

흰쥐에서 칼슘과 인의 섭취비율이 체내 칼슘 및 골격대사에 미치는 영향

정혜경 · 김종연 · 이현숙* · 김종여**

호서대학교 자연과학대학 식품영양학과, 이화여자대학교 가정과학대학 식품영양학과*
단국대학교 치과대학 구강조직학과**

The Effect of Dietary Calcium and Phosphate Levels on Calcium and Bone Metabolism in Rats

Jeong, Hae Kyoung · Kim, Joung Yeon · Lee, Hyun Sook* · Kim, Jong Yeo**

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

Department of Oral Histology,** College of Dental, Dankook University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was designed to investigate the effect of dietary calcium and phosphate levels on calcium and bone metabolism in rats. The rats were divided into six groups and each of the groups was fed diets with different Ca/P ratios. The experimental periods were 5 weeks. There was no significant difference in dietary intake, body weight gain, and organ weight among the groups with different calcium and phosphate intake levels. Fecal calcium excretion was not significantly different among the groups, but urinary calcium excretion was increased by the increase in Ca/P ratio. Fecal phosphate excretion was not different but urinary phosphate excretion was increased by the increase in dietary phosphate intake. There was no significant difference in serum alkaline phosphatase activity and urinary hydroxyproline levels were not significantly different among the groups. The low calcium-high phosphate(0.2% Ca - 1.2% P) group showed the lowest total calcium content in femur and scapula. This may be due to it having the lowest Ca/P ratio among groups. The low calcium-high phosphate(0.2% Ca - 1.2% P) group showed that mandible is almost lost and osteolyzed Harversian canal was expanded in femur. Results suggest that phosphate intake affects calcium and bone metabolism more with inadequate calcium nutrition than with adequate calcium intake. Thus, for normal bone growth and metabolism, adequate calcium intake and/or high Ca/P ratio are important. (*Korean J Nutrition* 30(7) : 813~824, 1997)

KEY WORDS : dietary Ca and P level · Ca metabolism · bone metabolism.

서 론

골질량은 칼슘의 섭취량과 밀접한 관계가 있으며¹⁻³⁾
채택일 : 1997년 7월 2일

한 개인의 골질량은 유전적인 요인, 기계적인 활동, 영양 상태에 따라 결정된다는 사실은 이미 보고된 바 있다^{4,5)}. 그러나 유전적 요인은 이미 개인에게 결정되어진 한정 요인으로 기계적 활동과 영양 상태에 따라 허용

범위가 달라질 수 있다. 이 중 영양 상태는 중요한 의미를 갖는다. 성장기 동안에 충분한 양의 칼슘을 섭취한 경우는 그렇지 못한 개인에 비해서 골질량이 높고 개인의 연령이 증가함에 따라서 감소되는 골질량의 감소율은 최대 골질량의 양에 관계없이 일정하여, 골질량이 감소된 이후에 남아있는 골질량의 양은 최대 골질량이 높았던 개인이 유리하다⁶⁻⁸⁾. 그러므로 성장기의 칼슘의 섭취량은 노년기의 골격 대사와 무관하게 생각할 수 없고 칼슘 섭취는 골격 손실율을 억제하기 위해서도 필요 하지만 최대 골질량 획득을 위해 더욱 중요하다고 본다⁹⁻¹⁰⁾.

이렇게 최근 들어 최대 골질량 획득이 골격의 칼슘 대사와 밀접한 관계가 있다는 연구가 보고되면서 성장기의 칼슘 섭취와 칼슘의 이용률이 중요시되고 있다. 칼슘의 이용률은 칼슘 흡수를 증감시키는 내적인 생리적 상태나 식이내 구성 성분 요인들에 의해 달라진다고 보고되어 왔는데¹¹⁾¹²⁾ 이 중 인의 과잉 섭취는 칼슘의 흡수를 방해하고¹³⁻¹⁷⁾ 2차적으로 부갑상선 호르몬을 증가시키고¹⁸⁾ 그로 인해 골격의 재흡수를 증가시켜 인의 섭취가 골밀도와 음의 상관 관계를 나타낸다는 보고가 있다³⁴⁻³⁷⁾. 그러나 다른 한편으로는 인의 섭취가 뇨중 칼슘 배설량을 낮추는 효과를 가지므로 단백질의 뇨 칼슘 배설량 증가효과를 상쇄시켜 골밀도와 유의적인 양의 상관관계를 갖는다는 보고도 있어²¹⁾²²⁾ 상반되는 결과를 보이고 있다.

현재 우리 나라에서 칼슘은 가장 결핍되기 쉬운 영양소 중의 하나이다. 1993년 국민영양조사 보고서²³⁾에 따르면 전국 칼슘 섭취량 평균이 1일 523mg에 불과하며

