

식이 단백질량에 따른 칼슘수준이 성장기 흰쥐의 체내 칼슘 및 골격 대사에 미치는 영향

장영은 · 정혜경 · 장남수* · 이현숙*

호서대학교 자연과학대학 식품영양학과, 이화여자대학교 가정과학대학 식품영양학과*

The Effects of Dietary Protein and Calcium Levels on Calcium and Bone Metabolism in Growing Rats

Chang, Young Eun · Chung, Hae Kyung · Chang, Namsoo* · Lee, Hyun Sook*

Department of Food & Nutrition, College of Natural Sciences, Hoseo University, ChungNam, Korea

Department of Food & Nutrition,* College of Home Science, Ewha Womans University, Seoul, Korea

ABSTRACT

To investigate the effects of dietary protein and calcium levels on calcium and bone metabolism Sprague-Dawley male growing rats weighing approximately 91.4g were divided into four groups and fed one of the following four experimental diets-15% protein 0.2% calcium ; 15% protein 0.5% calcium ; 30% protein 0.2% calcium ; 30% protein 0.5% calcium-for five weeks. Calcium intake and excretion, apparent calcium absorption were measured and bone densities and mineral contents of femur and scapula were analyzed. Calcium excretion through feces and urine was significantly greater in animals receiving diets of higher calcium. Fecal calcium but not urinary calcium excretion was greater when the protein level was increased from 15% to 30%. Apparent calcium absorption rate was significantly higher with lower calcium intakes. Serum alkaline phosphatase activity was significantly higher in 0.2% calcium group than in 0.5% calcium group, while urinary hydroxyproline excretion was essentially same among all experimental groups. Weights and mineral contents of femur and scapula were significantly higher when the diet provided more calcium or protein. Bone weights were greater, but calcium and ash contents of femur and scapula were lower in animals on the diet containing low calcium and high protein, which suggests that bone metabolism may be affected by the interaction between calcium and protein intake. These results indicate that during growth high protein intake might be beneficial to bone health if the diet is sufficient in calcium, however, if the diet fails to provide an optimum amount of calcium, such practice might be detrimental. (*Korean J Nutrition* 30(3) : 266~276, 1997)

KEY WORDS : calcium intake · protein levels · calcium metabolism · bone mineral contents.

서 론

골격대사는 인종, 성, 호르몬(PTH, calcitonin, vitamin D₃, estrogen), 영양상태, 신체 활동량 등 유전적, 생리적, 영양적, 환경적 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며¹⁻⁵⁾ 그 중 영양적인 요인, 특히 칼슘에 관해서는 그 섭취량과 골격 성숙이 완성된 시점에 도

tamin D₃, estrogen), 영양상태, 신체 활동량 등 유전적, 생리적, 영양적, 환경적 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며¹⁻⁵⁾ 그 중 영양적인 요인, 특히 칼슘에 관해서는 그 섭취량과 골격 성숙이 완성된 시점에 도

골격대사는 인종, 성, 호르몬(PTH, calcitonin, vitamin D₃, estrogen), 영양상태, 신체 활동량 등 유전적, 생리적, 영양적, 환경적 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며¹⁻⁵⁾ 그 중 영양적인 요인, 특히 칼슘에 관해서는 그 섭취량과 골격 성숙이 완성된 시점에 도

체택일 : 1997년 4월 9일

달하게 되는 최대 골질량(peak bone mass)의 크기, 40대 이후에 나타나는 골질량 감소율과의 밀접한 관계를 증명해 주는 보고들이 많이 있다⁶⁻¹²⁾.

칼슘 섭취량이 낮으면 골질량이 감소하며 심하면 골다공증으로까지 진행된다는 보고가 있고¹³⁾, 이미 진행되고 있는 골다공증을 칼슘보충으로 역행시킬 수 있다는 보고도 있다¹⁴⁾. 송 등¹⁵⁾은 남자 성인의 경우 칼슘 섭취량과 척추골과 대퇴부의 골밀도 사이에 양의 상관관계가 있다고 하였으며, 폐경기 여성의 골질량 감소율을 측정하고 성장기 이후 계속해서 충분한 양의 칼슘을 섭취한 사람들의 골질량 감소율이 그렇지 않은 사람에 비해 더욱 완만하다는 보고가¹⁶⁻¹⁸⁾ 있는 등 칼슘 섭취량이 골격 대사의 주요 결정요인이며 적절한 칼슘 영양상태를 유지하는 일은 비단 성장기 뿐 아니라 일생 내내 중요한 것으로 나타나고 있다^{19,20)}.

칼슘은 우리나라 식생활에 있어서 가장 결핍되기 쉬운 영양소 중의 하나로 1994년 국민영양조사보고²¹⁾에 의하면 1인 1일 평균 섭취량이 556mg 정도로 권장량의 79% 수준에 머무르고 있고, 권장량 이하로 섭취하는 가구 수가 전체의 45.5%에 달하는 실정이다. 지난 20여년간 꾸준히 이루어졌던 경제 수준의 향상으로 다른 영양소의 섭취상태는 비교적 양호하나 칼슘 섭취량이 아직도 권장량에 못미치고 있는 이유 중의 하나는 칼슘의 좋은 급원 식품인 우유 및 유제품 섭취량이 1980년대 이후로 날로 증가하고 있기는 하나 한국인의 식습관상 우유 및 유제품 섭취가 토착화되기 어려운 여러 가지 문제를 안고 있기 때문이다. 따라서 칼슘 영양상태를 향상시키려면 칼슘의 섭취량을 증가시키는 방안 못지 않게 칼슘의 체내 이용성을 증진시킬 수 있는 방안이 모색되어야 한다.

칼슘의 체내 이용성은 신체 생리 상태, 체내 요구도, 섭취량 및 함께 섭취하는 비타민 D, 인, 단백질 등 여러 가지 식이 성분에 의해 달라지는 것으로 알려져 있다²²⁾. 단백질을 과다하게 섭취하면 뇨를 통한 칼슘 배설이 증가되며^{23,24)} 골격으로부터 칼슘 용출(resorption)이 유도되어 결국 골격 약화가 초래된다고 보고되었다^{25,26)}.

선행 연구에 의하면 식이 단백질 함량이 골격 구성 성분에 미치는 영향은 나이에 따라 다르게 나타나는데, 특히 최대 골질량을 형성하는 시기인 성숙기 동안에 고단백식이 미치는 영향에 대해서는 상반된 보고가 있다. 김 등²⁷⁾은 고단백식이 성장기 흰쥐의 골격발달을 촉진시키기는 하나 골격의 성장이 끝난 후에는 골격 성분에는 큰 변화를 주지 못한다고 하였고, 조 등²⁸⁾은 고단백식이 성장기 흰쥐의 뇨 칼슘 배설량을 증가시켰으나 골격의 무게, 회분 함량, 칼슘 함량을 더 높였다고 보고하였

다. 그러나 이 등²⁹⁾은 골격의 유기물질 함유율에 대한 무기물질 함유율로 골격밀도를 측정하였을 때 고단백식이 성장기 흰쥐의 골밀도를 낮추었다고 보고하였다.

