

식이단백질량이 성장기 흰쥐의 골밀도에 대한 칼슘효율에 미치는 영향

정 소 형 · 최 미 자

계명대학교 가정대학 식생활학과

Effect of Dietary Protein Level on Ca Efficiency in Bone Mineral Density in Growing Rats

Jung, So Hyoung · Choi, Mi Ja

Department of Nutrition and Food Sciences, College of Home Economics, Keimyung University,
Daegu, Korea

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the effect of dietary protein level on Ca efficiency in bone mineral density in growing male rats. Twenty male rats were divided into two groups. The rats in one group were fed on casein 20% diet as control group and the others were fed on casein 40% diet as high protein group. All rats were fed on experimental diet and deionized water ad libitum for 9 weeks. The total body, spine and femur bone mineral density and bone mineral content were measured using dual energy-x ray absorptiometry. Urinary calcium, phosphate, pyridinoline and creatinine, serum calcium, phosphate, total protein, albumin, alkaline phosphatase (ALP) and osteocalcin were measured. Urinary Ca excretion, pyridinoline and crosslinks value and serum ALP content seem to be increased in high protein group. It appears that the growing rats in high protein group had a higher bone resorption and bone formation than those in control group. Animal fed a high protein diet had a significantly higher Ca efficiency in BMD, BMC of total body, spine and femur. The results of this study show that increasing of dietary protein level (40%) is beneficial of improvement of Ca efficiency during growing period.

KEY WORDS : protein level · Ca efficiency · bone density · growing period.

서 론

최근 우리나라에서도 노인인구가 증가하면서 노화와 관련된 여러가지 노인성 질병에 대한 연구가 활발히 진

채택일: 1995년 10월 9일

행되고 있다. 특히 노인층에서 암과 심장 순환기계통 질환과 함께 가장 흔한 질병으로서 골다공증을 들 수 있으며¹⁾ 이에 대한 예방 및 치료에 대한 관심이 높아지고 있다. 골다공증은 칼슘대사의 변화로 인해 골의 화학적 조성에는 변화가 없으나 단위용적내의 골량의 감소를 초래하여 척추, 요골 및 대퇴부의 골절을 쉽게 일으키는 질환

식이단백질량이 골밀도에 미치는 영향

이다²³⁾. 남성의 경우 연령증가에 따라 골밀도가 직선적으로 감소하여 10년당 3~4%씩의 감소를 보이며 여성은 30대 중반에서 최대골질량을 이룬 후 45~50세까지는 3%정도의 감소를 보인다. 그러나 폐경이후 골밀도의 감소는 10년당 9%로 현저해지고, 75세이후에는 남성과 같은 비율인 10년당 3~4%의 감소를 보인다고 한다⁴⁾⁵⁾.

골다공증의 원인은 아직 명확히 밝혀지지 않고 있지만 유전적 요인과 환경적 요인이 주로 논의되고 있으며⁶⁾⁷⁾ 환경적 요인중에서 식이인자로서 식이칼슘, 단백질, 인, 비타민 C, 비타민 D, 유당, 지방, 섬유소 등 여러가지가 포함된다⁸⁾. 그 중에서 과다한 단백질의 섭취는 요중 칼슘배설량을 증가시킨다는 보고가 동물⁹⁻¹¹⁾과 사람¹²⁾¹³⁾을 대상으로 한 많은 실험에서 보고되고 있다. 이러한 요중 칼슘배설량의 증가는 칼슘흡수량과는 상관없이 칼슘평형을 악화시키며 이로 인해 골격의 칼슘유출이 증가하게 되므로 결국 골격 약화를 초래한다고 보고하였다¹⁴⁻¹⁶⁾. 고단백식이 요중 칼슘배설증가에 미치는 기전은 불분명하나 사구체 여과율의 증가와 세뇨관에서의 칼슘재흡수 감소가 중요한 원인으로 알려져 있다¹²⁾¹⁷⁾¹⁸⁾. 그러나 조미숙 등⁹⁾은 2개월된 쥐에게 casein 5%와 40%식으로 12주간 사육했을 때 요중 칼슘배설량 및 요중 hydroxyproline함량이 고단백군에서 높았음에도 불구하고 골격의 회분 및 칼슘함량이 더 높게 나타났다고 보고하여 요중 칼슘 배설량의 증가가 골격의 구성성분에 영향을 미치지 않는다고 하였다.