칼슘권장량의 75%미만을 섭취하는 가구수가 전가구수의 1/2을 차지하고 있다. 반면 인의 섭취량은 계속 증가되는 것으로 보고되어 승정자 등²⁴⁾의 농촌 성인남녀를 대상으로 한 연구에서 남녀의 Ca : P의 섭취 비가 각각 1 : 1.167, 1 : 1.55로 인의 섭취 수준이 높은 것으로 보고되었으며, 이보경 등²⁵⁾의 폐경기 여성을 대상으로 한 연구에서도 인의 섭취 비율이 높다고 보고되었다. 뿐만 아니라 칼슘 급원으로 가장 권장하고 있는 우유 및 유제품의 이용은 총 칼슘 섭취량의 10%정도이고 대부분은 체내 이용률이 낮은 식물성 식품으로부터 섭취하고 있다²³⁾. 이렇게 칼슘 급원이 체내 이용률이 낮은 식품을 이용하는 것도 하나의 문제이지만 현재 성장기의 청소년들의 식습관과 기호 식품 등을 고려해 볼 때²⁶⁻³⁰⁾ 가공식품과 청량음료 등의 간식으로 인의 섭취가 증가하고 있어 상대적으로 칼슘의 흡수율을 저하시켜 칼슘의 영양 상태는 더 큰 어려움을 겪고 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 실험은 성장기 환경에서 식이내 칼슘과 인의 비율에 따라 골격 및 칼슘 대사에 어떤 영향을 미치는지에 대해 알아보고자 실시하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험 동물의 사육 및 식이

본 실험에서는 체중 190~240g의 2개월된 수컷 Sprague-Dawley종을 구입하여 체중에 따라 난괴법(randomized complete block design)에 의해 6군으로 나누어 stainless-steel wire cage에 한 마리씩 분리하-

Tazble 1. Experimental diet composition

	0.2% Ca		0.5% Ca		1.2% Ca	
	0.5% P(LN)	1.2% P(LH)	0.5% P(NN)	1.2% P(NH)	0.5% P(HN)	1.2% P(HH)
Corn starch	687.17	644.38	681.47	638.69	668.18	625.4
Casein	150	150	150	150	150	150
Corn oil	100	100	100	100	100	100
salt mixture ¹⁾	14.72	14.72	14.72	14.72	14.72	14.72
vitamin mixture ²⁾	10	10	10	10	10	10
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	4.9	12.02	4.9	12.02	4.9	12.02
Na ₄ P ₂ O ₇ · 10H ₂ O	26.01	63.82	26.01	63.82	26.01	63.82
CaCO ₃	2.20	0.05	7.9	5.75	21.19	19.04
Choline Chloride	2	2	2	2	2	2
DL-methionine	3	3	3	3	3	3

1) Salt mixture ingredients(mg/kg mixture) : MgCO₃ 6900, ZnCO₃ 96, FeSO₄·7H₂O 124, MnSO₄·5H₂O 150, CuSO₄·5H₂O 20, KI 1.3, NaCl 2300, Na₂CO₃ 1600, K₂CO₃ 3530, Na₂SeO₃ 0.22, Sucrose, finely powdered to make 1000

2) American Institute of Nutrition vitamin mixture ingredients(per kg mixture) : Thiamin HCl 600mg, Riboflavin 600mg, Pyridoxin HCl 700mg, Nicotinic acid(nicotinamide is equivalent) 3g, D-Calciumpantothenate 1.6g, Folic acid 200mg, D-Biotin 20mg, Cyanocobalamin(vitamin B₁₂) 1mg, Retinylpalmitate(vitamin A)-as stabilized powder to provide 400.000IU vitamin activity or 120,000 retinol equivalents, DL-a-Tocopherylacetate(vitamin E)-as stabilized powder to provide 5,000 IU vitamin E activity, Cholecalciferol 2.5mg(100,000 IU. May be in power form), Menaquinone(vitamin K) 5.0mg, Sucrose, finely powdered to make 1,000g

여 5주간 사육하였으며 모든 실험 식이와 탈이온수는 제한없이 공급하였다.

실험 식이는 Table 1에서 보는 것과 같이 식이내 칼슘과 인의 수준에 따라 각각 0.2% Ca~0.5% P인 군(LN, 7마리), 0.2% Ca~1.2% P인 군(LH, 9마리), 0.5% Ca~0.5% P인 군(NN, 9마리), 0.5% Ca~1.2% P인 군(NH, 9마리), 1.2% Ca~0.5% P인 군(HN, 8마리), 1.2% Ca~1.2% P인 군(HH, 8마리)의 6군으로 나누었다.

2. 시료의 채취 및 생화학적 분석

뇨와 변은 회생 직전에 이미 보고된 방법과 같이 채취하였다³¹⁾. 이 기간 동안 물은 제한 없이 공급하였다. 채취한 뇌는 즉시 40ml로 희석하여 원심분리시킨 후 상층액만을 취해 냉동 보관하였다가 분석에 사용하였다. 변은 냉동 보관하였다가 분석 직전에 105±5°C의 오븐에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 600°C의 전기 회화로에서 회화시켜 회분 함량을 측정하고 1N의 HCl로 녹인 후 각 무기질 함량 분석에 사용하였다.

사육기간이 끝난 후 ethyl ether로 마취시킨 후 복개하여 heart puncture에 의해 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 실온에서 30분 이상 방치해 두었다가 2000rpm에서 30분간 원심분리하여 혈청을 얻고 분석 시까지 냉동고에 보관하였다. 혈액 채취 직후에 해부하여 골격을 채취하였는데, 체중의 영향을 받는 뼈로서 대퇴골과 체중의 영향을 받지 않는 뼈로서 견갑골을 채취하여 냉동 보관하였다.

뼈의 부피와 밀도는 이미 보고된 방법³²⁾과 같은 Archimedes의 원리를 이용하여 측정하였다. 그 후 뼈는 105±5°C의 drying oven에서 일정한 무게가 될 때 까지 건조시켜 마른 무게를 재고 길이는 caliper를 이용하여 재었다. 그런 다음 600°C의 전기 회화로에서 회화시켜 회분 함량 측정하고 1N의 HCl로 녹인 후 각 무기질 함량을 분석하였다.