우리나라의 경우 골격 대사에 중요한 요인으로 작용하는 칼슘은 그 섭취량이 권장량에 미치지 못하는 반면 단백질은 최근 경제 발전과 식생활의 변화로 그 섭취량이 증가하여 권장량을 상회하기에 이르고 있다. 이러한 우리나라 현실을 감안하여 본 연구에서는 저 칼슘 식이시 단백질 수준이 칼슘 및 골격 대사에 미치는 영향을 성장기 흰쥐를 이용하여 알아보고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험 동물의 사육 및 식이

평균 체중이 약 91.4g인 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐를 고품 사료로 3일간 적응시킨 후 난괴법에 따라 군에 11마리씩 네 군으로 나누어 실험식으로 5주간 사육하였다. 실험실 온도는 22±2℃로 조정하였고, 조명은 매일 광주기, 암주기를 12시간씩 되도록 조절하였다. 동물은 stainless steel cage에서 한 마리씩 분리 사육하였고, 물과 실험식을 자유 섭취 방법(ad libitum)으로 급여하였으며, 물은 1차 증류수를 사용하였다.

실험식은 American Institute of Nutrition³⁰⁾의 식이 조성을 참고하여 Table 1에 제시한 바와 같이 칼슘과 단백질 수준을 달리하여 제조되었으며 실험식의 칼슘 급원으로는 calcium carbonate를 사용하였다.

실험식이군은 0.2%(low calcium; L) 칼슘과 30%(high protein; H) 단백질을 포함한 LH, 0.2% 칼슘과 15%(moderate protein; M) 단백질을 포함한 LM, 0.5%(normal; N) 칼슘과 30% 단백질을 포함한 NH, 0.5% 칼슘과 15% 단백질을 포함한 NM의 모두 4그룹이었다.

실험에 이용된 단백질 수준은 권장량보다는 낮지만 동물의 정상적 성장을 저해하지 않을 정도의 섭취 수준과 이보다 높기는 하지만 여전히 평상시 한국인의 식사를 통해 섭취할 수 있는 단백질의 섭취 범위를 고려한 후 15%와 30%로 결정하였다.

2. 시료의 채취 및 분석

1) 뇨, 혈액 및 장기의 채취

실험 식이를 주기 시작한 후 제3일과 실험 기간 종료 직전인 29일의 뇨와 변을 채취하였다. 뇨와 변은 대사장에서 채취하였는데 이 때 식이에 의하여 뇨와 변이 오염되는 것을 막기 위해 식이 그릇을 대사장에 넣어 두지

Table 1. Composition of experimental diet

(g/kg diet)

Ingredient	0.2% Ca diet		0.5% Ca diet	
	30% Casein	15% Casein	30% Casein	15% Casein
	(LH)	(LM)	(NH)	(NM)
Corn starch	550	700	550	700
Casein	300	150	300	150
Corn oil	100	100	100	100
Salt mixture	35 ¹⁾	35	35 ²⁾	35
Vitamin mixture ³⁾	10	10	10	10
Choline	2	2	2	2
DL-Methionine	3	3	3	3

1) Salt mixture(g/kg mixture) : Calcium carbonate 147.15, Sodium chloride 74.0, Potassium phosphate, dibasic 220.0, Potassium sulfate 52.0, Magnesium oxide 24.0, Manganous carbonate 3.5, Ferric citrate 6.0, Zinc carbonate 1.6, Cupric carbonate 0.3, Potassium iodate 0.01, Sodium selenite 0.01, Chromium potassium sulfate 0.55, Sucrose, finely powdered to make 1000.0

2) Salt mixture(g/kg mixture) : Calcium carbonate 367.882, Sodium chloride 74.0, Potassium phosphate, dibasic 220.0, Potassium sulfate 52.0, Magnesium oxide 24.0, Manganous carbonate 3.5, Ferric citrate 6.0, Zinc carbonate 1.6, Cupric carbonate 0.3, Potassium iodate 0.01, Sodium selenite 0.01, Chromium potassium sulfate 0.55, Sucrose, finely powdered to make 1000.0

3) AIN vitamin mixture(per Kg mixture) : Thiamin.HCl 600mg, Riboflavin 600mg, Pyridoxin.HCl 700mg, Nicotinic acid 3g, D-Calcium pantothenate 1.6g, Folic acid 200mg, D-Biotin 20mg, Cyanocobalamin 1mg, Retinyl palmitate or acetate as stabilized powder to provide 400,000IU vitamin A activity or 120,000 retinol equivalents, dl- α -Tocopheryl acetate as stabilized powder to provide 5,000IU vitamin E activity, Cholecalciferol 2.5mg, Menaquinone 5.0mg, Sucrose, finely powdered to make 1000.0g

않았다. 시료 채취 첫날은 오전 8시부터 오후 8시까지 대사장에 넣어 시료를 채취하고, 오후 8시부터 다음날 오후 8시까지 본 사육장에서 식이를 섭취하도록 한 후 오후 8시부터 그 다음날 오전 8시까지 12시간 동안 다시 대사장에서 뇨를 채취하여 이것을 합해 1일간의 뇨와 변으로 간주하였다. 뇨 채취 병은 0.1N HCl로 세척한 후 사용하였고, 뇨의 부패를 방지하기 위해 toluen을 소량 넣어 주었다. 채취한 뇨는 50ml가 되도록 증류수로 희석하여 원심분리 시킨 후 상층액만을 취하여 냉동 보관한 후 분석에 사용하였다. 변은 냉동 보관하였다가 분석 전에 105±5℃의 oven에서 건조시킨 후 800℃의 회화로에서 회화시켜 생화학적 분석에 사용하였다.

사육기간이 끝난 후 12시간 굶긴 쥐는 diethyl ether로 마취시킨 후 복개하여 heart puncture에 의해 혈액을 채취하여 실온에서 30분 이상 방치해 두었다가 3000rpm 4℃에서 30분간 원심분리 하여 혈청을 얻은 후 분석 시까지 냉동 보관하였다.

2) 골격의 밀도 측정

식이 단백질과 칼슘의 수준이 골격의 밀도에 어떠한 영향을 미쳤는지 알아보기 위하여 대퇴골과 견갑골을 채취하였다. Caliper를 사용하여 채취한 골들의 길이를 측정 한 후 아르키메데스의 원리에 입각한 방법을 사용하여 부피와 밀도를 측정하였다³¹⁾. 증류수가 담긴 비이커를 Mettler balance의 weighing pan 위에 놓고 한쪽 끝이 구부러진 철사를 천장으로부터 매달은 다음, 물이 담

긴 비이커에 철사가 잠긴 상태에서 뼈가 철사에 얹혀지게 하고 물 속에서의 무게를 재었다. 그 후 뼈의 물기를 티슈로 빨아들인 다음 weighing pan 위에 놓고 1분 후에 무게를 재어 공기 중에서의 무게로 사용하였다. 대퇴골과 견갑골의 골밀도를 계산할 때 사용된 공식은 다음과 같다.

$$V = \frac{M_A - M_W}{D_W}$$

$$D = \frac{M}{V}$$

단, M : wet weight(mg)

V : volume of bone(cm³)

D : density of bone(mg/cm³)

M_A : wet weight in air(mg)

M_W : weight in water(mg)

D_W : water density at 25℃

골격의 젖은 무게를 잰 후 105±5℃의 drying oven에서 일정한 무게가 될 때까지 건조시켜 마른 무게를 잰 후 800℃의 전기회화로에서 회화시켜 생화학적 분석에 사용하였다.

