위하여 마그네슘 수준과 기간에 따른 지질대사 및 효소활성에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물 및 식이

실험동물은 체중이 평균 210 g되는 Sprague-Dawley계 수컷흰쥐로 본 실험실에서 직접 교미시켜 낳은 지 7~8주된 것으로 이유 후 고형사료(삼양 유지사료)로 사육 후 실험 시작 전 1주일 동안 control diet(protein 20% + Mg 400 mg/kg diet)로 적응 시킨 후 동물의 체중에 따라 각 군의 평균 체중이 비슷해지도록 24마리씩 총 72마리를 3group으로 분류한 다음 6주에 걸쳐 2주에 1번씩 매번 8마리의 동물을 희생시켰다. 실험 설계는 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental design



동물 실험실의 사육조건은 온도 24±2°C, 습도 55~60%를 항상 유지시켰으며 명암은 12시간(08:00~20:00)을 주기로 자동 조절되었으며, 물은 2차 종류수로 매일 급여하였고 모든 사료와 물은 자유 급식시켰다.

실험에 사용된 모든 기구들은 무기질의 오염을 방지하기 위하여 깨끗이 씻은 후 0.4% EDTA(Ethylenediamine Tetra Acetate) 용액에 24시간 동안 담갔다가 꺼낸 후 2차 종류수로 3번이상 세척 후 dry oven에서 습기를 완전히 제거한 다음 사용하였다.

실험식이의 조성은 Table 2와 같다. 단백질은 Casein(Junsei, Co)으로 8% 수준만 사용하였으며 마

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

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

*Cellulose : Sigma Co., LTD. U.S.A

**Mineral mixture(g/kg) : Calcium lactate, 500 ; sodium chloride, 43 ; sodium dihydrogen phosphate, 31 ; potassium citrate, 220 ; potassium sulfate, 52 ; manganese 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.

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

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

그네슘은 Magnesium oxide(Junsei, Co) 형태로 3 가지 수준(Mg-free, 400 mg/kg diet, 800 mg/kg diet)으로 공급하였다. 전분은 미원식품, 섬유소는 Sigma, Co 제품으로 사용하였고, 그 외 무기질 및 비타민은 특급시약을 사용하였다.

2. 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

식이 섭취량은 매일 같은 시각(오후 4시)에 측정하였으며 식이 섭취량에 대한 오차를 최소화하기 위해 허실량도 측정하여 보정하였다. 체중은 일주일에 한번씩 일정한 시간(오후 6시)에 측정하였고 식이 섭취로 인한 일시적인 체중 변화를 막기 위해 측정하기 2시간 전에 식이통을 제거한 후에 실시하였다. 체중 증가량은 실험종료 체중에서 실험개시 체중을 감하여 총체중 증가량을 구하고 실험일수로 나누어 1일 평균 체중 증가량으로 하였다.

식이 효율은 일주일 간의 식이섭취량을 일주일 간의 체중 증가량으로 나눈 값으로 계산하였다.

3. 혈액 및 간의 채취

혈액 및 간의 채취에 필요한 모든 기구는 0.4% EDTA용액에 24시간 담근뒤 건져서 2차 증류수로 충분히 행군 뒤 건조기에서 완전히 습기를 제거한 다음 사용하였다. 혈액은 실험종료 후 16시간 절식 후 ethyl ether로 마취하여 주사기(10ml vol. 21 gage)를 사용하여 cardiac puncture로 채혈하여 원심 분리관에 넣어 응고시킨 후 상온에서 3000rpm에서 20분간 원심분리하여 혈청을 분리한 즉시 혈액 분석에 사용하였다.

혈액을 채취한 후 개복하여 간을 떼어낸 후 0.5M 생리식염수로 표면에 묻은 혈액을 씻어낸 다음 간에 붙어있는 지방과 막을 깨끗이 떼어낸 후 일정한 압에서 0.5g을 채취하여 지질측정에 사용하였다.

4. 간조직중 지질추출

간조직중 지질은 Zak method⁸⁾에 준하여 추출하였다.