뇨중 Hydroxyproline 함량은 Blumenkrantz-hk Asboe-hansen 방법에 의해서 측정하였다³³⁾. 혈청중의 Alkaline phosphatase는 Kind-King법을 이용한 Kit(영동제약)를 사용하여 분석하였다. 뇌와 혈청의 칼슘 함량은 일정량의 뇌와 혈청을 취해 각각 0.5%와 0.1%의 La₂O₃ solution으로 희석해 AAS(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin Elmer Co. 2380)로 422.7nm에서 흡광도를 측정하였다. 대변과 뼈의 칼슘은 600°C에서 회화시킨 후 1N HCl로 녹인 후 0.5% La₂O₃ solution으로 희석하여 뇌와 혈청과 마찬가지로 AAS로 흡광도를 측정하였다. 혈청중의 인의

함량은 인몰리브덴산-색소법³⁴⁾을 이용한 kit(영동제약)를 이용하여 측정하였다. 뇌, 대변, 뼈중의 인의 함량은 Molybdenum blue 흡광도법³⁵⁾을 이용하여 측정하였는데 일정량의 시료용액을 50ml의 volumetric flask에 취한 후 ammonium molybdate를 가한 후 잘 혼합하여 방치하였다가 hydroquinon-용액과 Na₂SO₃-용액을 가한 후 정용하여 30분 동안 발색시켜 650nm에서 비색 정량했다.

3. 골격 조직 검사

골격 조직의 변화 양상을 보기 위해 조직 사진을 촬영하였다. 각 군에서 2마리씩 치밀골의 양상을 보기 위하여 대퇴골을, 해면골의 양상을 보기 위해 하악골을 채취하여 즉시 4% 중성 완충 포르말린에 넣어 3일간 고정하였다. 각 동물의 절반은 5% 질산용액에서 2주간 탈회하고 통법에 따라 하룻밤 동안 흐르는 물에 수세하고 농도를 높여 가며 에틸알콜로 탈수하여 xylene으로 치환하여 명화시키고 파라핀에 포매하였다. 파라핀 블록을 조직 절편기로 4μm 절편을 만들어 일부는 Hematoxyline-Eosin 중염색하고 일부는 Gomori의 삼중염색을 시행하였다.

또한 각 동물의 남은 절반은 Villanueva 염색약에 3일간 염색한 후 수세, 탈수 과정을 거쳐 저 점도의 Spurr 레진에 포매하였다. 레진 블록을 low speed diamond saw로 500μm두께로 절편을 만들고 이를 연마자로 20~30μm이 될 때까지 연마하고 polish하였다. 각 표본은 광학 현미경으로 관찰하고 사진 촬영을 하였다.

4. 자료의 처리

실험의 결과는 SAS를 이용하여 각 실험 군의 평균과 표준 편차를 계산하였으며 칼슘과 인의 섭취에 의한 차이를 검증하기 위하여 Two Way Anova를 실시하였고 각 군간의 차이를 검정하기 위해 α=0.05 수준에서 Duncan's multiple range test로 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 식이 섭취량 및 체중 증가량

실험 기간 동안의 총 식이 섭취량과 체중 증가량은 Table 2에 나타내었다. 총 식이 섭취량은 식이내 인의 수준에 따른 영향이 있어 인의 수준이 높을 수록 낮은 경향을 보였다. 즉 식이내 칼슘 수준이 같은 경우 인의 비율이 높은 군이 식이 섭취량이 적었으며, 특히 LH와 HH군은 다른 군들에 비해 식이 섭취량이 유의적으로 적었다. 체중 증가량도 식이내 인의 수준에 따라 유의적인 차이를 보여 식이내 인의 수준이 높은 군일수록

Table 2. Food intake and body weight gain for groups of different Ca and P intake¹⁾ (g/5 weeks)

Group	Total food intake	Weight gain
LN ²⁾	588.40±101.21 ^{abc3)}	121.65±59.27 ^{ab}
LH	534.38±95.11 ^c	101.62±61.61 ^{abc}
NN	653.18±132.80 ^{ab}	148.67±56.04 ^a
NH	562.52±114.98 ^{bc}	88.13±63.66 ^{bc}
HN	685.93±104.45 ^a	147.93±25.52 ^a
HH	483.15±75.64 ^c	58.51±52.25 ^c
SF ⁴⁾	P***	P***

1) Mean±standard deviation

2) LN : 0.2% Ca - 0.5% P, LH : 0.2% Ca - 0.5% P,
NN : 0.5% Ca - 0.5% P
NH : 0.5% Ca - 1.2% P, HN : 1.2% Ca - 0.5% P,
HH : 1.2% Ca - 1.2% P

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

4) Significant Factor

P : Effect of dietary P level was significantly by F-test
*, **, *** : significant at α=0.05, 0.01, 0.001 respectively

체중 증가량이 적었다.

전체적으로 Ca/P의 비율이 증가 할수록 식이 섭취량도 많고 체중 증가량도 많아 1.2% Ca~0.5% P(HN)군과 0.5% Ca~0.5% P(NN)군은 식이 섭취량도 가장 많았고 체중 증가량도 가장 컸다. 그러나 Ca : P가 1:1인 1.2% Ca~1.2% P(HH)군은 식이 섭취량도 적었고 체중증가량도 적었다. 이는 저 Ca식이를 하였을 때 고 Ca식이를 하였을 때 보다 체중증가량이 더 높았다는 보고³⁶⁾와 상반되는 결과로서 체중 증가에는 식

이내 칼슘 수준 이외에도 인의 수준에 따른 영향이 큼을 보여주는 결과라고 사료된다.