또한 식이중 단백질 함량의 증가가 골격구성 성분에 미치는 영향은 나이에 따라 다르게 나타나는데 특히 최대골질량을 형성하는 시기인 성숙기 동안에 고단백식이 미치는 영향에 대해서는 상반된 보고가 있다. 김혜영 등¹⁹⁾은 고단백식이 성장기 흰쥐의 골격발달을 촉진시킨다고 보고했으며 김화영 등²⁰⁾이 8%, 50%단백식으로 15주간 사육하였을 때 골격의 회분함량, Ca함량, 골격 무게 및 회분함량에 대한 Ca 함량비가 고단백군에서 높게 나타났다고 보고하였다. 그러나 이정아 등²¹⁾은 골격의 유기물질 함유율에 대한 무기물질 함유율로 골격밀도를 측정하였을 때 고단백식이 성장기 흰쥐의 골밀도를 낮추었다고 보고하였으며 문혜미²²⁾는 2개월된 수컷흰쥐를 12주 동안 casein 8%, 50% 단백질로 사육했을 때의 척추골밀도는 3.9(mg/cm³), 3.61(mg/cm³)으로 오히

려 저단백군에서 더욱 높았다고 보고하였다.

이와 같이 선행연구에서 성숙기 동안에 고단백식이 흰쥐의 골격구성 및 골밀도에 미치는 영향이 상반되게 보고되고 있으며 또한 골격상태의 진단에도 생화학적 분석²⁰⁻²²⁾에 의하거나 뼈의 강도(breaking force)를 측정하는 방법²³⁾에 의할뿐 직접적인 골밀도 측정기를 이용한 보고는 없는 실정이다.

그러므로 본 연구는 골격상태의 직접적인 진단방법으로 양에너지 방사선 골밀도 측정기(dual energy X-ray absorptiometry, DEXA)를 이용하여 성장기 흰쥐에서 단백질 수준이 골밀도와 골밀도에 대한 칼슘효율에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

재료 및 방법

평균체중이 약 50g인 sprague-dawley 수컷쥐 20마리를 구입(한국생명공학센터 K.L.E.C, 서울)하여 실험식을 시작하기 전까지 고행사료(rat chow, 삼양사)로 사육하였다. 평균체중이 145g이 되었을 때 단백질수준을 20%대조군과 40%고단백질군으로 구분하여 9주동안 stainless-steel wire cage에서 한마리씩 분리 사육하였다. 실험식의 구성성분은 Table 1과 같다. 사육실의 온도는 25±2℃, 습도는 63±5%로 유지하였고 매일 광주기, 암주기를 12시간이 되도록 조절하였다. 실험기간 동안 식이와 물은 자유롭게 섭취케 하였으며 물은 모두 6차 이온교환수를 사용하였다. 실험기간 동안 식이섭취량은 이틀에 한번씩, 체중은 1주일에 한번씩 일정시간에 측정하였으며 실험 9주째에 대사장에 옮겨 24시간동안의 요를 채취하였고 분석할때까지 -25℃에서 냉동보관하였다. 흰쥐는 골밀도 측정 이후 대동맥에서 혈액을 채취한후에 희생시켰으며 채취한 혈액은 상온에서 30분간 방치하였다가 3000rpm에서 10분간 원심분리시켜 혈청을 얻은후 분석할때까지 -25℃에서 냉동보관하였다.

LUNAR사의 양에너지 방사선 골밀도측정기(dual energy x-ray absorptiometry, DEXA)를 이용하여 small animal software로 총골밀도(total body bone mineral density: TBMD), 총 골무기질함량(total body bone mineral content: TBMC), 총골칼슘함량(total bone calcium content: TBCa), 척추

(spine), 대퇴골(femur)의 골밀도(bone mineral density)와 골무기질함량(bone mineral content)을 측정하였다. 측정된 각 부위의 골밀도치와 골무기질 함량치 및 골칼슘함량치는 칼슘섭취량으로 나누어 칼슘효율 (Ca efficiency=BMD, BMC, BCa / Ca intake)을 각각 구하였다. 요중 칼슘, 인의 측정은 TECHNICON CHEN™ SYSTEM을 이용하여 자동분석기 (automatic chemical analyzer)로 측정하였고, 요중 pyridinoline, creatinine, crosslinks value의 측정은 collagen crosslinks™ Kit(cat. No : 8001. Metra Biosystems Inc. U.S.A.)을 이용하여 ELISA (enzyme-linked immuno sorvent assay)법에 의해 분석하였다. 혈청 칼슘, 인, total protein, albumin,

alkaline phosphatase의 측정은 TECHNICON CHEN™ SYSTEM을 이용하여 자동분석기 (automatic chemical analyzer)로 측정하였고, osteocalcin은 osteocalcin kit(Nichols Institute, IMMUTOPICS, INC)을 이용하여 gamma counter로 radio immunoassay하였다

실험분석 결과의 통계처리는 SAS package를 이용하였고 식이군간의 비교는 student's t-test 분석을 하였고 변수들간의 상관관계는 pearson's correlation coefficient로 처리하였다.