5. 간과 혈청의 지방 함량 분석

Zak method⁸⁾에 의한 간지질 추출액과 혈청중의 총지방 함량은 Phosphovanillin법⁹⁾으로 분석하였으며 중성지방함량은 중성지방 측정용 Kit 시액(極

東製藥工業(株), 日本)을 사용하여 분석하였으며 총 콜레스테롤은 총 콜레스테롤 측정용 Kit 시액(V-cholestase, 日水製藥(株))을 사용하여 분석하였고 인지질함량은 인지질 측정용 Kit 시액(PL-E(OM)), 야트론(주))을 사용하여 분석하였다. 혈청중 HDL-콜레스테롤 함량분석은 HDL-콜레스테롤 측정용 Kit 시액(야트로리포 하이콜레스트, 야트론(주))을 사용하여 분석하였다.

6. 혈청중 Alkaline phosphatase(ALP), GOT 및 GPT 분석

혈청 중 alkaline phosphatase는 Kind-King method¹⁰⁾로 측정하였고, GOT 및 GPT 활성은 Reitman-Frankel method¹¹⁾로 측정하였다.

7. 통계처리

실험결과의 통계처리는 실험군당 평균치와 표준편차로 표기하였다. 실험식이의 처리에 의한 결과는 SAS Program의 분산 분석과 Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 각 군의 평균치를 비교하였고, 이에 대한 유의성 검정은 $P<0.05$ 수준에서 행하였다.

결과 및 고찰

1. 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

단백질 수준을 8%로 하여 마그네슘의 보충기간과 수준에 따른 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율은 Table 3에 제시하였다.

마그네슘 보충기간에 따른 식이섭취량은 결핍군의 경우 2주 결핍군, 2주 결핍지속군에 비해 4주 결핍지속군의 섭취량이 많았으며 보충군의 경우 400 mg, 800 mg군의 경우 각각 2주 결핍군에 비해 4주 보충군에서 모두 많았다($P<0.05$).

보충수준에 의한 식이섭취량의 효과는 나타나지 않았으며 100 g 체중당으로 환산한 식이 섭취량은 마그네슘 보충수준과 기간에 따른 영향은 없었다. 체중증가량의 경우 마그네슘 보충기간에 따른 효과를 보면 결핍군에서는 2주 결핍군에 비해 2주, 4주 결핍지속군의 체중증가량이 모두 감소되었으며, 보충군에서는 400 mg군에서는 2주 결핍군과

Mg 보충수준과 기간에 따른 지질대사

2주, 4주 보충군과 차이가 없었으나 2주 보충군에 비해 4주 보충군의 체중증가량이 감소되었다. 800 mg군에서는 2주 결핍군에 비해 2주 보충군에서 감소되었으나 4주 보충군과는 차이가 없었다. 식이효율은 보충기간에 따른 효과에서 결핍군의 경우 결핍기간이 길어질수록 식이효율은 떨어졌으며 보충군의 경우 400 mg, 800 mg군이 모두 2주 결핍군에 비해 식이효율이 떨어졌다($P<0.05$).

보충수준의 영향에서 2주 보충군의 경우 결핍군에 비해 보충군에서 식이 효율이 좋아졌으며 4주 보충군의 경우 결핍군에 비해 400 mg 보충군의 식이효율이 좋아졌다($P<0.05$). Aranda 등¹²⁾¹³⁾은 동일한 실험으로 마그네슘 보충형태와 수준을 달리하여 결핍군의 보충실험을 한 결과 보충형태와 수준에 관계없이 모두 보충실험한지 1주일만에 체중이 정상으로 돌아왔으나 그 이후의 보충군에서는 오히려 감소되었음을 나타냈다. 본 실험에서는 마그네슘의 보충수준이 800 mg보다 요구량 수준의 400 mg일 때 체중증가량이 좋아졌으므로 과량의

보충보다 적당량의 보충 수준이 성장율에 있어서 보다 효과적이 아닌가 생각된다.