2. 칼슘과 인의 대사

사육 기간 종료 후 실험 동물 회생 직전에 측정한 1일 칼슘 섭취량과 대변을 통한 칼슘 배설량, 뇌중 칼슘 배설량, 칼슘 보유량, 칼슘의 흡수율은 Table 3에 나타내었다. 칼슘섭취량은 식이내 칼슘, 인의 수준 및 칼슘과 인의 교호작용의 영향을 다 받는 것으로 나타났다. 즉 식이내 칼슘 수준이 높을수록 칼슘 섭취량이 높았다. 그러나 HH군의 경우 같은 1.2% 칼슘군임에도 불구하고 HN군에 비해 칼슘 섭취량이 적었는데 이는 이 두 군의 식이 섭취량의 차이 때문이다. 대변을 통한 칼슘 배설량은 각 군간에 유의적인 차이가 없었고 뇌중 칼슘 배설량은 HN군만이 다른 군들에 비해 유의적으로 높았을 뿐 다른 군들간에는 차이가 없었다. 뇌중 칼슘 배설량에서 식이내 칼슘의 수준은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 인의 수준에 따른 영향이 유의적이어서 식이내 인의 수준이 높은 군에서 뇌중 칼슘 배설량이 높은 경향을 보였다. 이는 Matkovic³⁷⁾와 유춘희 등²⁸⁾의 소변 중의 칼슘의 배설량이 칼슘섭취량에 의한 영향을 받지 않는다는 보고와 일치하는 것이며, 뇌중·칼슘 배설량에는 인의 섭취량이 미치는 영향이 큼을 의미하는 결과로 사료된다. 칼슘 흡수율은 모든 군에서 70~90%의 높은 값을 보였으며 각 군간에 유의적인 차이가 없었으나 HN군이 가장 높고 LN군이 가장 낮았다. 성장기 흰쥐에서 칼슘흡수율이 80% 이상으로

Table 3. Daily calcium intake, fecal and urinary Ca excretions, apparent absorption and Ca retention for groups of different Ca and P intake¹⁾

Group	Intake (mg/d)	Fecal Excretion (mg/d)	Urinary Excretion (mg/d)	Apparent Absorption ²⁾ (%)	Retention ³⁾ (mg/d)
LN	29.91±9.79 ^{c4)}	9.29±4.58	0.20±0.08 ^{ab}	66.84±18.70	20.41±10.94 ^c
LH	47.26±10.61 ^{bc}	6.31±5.40	0.19±0.01 ^{ab}	87.75±8.28	40.76±6.13 ^c
NN	84.70±15.39 ^b	18.57±10.45	0.25±0.05 ^a	76.40±15.91	65.88±22.56 ^c
NH	80.53±14.17 ^b	7.70±0.44	0.13±0.01 ^{bc}	90.27±1.36	72.70±13.86 ^{bc}
HN	176.85±37.36 ^a	17.00±16.78	0.23±0.04 ^a	89.23±11.55	159.63±49.36 ^a
HH	144.81±67.06 ^a	19.69±13.62	0.08±0.02 ^c	81.05±19.99	125.04±73.04 ^{ab}
SF ⁵⁾	Ca***	NS	P***, CaXP*	NS	Ca***

1) Mean±standard deviation

2) Apparent absorption(%)=[(intake-fecal loss)/intake]×100

3) Retention(%)=[(intake-fecal loss)/intake]×100

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

5) Significant Factor

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

P : Effect of dietary P level was significant by F-test

CaXP : Interaction between Ca and P was significant by F-test

*, **, *** : significant at α=0.05, 0.01, 0.001 respectively

NS : Effect of dietary Ca and P level were not significant by F-test

Table 4. Daily phosphate intake, fecal and urinary P excretions, P retention, apparent absorption, P retention for groups of different Ca and P intake¹⁾

Group	Intake(mg/d)	Fecal Excretion (mg/d)	Urinary excretion(mg/d)	Apparent absorption ²⁾ (%)	Retention ³⁾ (mg/d)
LN	52.16±17.07 ^a	10.20±4.21	19.72±5.00 ^{bc}	77.51±12.87 ^b	22.24±15.84 ^c
LH	173.73±39.00 ^a	6.56±4.40	41.17±20.85 ^a	96.49±2.04 ^a	126.00±45.58 ^a
NN	62.29±11.32 ^c	7.29±5.96	15.78±2.22 ^c	87.76±11.11 ^{ab}	39.22±12.52 ^c
NH	135.90±23.91 ^{ab}	8.48±4.27	34.00±10.11 ^{ab}	93.53±3.74 ^a	93.42±32.78 ^{ab}
HN	55.23±11.67 ^c	8.26±4.31	16.41±7.85 ^c	84.01±9.98 ^{ab}	30.56±9.47 ^c
HH	108.02±50.02 ^b	7.40±2.35	31.75±13.99 ^{abc}	90.69±8.31 ^{ab}	68.87±61.08 ^{bc}
SF ⁵⁾	P***	NS	P***	P*	P***

1) Mean±standard deviation

2) Apparent absorption(%)=[(intake-fecal loss)/intake]×100 3) Retention(%)=[(intake-fecal loss)/intake]×100

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

5) Significant Factor

P : Effect of dietary P level was significant by F-test

*, **, *** : significant at α=0.05, 0.01, 0.001 respectively

NS : Effect of dietary Ca and P level were not significant by F-test

매우 높음은 이미 보고된 바³⁸⁾가 있다. 본 연구 결과에서 인의 섭취 비율에 따른 칼슘 흡수율의 변화는 관찰되지 않았는데, 유준희 등²⁸⁾도 칼슘을 보충시켜 Ca:P의 섭취비율이 1:1.5에서 1:0.8로 칼슘 섭취가 증가함에 따라 칼슘의 배설이 증가함에도 불구하고 흡수율이 크게 감소하지 않았다고 보고했다. Hsu 등³⁹⁾은 칼슘에 비해 인의 비율이 너무 높은 경우 칼슘 흡수를 저해하고 뼈 손실이 일어났으며 Ca:P의 비율이 1:0.5일 때 가장 좋았다고 보고했다.