3) 생화학적 분석

혈청, 뇨, 변, 그리고 골격의 칼슘 함량은 AAS(Atomic Absorption Spectrophotometer)로 분석하였는데, 혈청과 뇨는 일정량을 취해 각각 0.1%, 0.5%의 La₂O₃ 용액으로 희석하여 422.7nm에서 흡광도를 측정

하였고, 변과 뼈는 회화시킨 변과 뼈를 1N HCl로 녹인 후 0.5%의 La₂O₃ 용액으로 희석하여 역시 AAS를 사용하여 422.7nm에서 흡광도를 측정하였다³²⁾.

혈청의 Alkaline phosphatase activity는 Kind King법을 이용한 Kit(영동 제약)를 사용하여 분석하였고 뇨의 hydroxyproline배설량은 Blumenkrantz와 Asboe-Hansen방법³³⁾에 의해 측정하였다. 일정량의 뇨에 거의 동량의 6N HCl로 118℃ oven에서 12시간 가수분해시킨 후 hood에서 저온으로 가열하여 거의 증발시키고 65℃의 vacuum oven에서 완전히 증발시킨 sample을 1ml증류수로 녹여 1M periodic acid와 extraction solution을 넣어 충분히 섞은 후 2,000rpm의 속도로 원심분리하여 organic phase를 일정량 취해 Erlich reagent로 발색시켜 565nm에서 정량하였다.

3. 통계 처리

본 연구의 모든 실험 결과는 SAS 프로그램을 이용하여 분석되었으며 각 실험 군의 평균치와 표준 오차를 구한 후 각 실험군별 평균의 차이에 대한 유의성을 P<0.05 수준에서 유의성을 검증하였다. 식이내 칼슘, 단백질, 칼슘과 단백질의 교호작용에 의한 효과는 ANOVA 분석을 하여 통계적 유의성을 검증하였다.

실험결과 및 고찰

1. 칼슘 섭취량, 배설량, 평형

실험식이를 먹이기 시작한지 3일 후와 실험 기간 종료 직전인 29일째에 측정한 칼슘 섭취량, 변과 뇨 칼슘 배설량, 칼슘 흡수를 및 칼슘 평형 등 칼슘 대사에 대한 자료를 Table 2에 제시하였다.

칼슘 섭취량은 실험 시작 3일 후에는 식이 칼슘 수준의 영향으로 적정칼슘섭취군이 저칼슘섭취군보다 유의적으로 높았고, 식이 단백질 수준에 따라서도 적정단백군이 고단백군보다 높은 경향을 나타냈으며, 칼슘과 단백질의 교호작용으로 적정 칼슘을 섭취했을 경우 단백질 수준에 의한 영향을 더 받아 적정 단백질을 섭취한 적정 칼슘군(NH)의 칼슘 섭취량이 가장 많았다.

실험 시작 29일 후에는 적정 수준의 칼슘을 섭취했을 경우 저칼슘군보다 칼슘 섭취량이 유의적으로 높아 식이 칼슘 수준에 의한 확연한 차이를 나타내었으나 단백질 섭취 수준에 의한 영향은 보이지 않았는데, 성장기 흰쥐에게 식이 단백질 수준을 달리하여 공급하였을 때 칼슘 섭취량이 단백질 수준에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았다는 정 등의 보고³⁴⁾와 같은 결과를 보여 주었다.

Table 2. Ca intake, Ca excretion and Ca balance¹⁾

Exp. group	Ca intake(mg/day)	Fecal Ca excretion (mg/day)	Urinary Ca excretion (mg/day)	Apparant Ca absorption(%)	Ca balance(mg/day)
3 day					
NM	54.31 ± 3.95 ^a	5.40 ± 1.07 ^a	1.61 ± 0.55 ^a	89.64 ± 2.46	47.30 ± 4.09 ^a
NH	44.55 ± 2.48 ^b	3.59 ± 1.02 ^{ab}	0.49 ± 0.16 ^b	92.52 ± 1.69	42.41 ± 1.96 ^a
LM	18.14 ± 1.22 ^c	1.91 ± 0.11 ^b	0.21 ± 0.06 ^b	90.24 ± 0.25	17.59 ± 1.07 ^b
SF ⁴⁾	**Ca(0.0001) **Pro(0.0469) *CP(0.0844)	**Ca(0.0073)	**Ca(0.0058) **Pro(0.0443) *CP(0.0997)	NS	**Ca(0.0001)
29 day					
NM	85.95 ± 3.88 ^a	10.96 ± 3.22 ^a	0.87 ± 0.23 ^a	87.37 ± 3.50 ^{ab}	74.12 ± 4.48 ^a
NH	84.21 ± 4.61 ^a	13.65 ± 1.99 ^a	0.14 ± 0.03 ^b	83.66 ± 1.72 ^b	69.71 ± 6.22 ^a
LM	33.53 ± 0.87 ^b	2.16 ± 0.44 ^b	0.12 ± 0.01 ^b	93.51 ± 1.44 ^a	31.49 ± 1.58 ^b
SF ⁴⁾	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0024)	**Ca(0.0030) **Pro(0.0044) **CP(0.0052)	**Ca(0.0366)	**Ca(0.0001)

1) Mean ± S.E.

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

3) NS : Not significant at p<0.05 by Duncan's multiple range test

4) Significant Factor

Ca : Effect of dietary calcium level was significant by F-test

Pro : Effect of dietary protein level was significant by F-test

CP : Interaction between Ca & Pro factor was significant by F-test

* : Effect of factor was significant by F-test at α=0.10

** : Effect of factor was significant by F-test at α=0.05

NS : Effects of dietary calcium and protein level were not significant by F-test at α=0.10

변 칼슘 배설량은 실험 시작 3일 후와 29일 모두 고칼슘군에서 유의적으로 높아 칼슘 섭취 수준에 의한 차이를 보여주었고, 칼슘 섭취량이 가장 많았던 칼슘과 단백질의 적정칼슘섭취군(NH)이 변 칼슘 배설량도 가장 많았다.

이러한 결과는 다른 여러 연구에서도 보여져, 이 등³⁵⁾은 식이내 1.0%와 0.3%의 칼슘을 이유 직후의 암쥐에게 5일간 공급하는 칼슘 평형연구를 실시했을 때 고칼슘 섭취군의 변 칼슘 배설량이 저칼슘섭취군의 변 칼슘 배설량보다 유의적으로 높아 대변내 칼슘 배설량은 식이내 들어 있는 칼슘양에 영향을 받는다고 하였다. 승³⁶⁾은 암컷의 어린 쥐와 성숙 쥐를 대상으로 식이 칼슘을 요구량의 50%, 100%, 200%수준으로 3주간 공급했을 때 대변중 칼슘 배설량은 칼슘에 의한 유의한 영향을 받아 칼슘 섭취 수준 증가에 따라 높게 나타났다고 하였다. 또 암탉³⁷⁾과 사람³⁸⁾을 대상으로 한 실험에서도 저칼슘의 섭취가 대변중 칼슘 배설량을 감소시킨다고 하였으며 이와 같은 이유로는 칼슘 섭취량이 높아지면 내인성 칼슘의 재흡수율이 저하되므로 대변을 통한 칼슘 배설이 증가할 가능성이 있다고 한 Benson 등³⁹⁾의 보고로 설명될 수 있다. 한편, 실험 시작 3일에는 적정단백군에서의 변 칼슘 배설량이 많았으나 실험 시작 29일 후에는 유의적이지는 않으나 고단백군이 적정단백군보다 변 칼슘 배설량이 많은 경향을 보였다.