2. 혈청중 총지질, 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, HDL-콜레스테롤/총 콜레스테롤 비율 및 인지질 함량

단백질 8% 식이 섭취시 마그네슘 보충기간과 수준에 따른 혈청 중 지질함량에 미치는 영향은 Table 4, 5와 같다. 마그네슘 보충기간에 따른 혈청중 총지질 함량은 결핍군의 경우 2주 결핍군에 비해 2주, 4주 결핍지속군이 증가하였으며($P<0.05$), 보충군의 경우 400 mg 보충군에서는 2주 결핍군과 2주 보충군 사이에 차이가 없었으나 2주 결핍군에 비해 4주 보충군에서는 유의하게 감소하였다. 800 mg 보충군의 경우 2주 결핍군에 비해 보충군에서 감소하였으며 이는 보충기간이 길어질수록 낮아지는 경향이었다($P<0.05$). 보충수준에 따른 효과에서 2주 보충군의 경우 결핍군에 비해 800 mg 보충군이 유의하게 감소하였다. 4주 보충군에서는 결핍군에 비해 보충군에서 감소하는데

Table 3. Feed intake, body weight gain and feed/gain of rats fed diets with different Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Feed intake g/day	Feed intake g/day/100g B.W	Body weight gain g/day	Feed/gain g/g B.W
Deficient for 2 weeks (baseline)	19.87±3.12 ^{b2)}	7.47±1.38	3.07±0.97 ^a	7.59±1.92 ^c
Deficient 0 mg				
└ 2 weeks	19.64±4.23 ^b	7.17±1.52	1.48±0.60 ^{bC3)}	10.78±1.96 ^{bA}
└ 4 weeks	23.80±2.25 ^a	7.68±0.72	2.01±0.89 ^b	13.44±2.16 ^{aA4)}
Supplement 400 mg				
└ 2 weeks	19.32±3.65 ^b	6.58±1.25	3.20±0.77 ^{aA}	6.62±1.06 ^{cB}
└ 4 weeks	24.29±1.80 ^a	7.61±0.63	2.36±0.28 ^b	10.16±2.20 ^{bb}
Supplement 800 mg				
└ 2 weeks	19.50±3.92 ^b	7.09±1.24	2.07±0.63 ^{bB}	6.89±1.19 ^{cB}
└ 4 weeks	24.79±2.16 ^a	7.78±0.53	2.49±0.48 ^b	11.16±1.53 ^{ba'b'}
Significance	p<0.05	N.S. ⁵⁾	P<0.05	P<0.05

1) Mean±S.D.(n=8)

2) Values with different small superscripts within the each column are significantly different at $P<0.05$

3) Values with different capital superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) 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 $P<0.05$

Table 4. Serum total lipid, triglyceride and phospholipid contents of rats fed diets with different Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Total lipid mg/dl	Triglyceride mg/dl	Phospholipid mg/dl
Deficient for 2 weeks (baseline)	319.42±14.68 ^{b2)}	159.81±17.59 ^a	105.76±14.37
Deficient 0 mg			
└ 2 weeks	349.83±19.44 ^{aA3)}	158.36±10.68 ^{AA}	113.04±10.50
└ 4 weeks	345.67±5.19 ^{aa'4)}	158.59±16.55 ^{aa'}	115.30±10.21 ^{a'}
Supplement 400 mg			
└ 2 weeks	325.18±16.54 ^{bB}	135.86±15.03 ^{bB}	115.74±14.75
└ 4 weeks	255.79±25.19 ^{ab'}	70.80±14.70 ^{ab'}	108.06±11.19 ^{a'b'}
Supplement 800 mg			
└ 2 weeks	278.19±14.82 ^{cC}	104.26±10.99 ^{cC}	107.66±12.53
└ 4 weeks	227.91±16.59 ^{dc'}	57.88±16.48 ^{ab'}	99.89±9.78 ^{b'}
Significance	p<0.05	P<0.05	P<0.05

1) Mean±S.D.(n=8)

2) Values with different small superscripts within the each column are significantly different at P<0.05

3) Values with different capital superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) 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