결과 및 고찰

Table 2에서와 같이 실험기간 동안의 평균식이 섭취량과 칼슘섭취량은 실험군들 사이에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 체중은 실험시작에서 3주전까지는 고단백군에서 빠른 증가를 보였으나 실험 9주째에는 대조군과 고단백군 사이에 유의적인 차이는 없었다(Fig. 1).

Table 3은 요중 칼슘 및 인의 배설을 나타낸 것이다. 요중 칼슘배설량은 실험군 사이에서 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 고단백군에서 0.29mg/day로 대조군의 0.12mg/day에 비해 높게 나타났다. Allen등¹⁴⁾은 6명의 남성을 대상으로 95일동안 행하여진 대사실험에서 요중 칼슘배설량은 고단백 섭취군이 저단백 섭취군에 비해 유의적으로 높았다고 보고하였다. 또한 동물실험에서 단백질 수준을 8%, 50%로 3달 동안 급여하였을 때, 요중 칼슘배설량이 0.64mg/day, 0.75mg/day로 고단백군에서 높게 나타났다고 보고²²⁾하였으며 단백질 수준을 15%, 50%²¹⁾, 5%, 40%⁹⁾로 달리 급여하였을 때에도 고단백군에서 요중 칼슘배설량이 높았다고 보고하였다. 본 실험에서도 단백질 수준을 40%로 증가시켰을 때 요중 칼슘배설이 높게 나타나 선행연구 결과와 같은 경향

Table 1. Composition of experimental diets(g/100g of Diet)

	Dietary group	
	Casein 20%	Casein 40%
Casein ¹⁾	20	40
Corn starch ²⁾	65.7	45.7
Corn-oil ³⁾	5	5
Cellulose ⁴⁾	3.80	3.80
Min-Mix ⁵⁾	3.5	3.5
Vit-Mix ⁶⁾	1.8	1.8
Choline ⁷⁾	0.2	0.2

Gross Energy, kcal/g : 3.878

- 1) Casein High Protein, supplied by U.S. CORNING Laboratory Services company. TEKLAD TEST DIETS, Madison, Wisconsin, Biological test Material No. 160030.
- 2) Corn Starch, supplied by U.S. CORNING Laboratory Services company. TEKLAD TEST DIETS, Madison, Wisconsin, Biological test Material No. 160170
- 3) Corn-oil, Dong-bang Yuo-Ryang Co. YangPyung-Dong 4-2, Youngdongpo-Gu Seoul : KSH 2102
- 4) Cellulose, supplied by SIGMA Chemical Company. No. C8002.
- 5) Mineral Mixture, supplied by U.S. CORNING Laboratory Services company. TEKLAD TEST DIETS, Madison, Wisconsin, Biological test Material No. 170915.
- 6) Vitamin Mixture, supplied by U.S. CORNING Laboratory Services company. TEKLAD TEST DIETS, Madison, Wisconsin, Biological test Material No. 40077.
- 7) Choline Bitartate, supplied by U.S. CORNING Laboratory Services company. TEKLAD TEST DIETS, Madison, Wisconsin, Biological test Material No. 30190.

Table 2. Mean food intake, Ca intake of rats fed ether 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks

	Control	High protein	p
Food intake(g/day)	17.37 ± 0.66 ¹⁾	15.20 ± 2.62	NS ²⁾
Ca intake(mg/day)	88.6 ± 3.4	77.5 ± 13.4	NS

1) Mean ± SD

2) Values are not significantly different at p < 0.05 by student t-test

식이단백질량이 골밀도에 미치는 영향

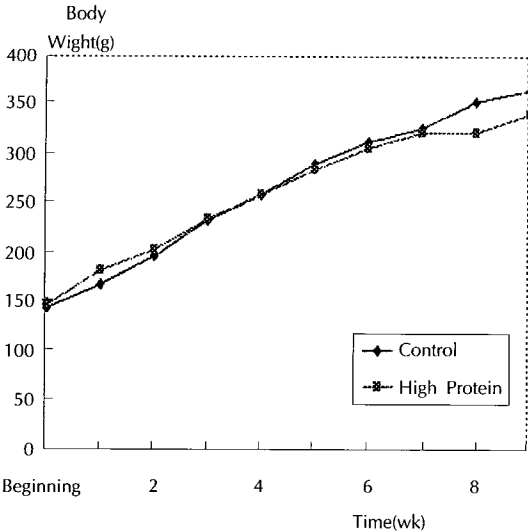


Fig. 1. Changes of body weight of rats fed ether 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks.