노 칼슘 배설량은 칼슘 섭취 수준, 단백질 섭취 수준, 그리고 칼슘과 단백질의 교호작용에 의한 영향을 받았는데, 0.5% 칼슘군의 노 칼슘 배설량이 0.2% 칼슘군보다 높았으며, 0.5% 칼슘군에서는 15%의 단백질 군의 노 칼슘 배설량이 30% 단백질 군에 비해 유의적으로 높았다. 이 등²⁹⁾은 고단백식이 노 칼슘 배설에 미치는 영향을 연구하기 위하여 1개월, 6개월, 12개월된 수컷 흰쥐를 5%, 15%, 50%단백식이로 4주간 사육한 결과 모든 나이군에서 5%저단백군의 칼슘 배설량이 50% 고단백군보다 낮았으나 고단백군을 15% 대조군과 비교해 보면 1개월된 쥐에서는 대조군과 같았으며, 6개월된 쥐에서는 대조군보다 낮았다고 보고하여, 고단백군의 노 칼슘 배설량이 15% 단백질의 노 칼슘 배설량보다 낮았다는 본 연구와 같은 결과를 보여주었다.

그러나 문 등⁴⁰⁾은 동물실험에서 단백질 수준을 8%, 50%로 달리하여 3달간 급여하였을 때, 노중 칼슘 배설량이 고단백군에서 높았다고 하였고, 조 등²⁸⁾도 식이 단백질 수준을 5%, 40%로 달리 급여하였을 때 고단백군에서 노 칼슘 배설량이 저단백군보다 높았다고 하였다. 식이 단백질 공급 수준이 40~50%에 해당되는 고도의 고단백식은 동물⁴¹⁾⁴²⁾뿐만 아니라 사람⁴²⁾에서도 노 칼

슘 배설량을 증가시키는 것으로 비교적 일관되게 보고되고 있다. 본 연구에서 공급한 15%, 30%의 단백질 식이가 선행 연구에서 공급한 5%와 50%²⁹⁾, 8%와 50%⁴⁰⁾, 그리고 5%와 40%²⁸⁾의 단백질 식이에 비해 식이 단백질 수준의 차이가 크지 않았기 때문에 단백질 수준 차이로 인한 노 칼슘 배설량 증가 현상이 나타나지 않았으며 일정 수준 이상에서는 유의적인 차이를 보이지 않는 역치의 효과가 있는 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서 적정 수준의 칼슘을 섭취하였을 때 고단백군보다 적정단백군에서 노 칼슘 배설량이 유의적으로 높게 나타난 결과에 대해서는 칼슘과 단백질의 교호작용에 의한 영향이 매우 컸을 것이라 추측되며 칼슘 수준과 단백질 수준별로의 노 칼슘 배설에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

칼슘 흡수율은 실험 시작 3일에는 칼슘 수준이나 단백질 수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나 실험 시작 29일에는 저칼슘군의 칼슘 흡수율이 적정칼슘군보다 유의적으로 높아 칼슘 섭취 수준에 의한 차이를 보였는데 이는 칼슘의 섭취량이 높을 때 칼슘 흡수율이 감소된다는 선행 연구 결과와 일치하는 것이었다. 칼슘을 정상 수준으로 섭취하였을 경우 식이 단백질수준에 의한 영향도 받아 고단백군의 칼슘 흡수율이 다소 낮은 경향을 나타내었다.

칼슘 섭취량이 낮을 때는 신장에서 합성되는 활성 비타민D의 작용에 의해 능동적 이동으로 칼슘의 흡수가 증가하지만, 칼슘 섭취 수준이 높을 경우에는 부갑상선 호르몬 분비와 활성 비타민D 생성이 억제되어 능동적 과정을 통한 칼슘 흡수가 억제되고 주로 수동적 과정의 흡수만이 이루어지기 때문에 칼슘 흡수율이 저하된다.³⁵⁾³⁹⁾⁴⁴⁾ 따라서 본 연구의 저칼슘군의 칼슘 흡수율이 적정 칼슘 군보다 유의적으로 높았던 결과는 이와 같은 이유로 설명되어질 수 있다.

칼슘 balance는 칼슘 섭취 수준에 의한 영향을 받아 0.5% 칼슘군이 저칼슘군보다 유의적으로 높은 값을 보였고, 유의적이지는 않았으나 고단백군에서 낮은 칼슘 balance를 나타내는 경향을 보였다.

2. 혈청 칼슘 수준, Alkaline phosphatase 활성, 노 hydroxyproline 배설량

혈청 칼슘 수준과 Alkaline phosphatase 활성, 그리고 노 hydroxyproline 배설량을 측정된 결과를 Table 3에 제시하였다.

혈청 칼슘 수준은 식이 칼슘이나 단백질 수준에 의한 영향을 받지 않아 각 실험식이군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 혈청 칼슘 수준은 항상성을 유지하기 위

Table 3. Serum calcium concentration and alkaline phosphatase activity, and urinary hydroxyproline excretion¹⁾

Exp. group Organ	Serum Ca(mg/dl)	Alkaline phosphatase activity (KA unit)	Urinary hydroxyproline(μg/day)
NM	7.29±0.10	28.43±2.93 ^{bc}	34.29±5.36
NH	6.92±0.14	24.70±2.78 ^c	34.68±3.73
LM	7.45±0.34	39.42±5.49 ^{ab}	35.08±5.71
LH	7.16±0.13 ^{NS2)}	50.57±6.71 ^{a3)}	36.17±6.09 ^{NS}
SF ⁴⁾	NS	**Ca(0.0004)	NS

1) Mean±S.E.

2) NS : Not significant at p<0.05 by Duncan's multiple range test

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

4) Significant Factor

Ca : Effect of dietary calcium level was significant by F-test

Pro : Effect of dietary protein level was significant by F-test

CP : Interaction between Ca & Pro factor was significant by F-test

* : Effect of factor was significant by F-test at α=0.10

** : Effect of factor was significant by F-test at α=0.05

NS : Effects of dietary calcium and protein level were not significant by F-test at α=0.10

해 호르몬 분비에 의해서 조절되기 때문에 식이 칼슘 수준이나 단백질 수준에 의한 영향을 받지 않았으며 또한 각 실험군 모두 정상 범위에 속하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 성인을 대상으로 한 대사 실험⁴⁵⁾과 여러 동물실험에서 혈청 칼슘 수준이 나이와 식이의 영향을 받지 않아 각 실험군간에 유의적 차이를 나타내지 않았다는 보고²⁹⁾³⁴⁾⁴⁰⁾와 일치하였다.

혈청 Alkaline phosphatase 활성은 저칼슘군이 적정칼슘군보다 유의적으로 높게 나타나 칼슘 수준에 의한 영향을 받았는데, 저칼슘식이섭취군의 경우 고단백식은 혈청 Alkaline phosphatase 활성을 높은 반면 적정 수준으로 칼슘을 섭취했을 경우에는 혈청 Alkaline phosphatase 활성을 낮추었다.