Table 5. Serum total cholesterol, HDL-cholesterol contents and HDL-cholesterol/total cholesterol ratio of rats fed diets with different Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Total cholesterol mg/dl	HDL-cholesterol mg/dl	HDL-chol./total chol. ratio
Deficient for 2 weeks (baseline)	52.16±6.23 ^{b2)}	25.78±6.70 ^a	0.49±0.07 ^a
Deficient 0 mg			
└ 2 weeks	68.60±9.93 ^{aA3)}	29.04±5.46 ^a	0.43±0.06 ^{bC}
└ 4 weeks	61.61±9.06 ^a	26.86±1.79 ^{ac'4)}	0.44±0.07 ^{ab'}
Supplement 400 mg			
└ 2 weeks	65.83±7.60 ^{aA}	35.23±5.67 ^b	0.54±0.07 ^{ab}
└ 4 weeks	63.93±9.89 ^a	33.34±2.49 ^{ba'}	0.53±0.06 ^{aa'b'}
Supplement 800 mg			
└ 2 weeks	50.77±2.73 ^{bB}	31.36±4.08 ^{ab}	0.62±0.06 ^{bA}
└ 4 weeks	53.64±8.10 ^b	30.14±3.18 ^{ab'}	0.63±0.15 ^{ba'}
Significance	p<0.05	P<0.05	P<0.05

1) Mean±S.D.(n=8)

2) Values with different small superscripts within the each column are significantly different at P<0.05

3) Values with different capital superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) 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

이는 보충수준이 높을수록 뚜렷이 감소하였다($P<0.05$). 혈청중 중성지방 함량의 경우 보충기간에 따른 효과에서 결핍군 간에 차이가 나타나지 않았으며, 400 mg과 800 mg 보충군의 경우 각각 2주 결핍군에 비해 보충군에서 감소하였으며 보충기간이 길수록 감소하는 경향이었다. 보충수준에 따른 효과를 볼 때 2주 보충군에서 결핍군에 비해 보충군에서 감소하였으며 보충수준이 높아질수록 뚜렷하게 감소하였다. 4주 보충군의 경우 결핍군에 비해 보충군에서 유의하게 감소하였으며 보충군간의 수준에 따른 차이는 없었다. 혈청중 인지질 함량은 결핍군과 보충군간에 마그네슘 보충기간에 따른 효과는 나타나지 않았고 보충수준에 따른 효과에서 4주 보충군에서 결핍군에 비해 800 mg 보충군이 감소하였다($P<0.05$). 혈청중 총 콜레스테롤은 보충기간별로 볼 때 결핍군에서 2주 결핍군에 비해 2주 결핍지속군에서 증가하였으며 4주 결핍지속군과는 차이가 없었다.

보충군에서는 400 mg 보충군의 경우 2주 결핍군에 비해 보충군에서 증가하였으며($P<0.05$), 800 mg 보충군의 경우 2주 결핍군과 보충군간에 차이가 없었으며 보충기간에 따른 차이는 나타나지 않았다. 보충수준에 따른 효과에서 2주 보충군의 경우 결핍군에 비해 800 mg 보충군이 유의하게 감소하였으나 4주 보충군에서는 결핍군과 보충군간에 차이가 없었다.

혈청중 HDL-콜레스테롤은 보충기간에 따른 효과에서 결핍군간에는 차이가 없었으며 400 mg 보충군에서는 2주 결핍군에 비해 보충군에서 유의하게 증가하였다. 보충수준의 효과에서 4주 보충군의 경우 결핍군에 비해 보충군에서 증가하였으며, 이는 400 mg 보충군이 800 mg 보충군보다 더 높게 나타났다. 보충기간별 혈청중 HDL-콜레스테롤/총 콜레스테롤비율은 결핍군간에는 기간별 차이가 없었으며 또한 결핍군과 보충군간에 기간에 따른 차이는 나타나지 않았다. 보충수준에 따른 효과에서는 2주 보충군에서 결핍군에 비해 보충군에서 증가하였으며($P<0.05$), 이는 보충수준이 400 mg 보다 800 mg을 보충한 군에서 더 증가하였다. 4주 보충군의 경우에는 결핍군에 비해 800 mg을 보충한