Table 3. Urinary Ca and P excretion of rats fed ether 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks

	Control	High protein	p
Ca(mg/day)	0.12 ± 0.04 ¹⁾	0.29 ± 0.29	NS ²⁾
P(mg/day)	2.65 ± 1.13	2.25 ± 1.02	NS

1) Mean ± SD

2) Values are not significantly different at p < 0.05 by student t-test

을 나타내었다. 요중 인배설은 두 실험군 사이에서 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 대조군이 고단백군에 비해 높은 경향을 나타내었다.

Collagen의 crossliker인 pyridinoline은 파골세포에 의하여 뼈가 흡수될 때 유리되어 소변으로 배설되며 식이에 의하여 영향을 받지 않으므로 최근에 민감한 골흡수 지표로 사용된다²⁴⁾. Table 4에서와 같이 요중 pyridinoline 함량은 유의적이지는 않았으나 고단백군에서 높게 나타났으며 crosslinks value 또한 대조군의 495.56nM/mM에 비해 667.56nM/mM로 고단백군에서 높게 나타났다. 이것은 동물실험에서 어린쥐에게 단백질 수준을 5%, 40%로 급여시 골흡수 지표로써 요중 hydroxyproline을 측정하였을 때 11.85µg/day, 37.17µg/day로 고단백군에서 유의적으로 높게 나타났다고 보고⁹⁾한 것과 2개월된 성숙한 수컷흰쥐를 8%, 50% 단백질으

Table 4. Pyridinoline, creatinine and crosslinks value for urine of rats fed ether 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks

	Control	High protein	P
Pyridinoline (nM)	4204.1 ± 1918.74 ¹⁾	4843.38 ± 1412.57	NS ²⁾
Creatinine (mM)	10.23 ± 8.59	7.47 ± 2.75	NS
Crosslink Value (nM/mM)	495.56 ± 169.78	667.56 ± 169.78	NS

1) Mean ± SD

2) Values are not significantly different at p < 0.05 by student t-test

Table 5. Biochemical data in serum of rats fed ether 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks

	Control	High protein	P
Ca(mg/dl)	10.7 ± 10.92 ¹⁾	10.38 ± 2.10	NS ²⁾
P(mg/dl)	6.74 ± 0.43	6.86 ± 0.96	NS
Total protein(g/dl)	6.83 ± 0.48	6.59 ± 0.51	NS
Albumin(g/dl)	3.64 ± 0.26	3.05 ± 0.68	NS
Osteocalcin(ng/ml)	0.25 ± 0.02	0.27 ± 0.03	NS
ALP(u/l)	111.71 ± 19.90	131.67 ± 33.63	NS

1) Mean ± SD

2) Values are not significantly different at p < 0.05 by student t-test

로 사육하였을 때에도 99.24µg/day, 117.08µg/day로 고단백군에서 요중 hydroxyproline치가 높았다고 보고한 선행연구²⁵⁾와 같은 경향을 나타내었다. 본 실험에서 측정된 crosslinks value가 실험군들 사이에서 유의적인 차이를 나타내지 않은 것은 대조군으로 사용한 casein 20%수준이 선행연구의 저단백군의 단백질 수준에 비해 비교적 높은 수준이었기 때문이라 사료되어 진다.

Table 5는 혈청에서의 생화학적 검사치이다. 혈청 칼슘과 인함량은 실험군 사이에서 유의적 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 성인을 대상으로 한 대사실험¹²⁾과 단백질 수준을 달리한 여러 동물실험에서 혈청 칼슘과 인함량은 단백질 수준에 따라 유의적 차이를 나타내지 않았다는 보고²¹⁾²²⁾와 일치한다.

본 실험에서의 혈청내 total protein과 albumin 함량은 단백질 수준에 따른 유의적 차이를 나타내지 않았다. 이 수치는 김경희와 최미자²⁵⁾가 암컷 흰쥐에게 casein

20%를 급여하였을 때의 혈청 total protein과 albumin 함량인 6.0g/dl, 2.5g/dl와 비슷한 수준이었다.