정 등³⁴⁾은 식이 단백질 수준을 달리하여 흰쥐에게 공급했을 때 각 실험군사이에 유의적인 차이는 없었으나 대조군에 비해 고단백군에서 혈청 Alkaline phosphatase 활성이 높은 경향을 보였다고 하였고, 김 등⁴⁶⁾은 암컷 흰쥐에게 칼슘 함량을 0.2%로 낮추고 10%, 40%단백식으로 사육하였을 때 혈청 Alkaline phosphatase 활성이 고단백군에서 높았다고 보고하였다. 이런 결과는 다른 연구에서도 일관된 경향을 보여주며²⁸⁾⁴⁷⁾, 저칼슘섭취군의 경우에 고단백섭취가 혈청 Alkaline phosphatase 활성을 높인다는 본 연구의 결과와 일치된다.

혈청 Alkaline phosphatase 활성은 골격 형성의 지표로 골격 대사가 활발할수록 혈청내 농도가 증가되는데⁴⁸⁾ 이같은 결과는 성장기 흰쥐에 있어서 고단백식은 혈청 Alkaline phosphatase 활성을 증가시키며 따라서 골재형성 과정을 유도시킴을 알 수 있었다.

본 실험결과 노 hydroxyproline 배설량은 각 식이 군

간에 유의적인 차이가 없었다. 선행 연구에 따르면 40~50%의 고단백질 급여시 노 hydroxyproline 배설량이 유의적으로 높게 나타나 고단백식이 골 용출을 촉진시킬 수 있는 가능성을 나타냈다. 본 연구의 노 hydroxyproline 배설량이 각 식이군간에 유의적인 차이가 없었던 것은 적정 수준 단백질로 공급한 15% 수준이 선행 연구의 저단백군의 단백질 수준에 비해 비교적 높은 수준이었기 때문이라 사료된다.

3. 골격 구성 성분

대퇴골의 무게와 밀도에 대한 결과는 Table 4에, 회분과 칼슘 함량에 대한 결과는 Table 5에 제시하였다.

대퇴골의 길이는 각 군별로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대퇴골의 젖은 무게는 칼슘 섭취 수준의 영향으로 적정칼슘군이 저칼슘군보다 유의적으로 높게 나타났고, 체중 대비 대퇴골의 젖은 무게를 비교해 본 결과에서도 저칼슘군보다 적정칼슘군이 더 높게 나타났다. 고단백군이 적정단백군보다 대퇴골의 젖은 무게가 더 높게 나타나 단백질 수준에 의한 영향도 보여주었다.

대퇴골의 마른 무게도 칼슘 수준에 의해 영향을 받는 것으로 나타나 적정칼슘군이 저칼슘군보다 유의적으로 높았고, 체중 대비 대퇴골의 마른 무게는 칼슘 수준뿐 아니라 단백질 수준에 의해서도 영향을 받아서 고단백군의 경우 더 높았다.

대퇴골의 젖은 무게와 마른 무게는 모두 적정 수준의 칼슘을 섭취하면서 고단백을 섭취하였을 경우 가장 높게 나타났다. Matkovic등⁴⁹⁾은 칼슘 섭취가 높은 지역 사람들이 낮은 지역의 사람들보다 최대 골질량과 엉덩이뼈의 골질량이 더 높다고 하였고, 조 등²⁸⁾은 고단백식으로 사육된 흰쥐의 대퇴골 무게, 칼슘 함량 및 단위 회분 무게

Table 4. Weight and density of femur¹⁾

Exp. group	Length(mm)	Wet wt		Dry wt		Volume(cm ³)	Density (mg/cm ³)
		(mg)	(mg/100g BW)	(mg)	(mg/100g BW)		
NM	33.64 ± 0.24	696.20 ± 14.10 ^a	244.16 ± 3.37 ^b	407.73 ± 9.87 ^a	142.88 ± 2.12 ^b	132.71 ± 9.13 ^a	5.28 ± 0.32 ^b
NH	33.72 ± 0.34	703.35 ± 21.69 ^a	275.71 ± 8.60 ^a	409.83 ± 15.59 ^a	160.28 ± 5.05 ^a	115.49 ± 10.70 ^a	6.09 ± 0.48 ^b
LM	33.70 ± 0.35	642.72 ± 18.15 ^b	212.52 ± 3.51 ^c	340.63 ± 9.16 ^b	112.74 ± 2.39 ^d	65.01 ± 1.54 ^b	10.62 ± 1.29 ^a
LH	33.12 ± 0.19 ^(NS)	586.25 ± 10.86 ^(S)	229.27 ± 6.97 ^{bc}	314.70 ± 7.42 ^b	122.92 ± 3.59 ^c	63.63 ± 9.45 ^b	10.86 ± 1.86 ^a
SF ⁴⁾	NS	**Ca(0.0001) *CP(0.0633)	**Ca(0.0001) *Pro(0.0002)	**Ca(0.0001) **Ca(0.0001)	**Ca(0.0001) **Pro(0.0003)	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0001)

1) Mean ± S.E.
 2) NS : Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
 3) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
 4) Significant Factor
 Ca : Effect of dietary calcium level was significant by F-test
 Pro : Effect of dietary protein level was significant by F-test
 CP : Interaction between Ca & Pro factor was significant by F-test
 * : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.10
 ** : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.05
 NS : Effects of dietary calcium and protein level were not significant by F-test at α = 0.10

Table 5. Ash and Ca content of femur¹⁾

Exp.group	Ash(mg)	Ca(mg)	Ca/Ash ratio(%)	Ash/wt ratio(%)	Ca/wt ratio(%)
NM	229.32 ± 6.43 ^a	49.71 ± 3.20 ^a	21.79 ± 1.41 ^b	32.92 ± 0.56 ^a	7.08 ± 0.48 ^{ab}
NH	230.41 ± 8.98 ^a	57.00 ± 4.90 ^a	24.52 ± 1.56 ^{ab}	32.70 ± 0.42 ^a	8.03 ± 0.54 ^a
LM	172.94 ± 5.42 ^b	49.00 ± 2.56 ^a	28.46 ± 1.50 ^a	26.93 ± 0.56 ^b	7.67 ± 0.43 ^{ab}
LH	162.56 ± 4.67 ^(NS)	38.59 ± 2.35 ^b	23.62 ± 1.04 ^b	27.74 ± 0.66 ^b	6.55 ± 0.32 ^b
SF ³⁾	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0088) **CP(0.0131)	**Ca(0.0416) **CP(0.0101)	**Ca(0.0001)	**CP(0.0276)

1) Mean ± S.E.
 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
 3) Significant Factor
 Ca : Effect of dietary calcium level was significant by F-test
 Pro : Effect of dietary protein level was significant by F-test
 CP : Interaction between Ca & Pro factor was significant by F-test
 * : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.10
 ** : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.05
 NS : Effects of dietary calcium and protein level were not significant by F-test at α = 0.10

당 칼슘 함량이 유의적으로 높았다고 보고하였다. 이 등²⁹⁾은 나이가 다른 단계에서 식이 단백질 수준을 달리하여 흰쥐에게 공급했을 때 대퇴골과 경골의 젖은 무게, 마른 무게, 회분 함량, 칼슘 함량이 나이가 증가할수록 증가하였으며, 식이의 영향은 성장기 쥐에서 현저하여 식이 단백질 함량이 높을수록 골격의 무게와 회분 함량이 높았다고 보고하였다. 이러한 결과는 칼슘 섭취 수준이 높고 단백질 수준이 높을수록 골격 무게가 증가함을 시사하는 것이며 본 연구의 결과도 이와 일치하였다.