군에서 유의하게 증가하였다. Altura 등¹⁴⁾은 고콜레스테롤 식이(1~2%)를 먹인 토끼에게 구강으로의 마그네슘 보충(Mg aspartate hydrochloride 형태)은 혈청중 콜레스테롤과 중성지방함량을 낮춘다고 보고하였으나, Zemel 등¹⁵⁾은 본태성 고혈압환자를 대상으로 마그네슘을 3주간 복용시킨 결과 혈압과 혈중 지방농도에 효과가 없었음을 보고하였다. Davis 등¹⁶⁾은 이뇨제로 치료하고 있는 고혈압 환자에게 마그네슘 보충은 혈중 중성지방 농도를 감소시키고 HDL-콜레스테롤 농도를 증가시킨다고 보고하였다. Rasmussen 등⁶⁾은 협력성 심장질환자에게 마그네슘 보충 치료 후 혈중 지방구성은 중성지방이 뚜렷이 감소되었고, HDL-콜레스테롤이 증가되었으며 총 콜레스테롤은 변화가 없었다고 보고하였는데 이는 본 실험결과와 일치하며 마그네슘 보충 후의 콜레스테롤 변화에서는 상반되는 보고가 많다. 이는 실험기간, 동물의 종, 마그네슘 보충수준, 실험동물의 연령, 섭취 단백질의 종류, 사료 섭취량 등 여러가지 요인에 따라서 달라질 수 있다고 생각된다.

3. 간중 총지질, 중성지방, 총콜레스테롤 및 인지질 함량

마그네슘 보충기간과 수준이 간중 총지질, 중성지방, 총콜레스테롤 및 인지질 함량에 미치는 영향은 Table 6에 제시되었다. 마그네슘 보충기간에 따른 간중 총지질 함량은 결핍군간의 비교에서 2주 결핍군에 비해 2주 결핍지속군이 유의하게 낮게 나타났으며 4주 결핍지속군과는 차이가 없었다. 400 mg의 보충군에서 2주 결핍군에 비해 2주, 4주로 보충기간이 길어질수록 뚜렷하게 낮아졌으며 800 mg 보충군에서는 결핍군에 비해 보충군에서 낮았으며($P<0.05$), 또한 보충기간이 길어질수록 낮아지는 경향이었으나 유의성은 없었다. 보충수준의 효과에서 2주 보충군의 경우 결핍군과 보충군간의 차이는 없었고, 4주 보충군의 경우 결핍군에 비해 보충군에서 감소하였으며 보충군간에 보충수준에 따른 차이는 없었다. 보충기간에 따른 간중 중성지방 함량은 결핍군의 경우 2주 결핍군이 2주, 4주 결핍지속군에 비해 가장 높게 나타났으며 400 mg,

Table 6. Liver total lipid, triglyceride, total cholesterol and phospholipid contents of rats fed diets with different Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	Total lipid mg/g liver	Triglyceride mg/g liver	Total cholesterol mg/g liver	Phospholipid mg/g liver
Deficient for 2 weeks (baseline)	76.12±5.95 ^{b2)}	27.44±2.94 ^a	1.84±0.10 ^a	15.20±1.71 ^{ab}
Deficient 0 mg				
└ 2 weeks	55.18±6.90 ^a	13.54±1.47 ^{cA3)}	1.94±0.17 ^{aA}	13.16±1.44 ^{bA}
└ 4 weeks	73.44±9.65 ^{ba4)}	16.84±2.11 ^{ba'}	1.99±0.30 ^a	15.95±2.23 ^{aa'}
Supplement 400 mg				
└ 2 weeks	50.98±4.81 ^b	12.57±1.83 ^{cAB}	1.35±0.15 ^{bB}	8.30±1.75 ^{dB}
└ 4 weeks	37.89±6.53 ^{cb'}	11.32±2.12 ^{cb'}	1.91±0.19 ^a	10.21±0.99 ^{cc'}
Supplement 800 mg				
└ 2 weeks	48.44±6.05 ^b	11.32±0.19 ^{bB}	1.23±0.19 ^b	8.45±1.83 ^{cB}
└ 4 weeks	41.80±7.90 ^{bb'}	10.11±2.05 ^{cb'}	1.94±0.22 ^a	12.74±1.96 ^{db'}
Significance	p<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05