Alkaline phosphatase(ALP)와 osteocalcin은 골형성 지표로 골대사가 활발할수록 혈청내 농도가 증가된다²⁴⁾. 본 실험의 혈청 ALP함량은 실험군 사이에 유의적 차이는 나타나지 않았으나 대조군에 비해 고단백군에서 높은 경향을 나타내었다. 이것은 암컷흰쥐에게 칼슘함량을 0.2%로 낮추고, 10%, 40% 단백질이로 사육하였을 때 혈중 ALP는 13.09(u/l), 18.41(u/l)로 고단백군에서 높았다고 보고²⁶⁾한 것과 6%, 60% 단백질을 급여하였을 때 혈중 ALP는 유의적인 차이는 없으나 고단백군에서 높았다는 보고⁹⁾와 일치한다. 이같은 사실은 성장기 흰쥐에 있어서의 고단백식이 혈중 ALP함량을 증가시키므로 골재형성 과정이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있었다.

Table 6은 총골밀도, 총골무기질 함량, 총골칼슘 함량과 이에 대한 각각의 칼슘효율을 나타내었다. 총골밀도, 총골무기질 함량, 총골칼슘 함량은 단백질 수준에 의한 유의적인 차이는 나타나지 않았으나 총골밀도는 고단백군이 대조군에 비해 높은 경향을 나타내었다. 이것은 단백질 섭취량이 많을수록 골밀도가 높았다는 보고²⁷⁾와 단백질 섭취량, 특히 동물성 식품으로부터 섭취된 단백질량과 골밀도는 양의 상관관계는 가진다는 선행연구²⁸⁾와 일치한다. 그러나 총골무기질 함량과 총골칼슘 함량은

대조군이 고단백군에 비해 높게 나타났다. 이것은 대조군의 칼슘 섭취량이 많았고 체중이 더 높기 때문으로 사료된다.

최미자²⁹⁾는 성장기 소녀들의 총골밀도와 총골무기질 함량은 체중과 양의 상관관계가 있다고 보고하였으며 Matkovic등³⁰⁾은 칼슘섭취가 높은 지역의 사람들이 낮은 지역의 사람들보다 최대 골질량과 엉덩이뼈의 골질량이 더 높았다고 보고하였다. 또한 김경희와 최미자²⁵⁾가 흰쥐에게 casein 20%로 8주간 급여했을때의 총골밀도, 총골무기질 함량, 총골칼슘 함량은 0.258±0.00(g/cm²) VS 0.263(g/cm²), 4.079±0.32(g) VS 6.037(g/cm²), 1.55±0.12(g) VS 2.29(g/cm²)으로 본 실험의 수치보다 낮았다. 이것은 주령이 비슷함에도 불구하고 평균 칼슘섭취량이 이 연구의 88.6mg/day보다 63.52mg/day으로 낮았고, 체중은 238.7g으로 본 실험의 364.6g에 비해 매우 낮았기 때문이라 보여진다. 본 실험에서도 칼슘 섭취량 및 체중이 높았던 대조군의 총골무기질 함량, 총골칼슘 함량이 고단백군에 비해 높게 나타나서 위의 여러선행연구와 일치하였다.

그러나 칼슘효율로 비교할때 총골무기질 함량, 총골칼슘 함량이 유의적 차이는 없으나 고단백군에서 높았으며 총골밀도는 유의적으로 높게 나타나서 고단백질섭취가 골밀도에 대한 칼슘효율을 높임을 볼 수 있었다.

Table 7에서는 척추골밀도, 척추골무기질 함량 및 이에 대한 칼슘효율을 나타내었다. 척추골밀도, 척추골무기질 함량은 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 그러나 칼슘효율로 보게 될 때 척추골밀도, 척추골무기질 함량에 대한 칼슘효율은 고단백군이 대조군에 비해 유의적으

Table 6. Total body bone mineral density(BMD), bone mineral content(BMC),bone calcium content (BCa) and Ca efficiency in those of rats fed either 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks

	Control	High protein
TBMD(g/cm ²)	0.263±0.01 ^{1a}	0.264±0.01 ^a
TBMC(g)	6.037±0.49 ^a	5.338±1.35
TBCa(g)	2.290±0.18 ^a	2.030±0.51 ^a
TBMD/Ca intake	2.929±0.14 ^a	3.464±0.53 ^{b2)}
TBMC/Ca intake	67.14±7.06 ^a	68.40±9.71 ^a
TMCa/Ca intake	25.47±2.67 ^a	26.01±3.69 ^a