1일 인 섭취량과 대변 내 인 배설량, 뇨중 인 배설량, 인 보유량, 인의 흡수율은 Table 4에 나타내었다. 인 섭취량은 식이내 인의 수준이 높은 군에서 높게 나타났다. 대변을 통한 인의 배설량은 각 군간의 유의적인 차이가 없었다. 반면 뇨중 인의 배설량은 식이내 인의 수준에 다른 영향이 있어 식이내 인의 수준이 높은 군에서 더 높았다. 인의 흡수율도 인의 수준에 영향을 받아 1.2%P군에서 더 높은 흡수율을 보였다.

3. 혈청 칼슘, 인, Alkaline phosphatase 활성 및 뇨 중 hydroxyproline 배설량

혈청내 칼슘과 인의 농도, alkaline phosphatase의 활성, 뇨중 hydroxyproline의 배설량은 Table 5에 나타낸 바와 같다. 혈청의 칼슘 농도는 HN군에서 가장 높았고, LN군과 HH군은 다른 군들에 비해 낮았다. 혈중의 칼슘의 농도는 끊임없는 내적, 외적 변화에 대응하여 항상성을 유지하기 때문에 여러 연구에서 많은 요인에 따른 혈중 칼슘 농도의 변화를 관찰한 결과 대조군과 유의적 차이가 있다는 것¹³⁾³⁶⁾⁴⁰⁾과 없다는 것⁴¹⁾등 다양하지만 이들 모두 정상 범위에서 벗어나지는 않았으며 본 실험에서도 마찬가지였다. 혈청내 인의 농도와

alkaline phosphatase의 활성은 각 군간에 유의적인 차이가 없었다.

뇨중 hydroxyproline 배설량은 NN군에서 가장 높았고, 식이내 칼슘 수준에 따라 유의적인 차이를 나타냈다. 뇨중 hydroxyproline은 골격 및 연조직에 많이 함유되어 있는 collagen의 주요성분으로 collagen이 많이 분해 될 수록 뇨 hydroxyproline의 배설량이 증가하기 때문에 골격 용출의 지표로 사용된다. Horowitz 등³³⁾은 폐경 후 여성에게 식이 칼슘을 보충해 준 결과 뇨중 hydroxyproline 배설량이 칼슘 보충 전보다 감소했다고 보고했고, 반면 김⁹⁾과 최³⁶⁾의 흰쥐를 대상으로 한 연구에서는 식이 칼슘의 수준이 뇨 hydroxyproline 배설에 영향을 주지 않았다고 했다⁹⁾³⁶⁾. 본 연구에서는 고 칼슘군(1.2% Ca)에서 적정 칼슘군(0.5% Ca)보다는 hydroxyproline의 배설량이 적어지는 결과를 보였으나 저칼슘군(0.2% Ca)은 적정칼슘군보다 더 낮은 값을 보여 칼슘 섭취 수준이나 칼슘에 대한 인의 비율에 따라 일관된 결과를 보이지 않았다.

4. 골격 대사

사육 기간이 끝난 후에 대퇴골과 견갑골을 채취했으며 골격 구성 성분에 대한 결과는 Table 6-1과 Table 6-2에 나타내었다.

대퇴골의 길이는 식이내 인의 수준이 높은 군에서 짧은 경향을 보였다. 대퇴골의 젖은 무게와 마른 무게는 식이내 칼슘과 인의 수준에 따른 영향을 받아 NN군과 HN군에서 높게 나타났고 대퇴골의 길이와 마찬가지로 LH군과 HH군에서 가장 낮았다. 그러나 밀도는 HH군에서 가장 높게 나타났다. 대퇴골의 밀도는 식이내 칼슘 수준에 따른 영향을 받지 않은 것으로 나타났으며

Table 5. Ca, P and alkaline phosphatase in serum and hydroxyproline in urine for groups of different Ca and P intake¹⁾ (mg)

Group	Ca	P	Alkaline phosphatase	Hydroxyproline
LN	7.53±0.25 ^{b2)}	8.36±1.08	8.93±4.50	2.30±0.21 ^c
LH	8.37±0.66 ^{ab}	7.94±1.99	8.99±4.73	2.34±0.32 ^c
NN	8.54±0.82 ^{ab}	8.68±0.91	14.85±8.66	2.79±0.07 ^a
NH	8.31±1.18 ^{ab}	9.12±2.48	10.98±4.78	2.72±0.36 ^{ab}
HN	9.20±0.80 ^a	9.39±1.47	13.14±2.92	2.47±0.12abc
HH	8.11±0.70 ^b	9.18±1.54	8.53±5.00	2.45±0.36 ^{bc}
SF ³⁾	CaXP*	NS	NS	Ca**

1) Mean±standard deviation

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 Ca level was significant by F-test