1) Mean±S.D.(n=8)

2) Values with different small superscripts within the each column are significantly different at P<0.05

3) Values with different capital superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) 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

800 mg 보충군의 경우 결핍군에 비해 보충군이 유의하게 낮았으며 보충기간에 따른 차이는 없었다.

보충수준에 따른 효과에서 2주 보충군에서 결핍군이 800 mg 보충군에 비해 높았으며(P<0.05) 400 mg 보충군과는 차이가 없었고, 4주 보충군에서는 결핍군이 보충군에 비해 높았고(P<0.05) 보충수준에 따른 차이는 없었다. 마그네슘 보충기간에 따른 간중 총콜레스테롤 함량은 결핍군간에는 차이가 없었으며, 400 mg, 800 mg 보충군의 경우 2주 보충군에 비해 4주 보충군에서 모두 유의적으로 증가하였다.

보충수준의 효과에서 2주 보충군이 결핍군에 비해 감소하였으며 4주 보충군에서는 군간에 차이는 나타나지 않았다.

간중 인지질 함량은 보충기간별로 2주 결핍군은 2주, 4주 결핍지속군과 차이가 없었으나 2주 결핍지속군이 4주 결핍지속군에 비해 낮았다(P<0.05). 400 mg, 800 mg 보충군에서는 각각 2주 결핍군에 비해 보충군에서 유의하게 낮았으며 이는 2주 보충군이 4주 보충군보다 낮았다. Cunnane 등¹⁷⁾은

마그네슘 결핍군의 간중 중성지방과 인지질의 경우 대조군에 비해 차이가 없었다고 보고하였으며 George 등¹⁸⁾은 단백질 수준이 20%에서 20일동안 마그네슘 결핍식이를 급여한 군의 간중 총지방은 대조군과 차이가 없었다고 보고하였다.

본 실험의 보충효과에서의 조직중 지방대사를 본 실험이 없어서 비교하기가 어려웠으며 본 실험으로 Rayssiguier 등¹⁹⁾이 제시한 마그네슘 결핍군의 고지혈증은 간에 의한 과잉의 지방생성에 기인한 것은 아니라는 주장을 뒷받침할 수 있다고 볼 수 있다.

4. 혈청중 alkaline phosphatase(ALP), glutamic oxaloacetic transaminase(GOT) 및 glutamic pyruvic transaminase(GPT) 활성

마그네슘 보충기간과 수준이 혈청중 효소활성에 미치는 영향은 Table 7에 제시되었다. 보충기간에 따른 혈청중 ALP활성은 결핍군에서 결핍기간이 길어질수록 뚜렷이 낮아지는 경향이었으며 400 mg, 800 mg 보충군의 경우 기간에 따른 결핍군과 보충군간의 차이는 없었다. 보충수준의 효과에서는

Mg 보충수준과 기간에 따른 지질대사

Table 7. Serum alkaline phosphatase(ALP), glutamic oxaloacetic transaminase(GOT) and glutamic pyruvic transaminase(GPT) activities of rats fed diets with different Mg supplement levels and periods in the 8% protein diet¹⁾