대퇴골의 부피는 적정칼슘군이 저칼슘군보다 유의적으로 크게 나타났고, 대퇴골의 밀도는 저칼슘군에서 높게 나타났는데, 적정칼슘군의 경우 뼈무게에 비해 부피가 상대적으로 커서 이와 같은 결과가 나온 것으로 보인다.

대퇴골의 회분 함량과 칼슘 함량은 저칼슘을 섭취한 경우보다 적정 수준의 칼슘을 섭취했을 때 유의적으로 높게 나타나 칼슘 섭취수준에 의한 영향을 보였다. 칼슘 수준이 낮을 때 단백질 수준에 의한 영향을 더 받아 저칼슘을 섭취하면서 고단백을 섭취했을 때의 대퇴골 칼슘 함량이 가장 낮게 나타나 칼슘과 단백질의 교호작용이 보였다.

Ca/Ash ratio는 저칼슘군이 적정칼슘군보다 높게 나타났고, Ash/wt ratio는 칼슘 수준의 영향으로 적정칼슘군이 저칼슘군보다 유의적으로 높았으며, Ca/Ash ratio는 칼슘과 단백질의 교호작용의 영향으로 적정 칼슘과 고단백을 섭취한 군이 가장 높았고, 저칼슘과 고단백식을 섭취한 군의 Ca/Ash ratio가 가장 낮은 결과를 보였다. Calvo 등³⁰⁾의 실험에서 성숙기 흰쥐를 6%와 30% 단백질로 사육하였을 때 대퇴골의 회분 함량, 칼슘 함량이 유의적 차이는 아니었으나 고단백군에서 높았다고 보고되었고, 정 등³⁴⁾도 식이 단백질 수준에 따른 대퇴골 밀도, 대퇴골 무기질 함량에 대한 칼슘 효율이 고단백군이 대조군에 비해 높게 나타났다고 하였다. 이것은 단백질 섭취량이 많을수록 골밀도가 높았다는 보고⁵¹⁾와 단백질 섭취량, 특히 동물성 식품으로부터 섭취한 단백질량과 골밀도는 양의 상관 관계를 가진다는 이 등의 결과와 일치한다⁵²⁾. 그러나 본 연구의 경우 이러한 경향은 칼슘 섭취 수준에 따라 다르게 나타나 적정 수준의 칼슘을 섭취하였을 경우는 선행 연구와 일치하였으나 저칼슘을 섭취하였을 때는 대퇴골의 회분 및 칼슘 함량이 고단백군에서 낮게 나타났으며 회분 함량에 대한 칼슘 비와 골격 무게에 대한 칼슘함량비 또한 고단백군에서 낮았다.

견갑골의 무게와 밀도에 대한 결과는 Table 6에, 회분과 칼슘 함량에 대한 결과는 Table 7에 제시하였다.

견갑골 길이는 각 군별로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 견갑골의 젖은 무게는 저칼슘군보다 적정칼슘군

에서 유의적으로 높았고, 단위 체중 당으로 환산한 결과에서도 적정칼슘군의 젖은 무게가 유의적으로 높았으며, 또한 고단백식을 섭취한 군이 높은 경향을 보였다.

견갑골의 마른 무게는 적정칼슘군이 적정단백군보다 유의있게 높아 칼슘 섭취 수준에 의한 효과를 보여주었으나 단백질 섭취 수준에 따른 유의성은 없었다. 그러나 견갑골의 마른 무게를 단위 체중 당으로 환산한 결과에 따르면 고단백을 섭취한 군이 적정 수준의 단백질을 섭취한 군보다 높은 경향을 나타내 단백질 섭취 수준에 따른 유의적인 차이가 나타났다.

견갑골의 무게에 대한 결과를 보면 적정 칼슘을 섭취하면서 고단백을 섭취한 군의 뼈무게가 가장 높았으며, 저칼슘을 섭취한 군의 경우도 고단백을 섭취한 경우의 뼈무게가 더 무겁게 나타나 대퇴골의 경우와 같은 일관된 경향을 보였다.

견갑골의 부피는 칼슘 섭취 수준과 칼슘과 단백질의 교호작용의 영향으로 적정 칼슘과 고단백을 섭취한 군이 가장 크게 나타났고, 견갑골의 밀도는 저칼슘군에서 높았는데 적정칼슘군의 경우 뼈무게에 비해 부피가 상대적으로 커서 이와 같은 결과가 나왔다.

견갑골의 회분 함량 및 칼슘 함량을 살펴본 결과에 의하면 회분 함량과 칼슘 함량은 칼슘 수준에 의한 영향을 보여 저칼슘을 섭취한 경우보다 적정 수준의 칼슘을 섭취했을 때 유의적으로 높게 나타났으며 Ca/Ash ratio는 칼슘 수준이나 단백질 수준에 의한 유의성을 나타내지 않았다. Ash/wt ratio와 Ca/wt ratio는 칼슘 수준의 영향으로 적정칼슘군이 저칼슘군보다 유의적으로 높았고, 적정단백군보다 고단백군이 유의적이지는 않으나 높은 경향을 나타냈는데, Ca/wt ratio는 적정 칼슘을 섭취하면서 고단백을 섭취한 군이 특히 높은 결과를 보여주었다.

견갑골의 경우도 회분 및 칼슘 함량에 대한 단백질 수준의 영향은 대퇴골과 마찬가지로 칼슘 섭취 수준에 따라 다르게 나타나 저칼슘을 섭취하면서 고단백을 섭취한 군에서 가장 낮은 결과를 보였다. 이것은 칼슘의 섭취가 부족할 경우 혈액내 칼슘 항상성을 유지하기 위해 PTH에 의한 골격으로부터의 칼슘 용출(resorption)을 유도할 것이며 여기에 단백질 수준을 증가시키면 노 칼슘 배설에 영향을 미쳐 결론적으로 골격 칼슘 함량의 감소가 더욱 가속화된 결과로 사료된다.