CaXP : Interaction between Ca and P was significant by F-test

*, **, *** : significant at $\alpha=0.05, 0.01, 0.001$ respectively

NS : Effect of dietary Ca and P level were not significant by F-test

Table 6-1. Length, wet weight, dry weight, density of femur and scapular for groups of different Ca and P intake¹⁾

Group	Length(mm)	Wet weight(mg)	Dry weight(mg)	Density(mg/cm ³)
Femur	LN	37.07±0.78 ²⁾	925.44±34.18 ^{ab}	569.40±26.71 ^{ab}
	LH	36.27±1.31 ^{ab}	865.58±88.98 ^{bc}	540.50±48.90 ^{bc}
	NN	36.92±1.51 ^a	979.46±113.47 ^a	616.54±65.19 ^a
	NH	36.61±0.97 ^a	919.00±68.02 ^{abc}	566.51±52.51 ^{ab}
	HN	36.70±0.44 ^a	964.60±52.71 ^a	597.36±42.35 ^a
	HH	35.36±1.12 ^b	838.69±67.18 ^c	493.46±29.31 ^c
SF ³⁾	P*	Ca**, P***	Ca*, P***	P***, CaXP**
Scapular	LN	28.51±1.23	211.31±19.60	139.14±18.72
	LH	27.68±1.28	243.22±60.13	158.03±29.88
	NN	28.51±1.83	213.20±26.95	144.10±18.13
	NH	28.22±1.00	203.71±27.33	136.63±18.60
	HN	28.11±1.20	206.33±24.34	135.11±16.43
	HH	27.02±1.02	190.52±35.34	127.43±22.42
SF	NS	NS	NS	NS

1) Mean±standard deviation

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 Ca level was significant by F-test

P : Effect of dietary P level was significant by F-test

CaXP : Interaction between Ca and P was significant by F-test

*, **, *** : significant at $\alpha=0.05, 0.01, 0.001$ respectively

NS : Effect of dietary Ca and P level were not significant by F-test

반면 식이내 인의 수준은 유의적인 영향을 미쳐 식이내 인의 수준이 높은군에서 밀도가 높았다. 견갑골의 길이, 무게, 밀도는 모두 각 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 6-1).

대퇴골의 회분 함량은 HN군에서 가장 높고 HH군에서 가장 낮았다. 그러나 칼슘의 수준이 0.2%인 두군을 비교해 보면 LN군이 LH군보다 높았고, 칼슘의 수준이 0.5%인 두군에서는 NN군이 NH군보다 높았다. 전체적으로 대퇴골의 회분 함량은 칼슘 수준에 따른 영향보다는 인의 영향과 칼슘과 인의 교호작용에 의한 것으로 나타났다. 그런데 1.2% Ca~1.2% P군에서 대

퇴골 중의 회분 함량이 가장 적게 나타난 것은 1.2% Ca~1.2% P(HH)군이 식이 섭취량이 가장 적었고 1.2% Ca~0.5% P(HN)군과 비교해 보면 두 배 가량 적었음을 유념해 볼 때 이는 칼슘의 섭취 수준이 영향을 준 것으로 사료된다. 대퇴골 내의 칼슘의 양은 HN군이 가장 높았고 HH군도 비교적 높았으며 반면 식이내 칼슘 수준이 낮은 군(LN, LH)들에서 낮게 나타났다. 대퇴골 내의 인의 함량은 각 군간에 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과는 식이 칼슘의 수준이 높을수록 골격의 무게도 무거웠고 무기 성분도 많았다는 다른 연구³⁶⁾와 비슷한 것이다.

Table 6-2. Contents of ash, Ca and P of femur and scapular for groups of different Ca and P intake¹⁾