Group	ALP mU/ml	GOT IU/ml	GPT IU/ml
Deficient for 2 weeks (baseline)	21.85±1.37 ^{a2)}	85.48±6.12 ^b	28.76±3.01 ^a
Deficient 0 mg			
└ 2 weeks	18.44±3.70 ^{aB3)}	103.68±5.45 ^{aA}	28.56±1.30 ^{aA}
└ 4 weeks	12.24±2.28 ^{bb'4)}	102.82±9.93 ^{aa'}	35.34±9.81 ^{aa'}
Supplement 400 mg			
└ 2 weeks	21.94±2.41 ^{aA}	77.73±6.95 ^{BB}	29.16±1.76 ^{aA}
└ 4 weeks	21.44±1.46 ^{aa'}	47.88±7.18 ^{db'}	15.07±1.91 ^{bb'}
Supplement 800 mg			
└ 2 weeks	20.59±2.23 ^{aA}	66.51±6.95 ^{cC}	25.06±1.21 ^{BB}
└ 4 weeks	20.30±0.96 ^{aa'}	38.08±4.03 ^{ac'}	13.50±2.20 ^{cb'}
Significance	p<0.05	P<0.05	P<0.05

1) Mean±S.D.(n=8)

2) Values with different small superscripts within the each column are significantly different at P<0.05

3) Values with different capital superscripts within Mg supplement periods(2 weeks) 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

2주와 4주 보충군의 경우 결핍군에 비해 보충군에서 유의하게 높게 나타났으며 보충군간의 보충 수준에 따른 효과는 나타나지 않았다.

혈청 중 GOT활성은 보충기간의 효과에서 결핍군의 경우 2주 결핍군이 2주, 4주 결핍지속군에 비해 낮았으며(P<0.05), 보충군의 경우 400 mg 보충군은 2주 결핍군에 비해 4주 보충군에서 유의하게 낮았으며 800 mg 보충군은 2주 결핍군에 비해 보충기간이 길어질수록 낮아지는 경향이었다.

보충수준의 효과에서 2주 보충군의 경우 결핍군에 비해 800 mg 보충군이 감소되었으며 4주 보충군에서는 결핍군에 비해 보충군에서 뚜렷이 감소되는 경향이었으며 보충수준이 높아질수록 더욱 감소되었다(P<0.05).

혈청 중 GPT 활성은 보충기간에 따른 효과에서 400 mg 보충군의 경우 2주 결핍군에 비해 4주 보충군에서 낮아졌으며 800 mg 보충군에서는 보충기간이 길어질수록 결핍군보다 낮아지는 경향이 뚜렷하였다. 보충수준별 GPT 활성은 2주 보충군

에서 결핍군에 비해 800 mg 보충군이 감소하였으며, 4주 보충군에서는 결핍군에 비해 보충수준이 증가할수록 감소하는 경향이었다.

ALP는 magnesium metalloenzyme의 구성소로 중요하며 본 실험에서는 마그네슘 결핍식이가 계속될 때 ALP의 활성이 뚜렷이 감소되었으나 이와 유사한 실험결과가 없어 비교하기가 어려웠다.

요약 및 결론

본 연구는 2주간 저단백 식이와 마그네슘 결핍식이를 공급시킨 후 마그네슘의 보충 수준과 기간에 따른 흰쥐의 지질대사에 미치는 영향을 조사하기 위하여 생후 7~8주령 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐를 각군의 평균체중이 비슷해지도록 24마리씩 총 72마리를 3군으로 나누어 6주에 걸쳐 사육하면서 2주에 한번씩 회생시켰다. 단백질 수준은 8% 한 가지 수준으로 고정하고 마그네슘 결핍식이로 2주간 사육한 뒤 마그네슘을 2가지(400 mg/kg diet,

800 mg/kg diet) 수준으로 하여 보충효과를 관찰한 결과는 다음과 같다. 혈청중 총지방과 중성지방은 마그네슘 결핍군에 비해 마그네슘 보충수준이 높을수록, 보충기간이 길수록 유의하게 낮았으며 ($P < 0.05$), HDL-콜레스테롤은 결핍군에 비해 보충수준이 요구량 수준일 때 유의하게 증가하였으며 ($P < 0.05$), HDL-콜레스테롤/총 콜레스테롤 비율은 보충 수준이 높을수록 증가하였다. 간중 총지방과 중성지방, 총콜레스테롤 및 인지질 함량은 결핍군에 비해 보충군에서 유의하게 감소하였다 ($P < 0.05$). 혈청중 ALP활성은 결핍군간에 결핍기간이 길수록 감소하였고, GOT, GPT활성은 2주 결핍군에 비해 보충군에서의 지질대사는 보충수준이 높을수록 혈청중 지방함량은 낮아졌으나, 체중증가등 다른요인의 경우에는 요구량수준(400 mg/kg diet)이 적절하다고 볼 수 있다.