1) Mean±SD

2) Values with different superscripts within the row are significantly different at p < 0.05 by student t-test

Body bone mineral density, bone mineral content, bone calcium content were measured using dual energy-x ray absorptionmetry

Ca efficiency=BMD, BMC, BCa/Ca intake

Table 7. Spine body bone mineral density(BMD), bone mineral content(BMC), bone calcium content (BCa) and Ca efficiency in those of rats fed either 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks

	Control	High protein
Spine BMD(g/cm ²)	0.237±0.00 ^{1a}	0.228±0.02 ^a
Spine BMC(g)	0.875±0.08 ^a	0.841±0.21 ^a
Spine BMD/Ca intake	2.634±0.14 ^a	2.992±0.41 ^{b2)}
Spine BMC/Ca intake	9.739±1.15 ^a	10.786±1.65 ^b

1) Mean±SD

2) Values with different superscripts within the row are significantly different at p < 0.05 by student t-test

식이단백질량이 골밀도에 미치는 영향

로 높게 나타났다. 문혜미²²⁾는 2개월된 수컷 흰쥐를 8%, 50% 단백질로 사육하였을 때 4번째 척추뼈의 회분함량과 칼슘함량이 고단백군에서 높았다고 보고하였다. 또한 단백질 수준을 5%, 50%로 급여하였을 때에도 고단백군에서 3번째 척추뼈의 무게와 칼슘함량이 높았다고 보고³¹⁾하여 척추 골밀도에 대한 칼슘효율이 고단백군에서 높게 나타난 본 실험의 결과와 유사한 것을 알 수 있었다.

Table 8에서는 대퇴골밀도, 대퇴골무기질 함량 및 이에 대한 칼슘효율을 나타내었다. 대퇴골밀도, 대퇴골무기질 함량은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 식이 단백질 수준에 따른 대퇴 골밀도에 대한 칼슘효율은 고단백군이 대조군에 비해 유의적으로 높게 나타났으며 대퇴 골무기질 함량에 대한 칼슘효율은 유의적이지 않았으나 고단백군에 높게 나타났다. 이정아 등²¹⁾은 6개월된 수컷쥐에게 5%, 15%, 50% 단백질로 사육했을 때 단백질 수준이 높을수록 대퇴골의 무게 및 칼슘함량이 높았다고 보고하였다. 또한 조미숙 등⁹⁾이 5%, 40% 단백질로 사육하였을 때 고단백군의 대퇴골 무게, 칼슘함량 및 단위회분 무게당 칼슘함량이 유의적으로 높았

다고 보고하였으며 Calvo 등³²⁾의 실험에서도 성숙기흰쥐에게 casein 6%와 30% 단백질로 사육하였을 때 대퇴골의 회분함량, 칼슘함량이 유의적 차이는 없으나 고단백군에서 높았다고 보고하여 본 실험의 고단백식이 대퇴골밀도의 칼슘효율을 증가시킴을 알 수 있었다.

척추 및 대퇴부의 골밀도와 골무기질 함량에 영향을 미친다고 생각되는 제요인과 상관관계를 Table 9에 나타내었다. 칼슘섭취량은 대퇴골의 골밀도 및 골무기질 함량과 유의적인 상관관계를 나타내었다. 이것은 대퇴경부의 골밀도와 가장 유의성이 높은 요인이 동물성 칼슘 섭취량이라고 보고³²⁾한 것과 일치한다. 그리고 총골밀도, 총골무기질 함량, 총골칼슘 함량은 척추의 골밀도나 골무기질 함량과 유의적인 상관관계를 나타내었다. 총골무기질 및 골칼슘 함량이 척추골밀도 및 골무기질 함량과 유의적인 상관관계가 있으며 75세 이후에 발생하는 노인성 골다공증의 주요 골절부위가 척추 및 고관절 부위라는 사실로 볼 때³³⁾ 척추골밀도로서 전체골의 상태를 추정할 수 있으리라 사료된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 칼슘의 체내 이용율을 높이는 한 방안으로 단백질 수준이 성장기 흰쥐의 골밀도에 대한 칼슘효율에 미치는 영향을 알아보려고 시도하였다. 실험동물은 단백질 수준에 따라 20%의 casein을 포함하는 대조군, 40%의 casein을 포함하는 고단백군으로 분류하였다. 실험식이와 탈이온수는 9주간 자유섭취케 하였다. 골밀도와 골무기질 함량은 양에너지 방사선 골밀도 측정기(dual energy x-ray absorptiometry)를 이용하여 9주째 측정하였고 요와 혈청에 대한 생화학적 분석을 하였다.