요약 및 결론

성장기 흰쥐를 이용하여 식이 단백질 수준에 따라 식이 칼슘 수준을 달리한 실험식을 공급함으로써 칼슘

Table 6. Weight and density of scapula¹⁾

Exp. group	Length(mm)	Wet wt		Dry wt		Volume(cm ³)	Density (mg/cm ³)
		(mg)	(mg/100g BW)	(mg)	(mg/100g BW)		
NM	23.89 ± 0.28	144.23 ± 3.81 ^a	50.58 ± 1.08 ^b	95.65 ± 2.89 ^a	33.48 ± 0.61 ^b	43.97 ± 4.89 ^{ab}	3.42 ± 0.26 ^{ab}
NH	23.98 ± 0.37	140.40 ± 6.44 ^a	54.73 ± 1.74 ^a	94.21 ± 4.53 ^a	36.66 ± 1.13 ^a	57.47 ± 7.89 ^a	2.72 ± 0.31 ^b
LM	23.82 ± 0.30	131.92 ± 7.42 ^{ab}	43.24 ± 1.18 ^c	78.87 ± 3.73 ^b	25.95 ± 0.66 ^c	36.35 ± 5.99 ^b	3.99 ± 0.42 ^a
LH	23.29 ± 0.20 ^(NS2)	116.97 ± 3.96 ^(b3)	45.47 ± 0.96 ^c	71.93 ± 1.80 ^b	27.26 ± 0.48 ^c	28.60 ± 4.59 ^b	4.56 ± 0.51 ^a
SF ⁴⁾	NS	**Ca(0.0026)	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0056)	**Ca(0.0037)
		**Pro(0.0159)	**Pro(0.0050)	**Pro(0.0050)	**Pro(0.0050)	*CP(0.0861)	*CP(0.0983)

1) Mean ± S.E.
 2) NS : Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
 3) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
 4) Significant Factor
 Ca : Effect of dietary calcium level was significant by F-test
 Pro : Effect of dietary protein level was significant by F-test
 CP : Interaction between Ca & Pro factor was significant by F-test
 * : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.10
 ** : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.05
 NS : Effects of dietary calcium and protein level were not significant by F-test at α = 0.10

Table 7. Ash and Ca content of scapula¹⁾

Exp.group	Ash(mg)	Ca(mg)	Ca/Ash ratio(%)	Ash/wt ratio(%)	Ca/wt ratio(%)
NM	55.10 ± 1.70 ^a	14.73 ± 0.57 ^a	26.08 ± 0.73	38.21 ± 0.65 ^a	9.98 ± 0.37 ^{ab}
NH	54.79 ± 2.76 ^a	14.97 ± 1.00 ^a	27.41 ± 1.47	38.94 ± 0.42 ^a	10.67 ± 0.56 ^a
LM	42.64 ± 1.92 ^b	11.18 ± 0.98 ^b	27.34 ± 2.19	32.54 ± 0.58 ^b	8.54 ± 0.64 ^b
LH	39.20 ± 1.22 ^(b2)	10.75 ± 0.51 ^b	27.64 ± 1.67 ^(NS3)	32.85 ± 0.62 ^b	9.04 ± 0.46 ^b
SF ⁴⁾	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0001)	NS	**Ca(0.0001)	**Ca(0.0051)

1) Mean ± S.E.
 2) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
 3) NS : Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
 4) Significant Factor
 Ca : Effect of dietary calcium level was significant by F-test
 Pro : Effect of dietary protein level was significant by F-test
 CP : Interaction between Ca & Pro factor was significant by F-test
 * : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.10
 ** : Effect of factor was significant by F-test at α = 0.05
 NS : Effects of dietary calcium and protein level were not significant by F-test at α = 0.10

섭취 수준과 단백질 섭취 수준이 최대 골질량 획득 시기인 성장기의 골격 대사에 미치는 영향을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

변과 노를 통한 칼슘 배설량은 저칼슘섭취군보다 적정 칼슘섭취군에서 유의적으로 높았고 칼슘 흡수율은 저칼슘군에서 유의적으로 높았다. 고단백식은 변 칼슘 배설을 증가시키는 경향을 보였지만 노 칼슘 배설을 증가시키지는 않았으며 칼슘과 단백질의 교호작용으로 적정 칼슘-적정단백군에 비해 다른 군에서 유의적으로 낮은 값을 보였다.

혈청 칼슘과 노 hydroxyproline 배설량에는 식이 칼슘과 식이 단백질 수준에 따른 유의적인 차이가 없었으나 혈청 alkaline phosphatase activity는 저칼슘군이 적정칼슘군보다 유의적으로 높게 나타났다.

골격 구성 성분을 살펴본 결과에 의하면, 적정칼슘군의 골격 무게, 골격 회분 함량, 골격 칼슘 함량이 저칼슘군보다 유의적으로 높았고, 고단백군에서 골격의 무게, 회분 함량, 칼슘 함량이 높은 경향을 보였다. 저칼슘섭취군의 경우 고단백을 섭취하면 골격의 무게는 높았으나 골격 회분 함량과 칼슘 함량은 적정단백군보다 낮은 결과를 보였다.

이상의 결과는 성장기 쥐에서 식이 단백질 수준에 따른 칼슘 섭취가 혈청과 노 성분에는 비교적 유의적인 차이를 주지 않았으나 칼슘 대사 및 골격 대사에 영향을 미침을 보여주었다. 고단백식이섭취는 성장기 흰쥐에서 골격의 무게, 회분 함량 및 칼슘 함량을 증가시켰지만 칼슘 섭취량이 부족할 때는 골격의 무기 물질 함유율을 오히려 감소시킴을 알 수 있다.

성장기는 골격의 형성이 계속 진행되는 시기이므로 식이의 영향에 민감하게 반응하여 골격 구성의 변화가 나타나는 시기이다. 이 때에 충분한 칼슘 섭취와 함께 단백질 섭취를 통한 최대 골질량을 획득하여야 골격의 건강을 유지하고 노령화에 따른 골격 질환을 예방할 수 있을 것이다. 그러나 칼슘 섭취가 충분하지 못할 경우 고단백 식이는 오히려 골격의 회분과 칼슘 함량을 감소시킬 수 있으므로 식이 섭취시 적절한 수준의 단백질을 섭취하는 등 세심한 주의가 필요하다고 사료된다.

Literature cited

- 1) Heaney RP. Nutritional factors in osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 13 : 287-316, 1993
- 2) Smith DM, Nance WE, Kang KW, Christiansen JC, Johnston CC Jr. Genetic factors in determining bone loss. *J Clin Invest* 52 : 2800, 1973
- 3) Riggs BL, Melton III J. Involutional Osteoporosis. *N Engl J Med* 314(26) : 676, 1986
- 4) Wardlaw G. The effects of diet and life-style on bone mass in women. *J Am Diet Assoc* 88(1) : 17, 1988
- 5) Prafitt AM. Dietary risk factors for age-related bone loss and fractures. *Lancet* 19 : 1181, 1983
- 6) Nordin BEC. International patterns of osteoporosis. *Clin Orthop* 45 : 17-30, 1966
- 7) Heaney RP, Recker RR, Saville PD. calcium balance and calcium requirements in middle-aged women. *AM J Clin Nutr* 30 : 1603-1609, 1977
- 8) Aloia JF, Cohn SH, Vaswani A, Yeh JK, Yuen K, Ellis K. Risk factors for postmenopausal osteoporosis. *Am J Med* 78 : 95-102, 1985
- 9) Smith DM, Khairi MRA, Norton J, Johnston Jr CC. Age and activity effects on rate of bone mineral loss. *J Clin Invest* 58 : 716-721, 1976
- 10) Yano K, Heibrun LK, Wasnich RD, Hankin JH, Vogel JM. The relationship between diet and bone mineral content of multiple skeletal sites in elderly Japanese-American men and women living in Hawaii. *Am J Clin Nutr* 42 : 877-888, 1985
- 11) Dawson-Hughes B. Calcium supplementation and bone loss : A review of controlled clinical trials. *Am J Clin Nutr* 54 : 274-280, 1991
- 12) 장준섭. 골 대사와 호르몬 조절. *최신의학* 30(1) : 11-16, 1987
- 13) Jowsey J and Raisz LG. Experimental osteoporosis and parathyroid activity. *Endocrinology* 82 : 384-396, 1968
- 14) Jowsey J, Gershon-Cohen J. Effect of dietary calcium levels on production and reversal of experimental osteoporosis in cats. *Proc Soc Exp Biol Med* 116 : 437-441, 1964
- 15) 송영득 · 이종호 · 안광진 · 정춘희 · 김미림 · 이관우 · 이명희 · 임승길 · 김경래 · 이현철 · 문수재 · 허갑범. 정상적인 남자의 칼슘섭취량 및 운동량과 골밀도와의 관계. *대한의학회지* 34 : 83-91, 1991
- 16) Reker RR, Saville PD, Heaney RP. Effect of estrogens and calcium carbonate on bone loss in postmenopausal women. *Ann Intern Med* 87 : 649-655, 1977
- 17) 한성숙 · 김숙희. 한국 노인의 식사내용이 골격밀도에 미치는 영향에 관한 조사연구. *한국영양학회지* 21(5) : 333-347, 1988
- 18) Reid IR, Ames R, Evans MC. Dietary calcium supplementation slows the decline in total body bone mineral density in postmenopausal women. *Bone and Mineral Supplement* 1. 17 : 17-22, 1992
- 19) Sandler RB, Slemenda CW, Laporte RE, Cauley JA, Schramm MM, Barresi ML, Kriska AM. Postmenopausal bone density and milk consumption in childhood and ad-