Literature cited

- 1) 경제 기획원 조사 통계국. 사망원인 통계연보, 1980~1989
- 2) Laban E, Charbon GA. Magnesium and cardiac arrhythmias. *J Am Coll Nutr* 5 : 521-532, 1986
- 3) Rayssiguier Y, Gueux E. Magnesium and lipids in cardiovascular disease. *J Am Coll Nutr* 5 : 507-519, 1986
- 4) Marier JR. Cardio-projective contribution of hard waters to magnesium intake. *Rev Can Biol* 37 : 115-125, 1978
- 5) Sharrett AR. The role of chemical constituents of drinking water in cardiovascular disease. *Am J Epidemiol* 110 : 401-419, 1979
- 6) Rasmussen HS, Aurup P, Goldstein K, McNair P, Mortensen PB, Larsen OG, Lawaetz H. Influence of magnesium substitution therapy on blood lipid composition in patients with ischemic heart disease. *Arch Intern Med* 149 : 1050-1053, 1989
- 7) Lal A, Rana GC. Reduction of experimental myocardial infarct size by pre-treatment with magnesium sulfate in rats. *Indian J Physiol Pharmacol* 35 : 49-51, 1991
- 8) Zak B, Dickenman RC, White EG, Burnett H, Cheoney PJ. The determination of cholesterol. *Am J Clin Pathol* 24 : 1307, 1954
- 9) 김재영 · 이국성 · 이주섭. 임상화학실기. 고문사, p349, 1986
- 10) Kind PRN, King EJ. Estimation of plasma phosphatase by determination of hydrolyzed phenol with amino antipyrine. *Am J Clin Pathol* 24 : 322-326, 1954
- 11) Reitman S, Frankel S. A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxaloacetic and glutamic pyruvic transaminase. *Am J Clin Pathol* 28 : 56, 1957
- 12) Aranda P, Lopez-Frias M, Lopez-Jurado M, Llopis J, Mataix FJ, Rivero M, Urbano G. Recovery study in Mg-deficient rats given an organic source of Mg. *Ann Nutr Metab* 34 : 244-251, 1990
- 13) Aranda P, Lopez-Jurado M, Llopis J, Mataix FJ, Urbano G. Nutritive utilization of Ca and Mg in Mg-deficient rats: a recovery study. *J Nutr Sci Vitaminol* 33 : 451-459, 1987
- 14) Altura BT, Brust M, Bloom S, Barbour RL, Stempek JG, Altura BM. Magnesium dietary intake modulates blood lipid levels and atherosclerosis. *Proc Natl Acad* 87 : 1840-1844, 1990
- 15) Zemel PC, Zemel MB, Urberg M, Douglas FL, Geiser R, Sowers JR. Metabolic and hemodynamic effects of magnesium supplementation in patients with essential hypertension. *Am J Clin Nutr* 51 : 665-669, 1990
- 16) Davis W, Leary W, Reyes A, Olhaberry J. Monotherapy with magnesium increases abnormally low HDL lipoprotein cholesterol. A clinical assay. *Curr Ther Res* 36 : 341-346, 1984
- 17) Cunnane SC, Soma M, Mcadoo KR, Horrobin DF. Magnesium deficiency in the rat increases tissue of docosahexaenoic acid. *J Nutr* 115 : 1498-1503, 1985
- 18) Geroge GA, Heaton FW. Changes in cellular composition during magnesium deficiency. *Biochem J* 152 : 609-615, 1975
- 19) Rayssiguier Y, Gueux E. Magnesium and lipids in cardiovascular disease. *J Am Coll Nutr* 5 : 507-519, 1986