Table 8. Femur bone mineral density(BMD), bone mineral content(BMC), bone calcium content(BCa) and Ca efficiency in those of rats fed either 20% protein diet or 40% high protein diet for 9 weeks

	Control	High protein
Femur BMD(g/cm ²)	0.263 ± 0.01 ^{1a}	0.247 ± 0.01 ^a
Femur BMC(g)	0.496 ± 0.06 ^a	0.404 ± 0.10 ^a
Femur BMD/Ca intake	2.895 ± 0.09 ^a	3.240 ± 0.46 ^{b2)}
Femur BMC/Ca intake	5.498 ± 0.49 ^a	5.168 ± 0.49 ^a

1) Mean ± SD

2) Values with different superscripts within the o are significantly different at $p < 0.05$ by student t-test

Table 9. Correlation coefficient of variables with Ca intake, TBMD, TBMC, spine, femur bone mineral density(BMD), bone mineral content(BMC)

	Spine BMD	Spine BMC	Femur BMD	Femur BMC
	r(p-value)	r(p-value)	r(p-value)	r(p-value)
Ca intake	-	-	0.888(0.018)	0.962(0.002)
TBMD	-	0.907(0.013)	-	-
TBMC	0.931(0.007)	0.959(0.002)	-	-
TBCa	0.932(0.006)	0.961(0.002)	-	-

본 실험의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 식이섭취량과 체중은 식이 단백질 수준에 의한 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

2) 요중 칼슘배설량과 crosslinks value는 유의적 차이는 나타나지 않았으나 고단백군이 대조군에 비해 높게 나타났다.

3) 혈청 칼슘, 인, ALP함량은 유의적 차이는 없었으나 고단백군에서 높은 경향을 나타내었다.

4) 총 골밀도, 척추 대퇴골의 골밀도 및 골무기질 함량에 대한 칼슘효율은 고단백군에서 유의적으로 높게 나타났다.

5) 칼슘섭취량은 대퇴골밀도 및 골무기질 함량과 유의적인 상관관계가 있으며 총골밀도, 총골무기질 함량, 총골칼슘 함량은 척추의 골밀도와 골무기질 함량과 높은 양의 상관관계가 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면 성장기 흰쥐에서 식이단백질 섭취의 증가는 요중 칼슘배설량과 요중 crosslinks value가 증가하였고 동시에 혈중 ALP함량이 증가한 것으로 보아 골격용출 및 골격형성도 활발히 일어나 성장기에 골격대사가 활발히 일어나고 있음을 알 수 있었다. 또한 고단백식이 골밀도를 유의적으로 증가시키지는 못하였으나 전신, 척추, 대퇴골의 골밀도 및 골무기질 함량에 대한 칼슘효율이 유의적으로 높게 나타난 것으로 보아 청소년기 학생들에 있어서 적당량의 단백질 섭취의 증가는 골밀도에 대한 칼슘효율을 높이는데 유리하다고 사료된다. 그러나 본 실험이 9주동안의 짧은 기간동안이었으므로 좀더 기간을 연장하고 점차적으로 골밀도와 골밀도에 대한 칼슘효율의 변화를 관찰하는것이 요구된다.

Literature Cited

- 1) Gallagher JC. The pathogenesis of osteoporosis. *Bone & Mineral* 9 : 215-227, 1990
- 2) Spencer H, Kramer L. NIH Consensus conference : Osteoporosis factors contributing to osteoporosis. *J Nutr* 116 : 316-319, 1986
- 3) Riggs BL, Melton III LJ. Involutional Osteoporosis. *N Eng J Med* 314 : 1677, 1983
- 4) Mazess RB. On aging bone loss. *Clin Ortho* 165 : 239-252, 1982