Group	Ash(mg)	Ca(mg)	P(mg)	Ash/ wt(%)	Ca/wt(%)	P/wt(%)	Ca/ash(%)	P/ash(%)
Femur								
LN	335.90 ± 9.03 ^{bcd2)}	47.01 ± 2.34 ^d	27.85 ± 2.50	36.32 ± 1.07 ^b	5.08 ± 0.30 ^{cd}	3.01 ± 0.30	13.99 ± 0.58 ^{cd}	8.29 ± 0.63 ^{ab}
LH	318.51 ± 32.32 ^{cd}	40.16 ± 5.50 ^d	27.92 ± 2.20	36.81 ± 1.31 ^b	4.63 ± 0.38 ^d	3.25 ± 0.37	12.57 ± 0.71 ^d	8.83 ± 0.96 ^a
NN	357.47 ± 60.56 ^b	59.18 ± 5.73 ^c	28.53 ± 2.35	36.05 ± 4.53 ^b	6.12 ± 0.93 ^c	2.94 ± 0.35	16.94 ± 2.97 ^c	8.22 ± 1.71 ^{ab}
NH	342.11 ± 37.84 ^{bc}	90.54 ± 20.78 ^c	27.89 ± 2.65	37.19 ± 2.74 ^b	9.93 ± 2.41 ^b	3.05 ± 0.32	26.76 ± 6.40 ^b	8.24 ± 1.12 ^{ab}
HN	395.82 ± 11.90 ^a	113.56 ± 2.96 ^a	28.97 ± 2.43	41.09 ± 1.42 ^a	11.79 ± 0.49 ^a	3.01 ± 0.28	28.69 ± 0.44 ^{ab}	7.32 ± 0.53 ^b
HH	302.23 ± 17.83 ^d	96.38 ± 7.47 ^b	27.00 ± 2.00	36.10 ± 1.46 ^b	11.50 ± 0.55 ^a	3.24 ± 0.36	31.88 ± 1.30 ^a	8.97 ± 0.96 ^a
SF ³⁾	P*** CaXP**	Ca*** CaXP***	NS	CaXP**	Ca***, P*** CaXP***	NS	Ca***, P*** CaXP***	P*
Scapular								
LN	88.34 ± 15.96 ^a	27.02 ± 4.50 ^a	0.13 ± 0.01 ^{ab}	42.01 ± 8.11 ^a	12.87 ± 2.43 ^a	0.06 ± 0.01	30.68 ± 2.22 ^a	0.15 ± 0.01 ^b
LH	76.07 ± 7.24 ^{bc}	22.46 ± 2.49 ^b	0.12 ± 0.01 ^{bc}	32.51 ± 6.48 ^b	9.72 ± 2.57 ^b	0.05 ± 0.01	29.66 ± 3.58 ^{ab}	0.16 ± 0.01 ^b
NN	91.47 ± 12.06 ^a	23.66 ± 3.63 ^{ab}	0.14 ± 0.02 ^{ab}	43.68 ± 8.79 ^a	11.29 ± 2.40 ^{ab}	0.06 ± 0.01	25.85 ± 1.70 ^c	0.15 ± 0.01 ^b
NH	82.81 ± 12.05 ^{ab}	21.43 ± 4.02 ^{bc}	0.13 ± 0.01 ^{abc}	41.53 ± 9.68 ^a	10.84 ± 3.04 ^{ab}	0.06 ± 0.01	25.85 ± 3.38 ^c	0.16 ± 0.01 ^b
HN	92.40 ± 9.74 ^a	24.03 ± 3.64 ^{ab}	0.14 ± 0.01 ^a	45.34 ± 7.35 ^a	11.78 ± 2.31 ^{ab}	0.07 ± 0.01	25.94 ± 2.29 ^c	0.15 ± 0.01 ^b
HH	67.31 ± 6.01 ^c	18.43 ± 2.86 ^c	0.11 ± 0.01 ^c	36.62 ± 8.54 ^{ab}	10.00 ± 2.48 ^b	0.06 ± 0.01	27.32 ± 2.97 ^{bc}	0.18 ± 0.01 ^a
SF	P***	Ca*, P***	P**	P**	P*	NS	Ca***	Ca*, P***, CaXP*

1) Mean ± standard deviation

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 Ca level was significant by F-test

P : Effect of dietary P level was significant by F-test

CaXP : Interaction between Ca and P was significant by F-test

*, **, *** : significant at $\alpha = 0.05, 0.01, 0.001$ respectively

NS : Effect of dietary Ca and P level were not significant by F-test

견갑골의 회분 함량은 대퇴골과 마찬가지로 HN군에서 가장 높게 나타났으며 HH군에서 가장 낮았다. 그러나 저칼슘군인 LH와 LN군을 비교해 보면 인의 수준이 높은 LH군보다는 LN군이 더 높았고 적정칼슘군인 두 군 중에서도 NH군보다는 NN군이 높게 나타나 칼슘 수준의 영향보다는 식이내 인의 수준에 따른 영향을 더 받는 것으로 나타났다. 견갑골 내의 칼슘의 양은 LN군에서 가장 높게 나타났고 HH군에서 가장 낮게 나타났으며 인의 함량은 식이내 인의 수준에 따른 차이를 보여 식이내 인의 함량이 높은 군에서 낮은 경향을 보였다(Table 6-2).

대퇴골의 골격 무게에 대한 회분 함량비는 HN군에서 가장 높았으며 다른 군간에는 유의적인 차이는 없었다. 대퇴골의 골격 무게에 대한 칼슘의 함량비는 고칼슘군인 HN, HH군에 비해 유의적으로 높았으며 LH군에서 가장 낮았다. 대퇴골의 골격 무게에 대한 인의 함량비는 각 군간에 유의적인 차이가 없었다. 고칼슘군(HH, HN)에서 높았으며 저칼슘군(LN, LH)에서 낮았다. 특히 LN군에 비해 LH군에서 더 낮아 식이내 칼슘 수준이 낮은 데 식이내 인의 수준이 높은 경우 골격 칼슘량이 더욱 감소되는 결과를 보여주었다. 그러나 식이내 칼슘 수준이 0.5%인 군에서는 식이내 인의 수준

에 따른 이런 영향을 볼 수 없었다. 따라서 식이내 인의 수준에 따른 골격 칼슘에 미치는 영향은 식이내 칼슘 함량에 따라 영향 미치는 정도가 다른 것으로 보이며, 특히 식이내 칼슘 함량이 0.5% 정도만 되어도 고인식으로 인한 골격대사의 악영향을 방지할 수 있는 것으로 사료된다.

견갑골의 총 골격 무게 중의 회분과 칼슘 함량도 식이내 인의 수준에 따라 유의적인 차이를 보여 식이내 인의 수준이 높은 군에서 낮았다. 견갑골 총무게당 인의 수준은 대퇴골에서와 마찬가지로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 견갑골의 총 회분 함량 중의 칼슘의 양은 식이내 칼슘 수준에 따라 유의적인 차이를 보여 식이내 칼슘 수준이 높을수록 높았으며 견갑골의 총 회분 함량 중의 인의 양은 HH군이 다른 군에 비해 유의적으

로 높았다.