- olescence. *Am J Clin Nutr* 42 : 270-274, 1985
- 20) Matkovic V & Ilich JZ. Calcium requirements for growth : Are current recommendations adequate? *Nutr Rev* 51(6) : 171-180, 1993
 - 21) 보건복지부. '94국민영양조사결과보고서. 1996
 - 22) 김화영. 골다공증과 식이 인자. *한국영양학회지* 27(6) : 636-645, 1994
 - 23) 안주원 · 김화영. 나이가 다른 흰쥐에서 식이단백질 수준이 신장 기능 및 Ca대사에 미치는 영향. *한국노화학회지* 3 : 39-44, 1993
 - 24) 조성연 · 장영애 · 이현숙 · 김화영. 난소를 절제한 흰쥐에서 식이 단백질 수준이 체내 Ca 및 골격대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(8) : 915-924, 1993
 - 25) Metz JA, Anderson JJB, Gallagher Jr PN. Intakes of calcium, phosphorus, and protein, and physical activity level are related to radial bone mass in young adult women. *Am J Clin Nutr* 58 : 537-542, 1993
 - 26) Kerstetter JE, Allen LH. Protein intake and calcium homeostasis. *Adv Nutr Res* 9 : 167-181, 1994
 - 27) 김혜영 · 조미숙 · 김화영 · 김숙희. 식이 단백질의 종류와 수준이 연령이 다른 흰쥐에서 뇨 Ca배설 및 뼈에 미치는 영향. *한국영양학회지* 19(1) : 66-73, 1986
 - 28) 조미숙 · 최남순 · 김화영. 식이 단백질 수준이 어린 쥐와 나이는 쥐의 골격대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 22(6) : 497-506, 1989
 - 29) 이정아 · 장영애 · 김화영. 나이가 다른 단계에서 식이 단백질 수준이 흰쥐의 Ca대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 25(7) : 569-577, 1992
 - 30) The American Institute of Nutrition. Report of the American Institute of Nutritional Studies. *J Nutr* 107 : 1340-1348, 1977
 - 31) Bray DL, Briggs CM. Decrease in bone density in young male guinea pigs fed high levels of ascorbic acid. *J Nutr* 114 : 920-928, 1984
 - 32) Peterson GL. *Anal Biochem* 83 : 346-356, 1977
 - 33) Blumenkrantz N, Asboe-Hansen G. A quick and specific assay for hydroxyproline. *Anal Biochem* 55 : 228-291, 1993
 - 34) 정소형 · 최미자. 식이단백질량이 성장기 흰쥐의 골밀도에 대한 칼슘효율에 미치는 영향. *한국영양학회지* 28(9) : 817-824, 1995
 - 35) 이종호 · 문수재, 허갑범. Phytate와 저 Ca 섭취가 흰쥐의 성장기간 동안 Ca, P, Zn 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(2) : 145-155, 1993
 - 36) 승정자. 칼슘의 섭취수준이 연령이 다른 암쥐의 칼슘, 나트륨 및 칼륨대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 28(4) : 309-320, 1995
 - 37) Roland DA, Sloan DR, Harms RH. Calcium metabolism in the laying hen. IV. The calcium status of the hen at night. *Poult Sci* 52 : 351-354, 1973
 - 38) 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
 - 39) Benson JD, Emery RS, Thomas JW. Effects of previous calcium intake on adaptation to low and high calcium diets in rats. *J Nutr* 97 : 53-60, 1969
 - 40) 문혜미. 장기간의 고저단백 식이섭취가 수컷 흰쥐의 체내 칼슘 및 골격대사에 미치는 영향. 이화여자대학교 석사학위논문, 1993
 - 41) Calvo MS, Bell JL, Forbes RM. Effect of protein induced calciuria on calcium metabolism and bone status in adult rats. *J Nutr* 114 : 1049-1059, 1984
 - 42) Lee HS, Kim WY. The effect of level of dietary protein on kidney development and function in growing rats. *Kor J Nutr* 23(6) : 401-407, 1990
 - 43) Allen LH, Oddoye EA, Margen S. Protein-induced hypercalciuria : A longer term study. *Am J Clin Nutr* 32 : 441-749, 1979
 - 44) Heaneys RP, Weaver CM, Fitzsimmons ML. Influence of calcium load on absorption fraction. *J Bone Min Res* 5(11) : 1135-1138, 1990
 - 45) Schuette SA, Zemel MB, Linkswiler HM. Studies on the mechanism of protein induces hypercalciuria in older men and women. *J Nutr* 110 : 305-315, 1980
 - 46) 김화영 · 김미현. 난소절제쥐에게 estrogen을 투여하였을 때 식이 단백질 수준이 Ca 및 골격대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 28(4) : 298-308, 1995
 - 47) 김화영 · 문경원 · 김정희. 장기간의 고 저단백식이섭취가 난소절제쥐의 Ca 및 골격 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 28(5) : 415-425, 1995
 - 48) 임승길. Bone turnover marker의 임상적 의의와 응용. *골대사학회지* 1(1) : 1-11, 1994
 - 49) Matkovic V, Kostial K, Simonovic I, Buzina R, Brodarec A, Nordin BEC. Bone status and fracture rates in two regions of Yugoslavia. *J Am Clin Nutr* 32 : 540-549, 1979
 - 50) Calvo MS, Bell RR, Forbes RM. Effect of protein induced calciuria on calcium metabolism and bone status in adult rats. *J Nutr* 112 : 1401-1413, 1982
 - 51) 이보경 · 장유경 · 최경숙. 폐경후 여성의 골밀도에 대한 영양소 섭취실태의 영향. *한국영양학회지* 25(7) : 642-655, 1992
 - 52) 이종호 · 최미숙 · 백인경 · 문수재 · 임승길 · 안광진 · 송영득 · 이현철 · 허갑범. 폐경전 40대 한국 여성들의 영양 섭취 상태와 골밀도와의 관계. *한국영양학회지* 25(2) : 140-149, 1992