- 5) Goldsmith NF, Johnson JD, Picetti G, Garcia C. Bone mineral in the radius and vertebral osteoporosis in and insured population. *J Bone Joint Surg* 55A : 1276, 1973
- 6) Kelly PJ, Eisman JA. Interaction of genetic and environmental influences on bone density. *Osteoporosis Int* 1 : 56-60, 1990
- 7) Einhorn TA, Lerine B, Michel P. Nutrition and bone. *Orthopedic Clin North Am* 21 : 43-50, 1990
- 8) Hawe PS. Basic Nutrition in Health and Disease. 7th ed Saunders 92-109, 1981
- 9) 조미숙 · 최남순 · 김화영. 식이 단백질 수준이 어린쥐와 나이든 쥐의 골격대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 22(6) : 497-506, 1989
- 10) 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
- 11) Petito SL, Evans JL. Calcium status of growing rats as affected by diet from ammonium chloride, phosphate and protein. *J Nutr* 114 : 1049-1059, 1984
- 12) 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
- 13) Walker RM, Linkswiler HM. Calcium retention in the adult human male as affected by protein intake. *J Nutr* 102 : 1297-1302, 1972
- 14) Allen LH, Oddoye EA, Margen S. Protein-induced hypercalciuria : a longer term study. *Am J Clin Nutr* 32 : 441-749, 1979
- 15) 구재옥 · 최혜미. 한국여성의 단백질 및 칼슘섭취가 칼슘대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 21(2) : 99-112, 1988
- 16) 김화영. 골다공증과 식이인자. *한국영양학회지* 27 : 636-645, 1994
- 17) Allen LH, Bartlett BS, Block GD. Reduction of renal calcium reabsorption in man by consumption of dietary protein. *J Nutr* 109 : 1345-1350, 1979
- 18) Hegsted M, Linkswiler HH. Long term effects of level of protein intake on calcium metabolism in young adult women. *J Nutr* 111 : 244-251, 1981
- 19) 김혜영 · 조미숙 · 김화영 · 김숙희. 식이 단백질의

식이단백질량이 골밀도에 미치는 영향

- 종류와 수준이 연령이 다른 흰쥐에서 요 칼슘배설 및 뼈에 미치는 영향. 한국영양학회지 19(1) : 66-73, 1986
- 20) 김화영 · 문경원 · 김정희. 장기간의 고 · 저단백식이 섭취가 난소절제쥐의 Ca 및 골격대사에 미치는 영향. 한국영양학회지 27(5) : 415-425, 1995
- 21) 이정아 · 장영애 · 김화영. 나이가 다른 단계에서 식이단백질 수준이 흰쥐의 칼슘 대사에 미치는 영향. 한국영양학회지 25(7) : 569-577, 1992
- 22) 문혜미. 장기간의 고저단백 식이섭취가 수컷 흰쥐의 체내 칼슘 및 골격대사에 미치는 영향. 이화여자대학교 석사학위 논문 1993
- 23) 오주환 · 이연숙. 난소절제 골다공증 모델 흰쥐의 체내 칼슘 이용성 저하에 대한 칼슘 섭취 수준의 효과. 한국영양학회지 26(3) : 277-285, 1993
- 24) 임승길. Bone turnover marker의 임상적 의의와 응용. 골대사학회지 1(1) : 1-11, 1994
- 25) 김경희 · 최미자. 난소절제한 흰쥐에서 식이칼슘량이 생화학적 요인 및 골밀도에 미치는 영향. 한국영양학회 춘계심포지움 및 발표논문 초록 pp45, 1994
- 25) 김화영 · 김미현. 난소절제쥐에게 estrogen을 투여하였을 때 식이 단백질 수준이 Ca 및 골격대사에 미치는 영향. 한국영양학회지 28(4) : 298-308, 1995
- 27) 이보경 · 장유경 · 최경숙. 폐경후 여성의 골밀도에 대한 영양소 섭취상태의 영향. 한국영양학회지 25(7) : 642-655, 1992
- 28) 이종호 · 최미숙 · 백인경 · 문수재 · 임승길 · 안광진 · 송영득 · 이현철 · 허갑범. 폐경전 40대 한국여성들의 영양섭취상태와 골밀도와의 관계. 한국영양학회지 25(2) : 140, 1992
- 29) 최미자. 한국사춘기 소녀들의 골밀도와 환경요인들과의 관계(I). 동아시아식생활학회지 4(3) : 21-30, 1994
- 30) Matkovic V, Kostial K, Simo Ovic, Buzina R, Brodarec A, Nordin BEC. Bone Status and fracture rates in two regions of Yugoslavia. *Am J Clin Nutr* 32 : 540, 1970
- 31) 조성연 · 장영애 · 이현숙 · 김화영. 난소를 절제한 흰쥐에서 식이단백질 수준이 체내 Ca 및 골격대사에 미치는 영향. 한국영양학회지 26(8) : 951-924, 1993
- 32) 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
- 33) 석세일 · 이춘기 · 강홍식 · 이지호 · 민학진 · 차상훈 · 정용진. 골조송증에서의 척추골절. 대한정형외과학회지 28(3) : 980-987, 1993