이러한 결과로 볼 때 식이내 칼슘과 인의 수준은 칼슘과 골격 대사에 독립적 또는 상호연관적으로 영향을 미침을 알 수 있다. 고인식이는 골격의 회분 함량과 칼슘 수준을 저하시키는 등 골격대사에 악영향을 미치는데, 특히 식이내 칼슘 수준이 낮은 경우 그 영향이 크며 식이내 칼슘 수준이 0.5%만 되어도 인에 의한 악영향을 상쇄시킬 수 있는 것으로 사료된다. 그러나 고칼슘 식이군에서도 식이내 인의 함량이 많은 경우에는 대퇴골의 길이, 무게, 회분 함량 등이 감소하는 것을 볼 수 있어서 바람직한 골형성을 비롯한 골격 대사를 위해서는 식이내 칼슘 함량을 높이는 외에도 인의 비율 또한 고려한 식이를 섭취하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

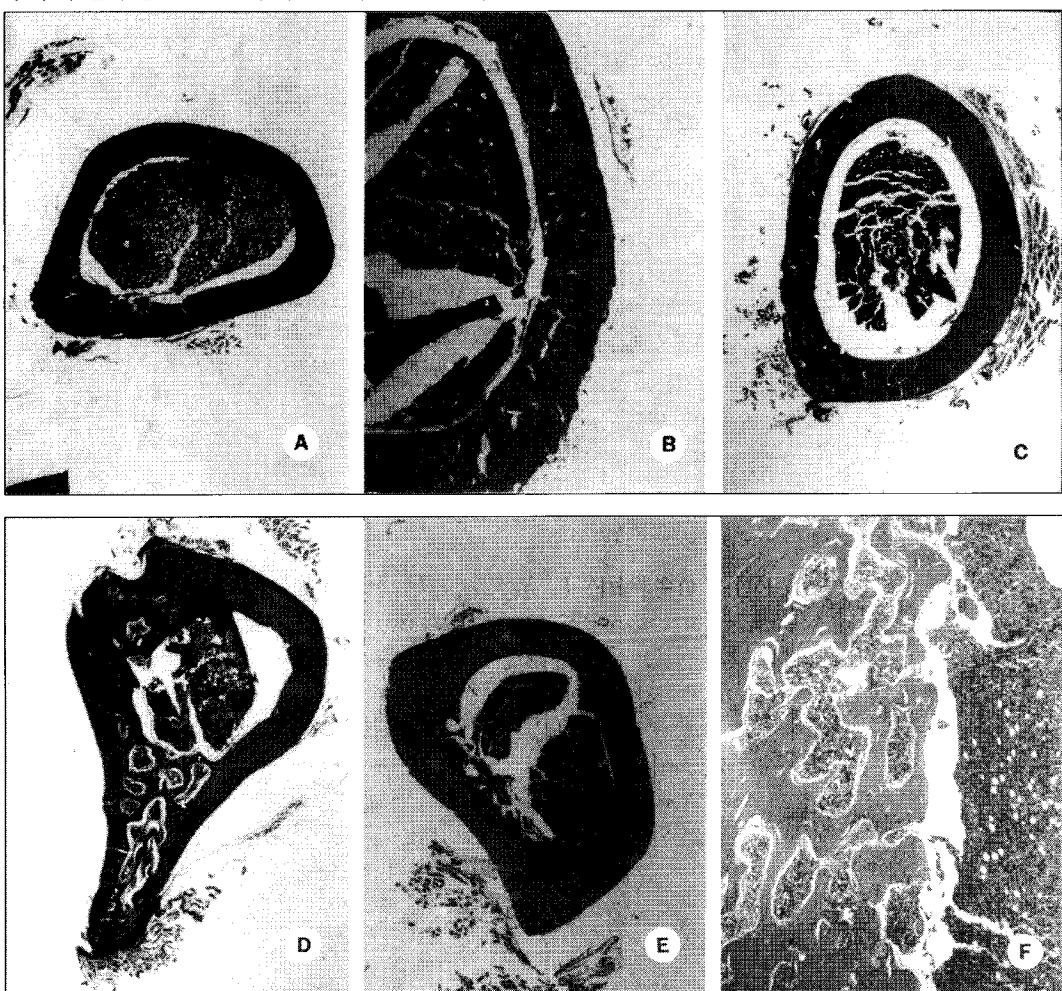


Fig. 1. Photomicrographs of femur sections.

A : 0.2% Ca - 0.5% P(LN) ($\times 20$)

C : 0.5% Ca - 0.5% P(NN) ($\times 20$)

E : 1.2% Ca - 0.5% P(HN) ($\times 20$)

B : 0.2% Ca : 1.2% P(LH) ($\times 40$)

D : 0.5% Ca : 1.2% P(NH) ($\times 20$)

F : 1.2% Ca : 1.2% P(HH) ($\times 40$)

8. 골격 조직의 형태학적 변화

사육기간이 끝난후 대퇴골과 하악골을 채취해 조직 사진을 촬영하였으며 그 결과는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

0.2% Ca~0.5% P(LN)군의 대퇴골의 피질골에서는 일부 부위에서 다공성 변화가 관찰되었다. 이러한 변화는 주로 골수강(marrow cavity)에 접한 내주위총판에서 발견되며 활발한 골개조의 흔적이 나타나는데 바깥 부분의 정상 Harversian system과 같은 소견을 보이지 않으며 연골성 기질과 미성숙 교직골의 형태를 띠고 있다. 하악골(mandible)에서는 해면골의 감소가 심하게 일어나 확장된 골수강의 소견을 보이며 미약하나마 치근흡수의 양상과 치조골(alveolar bone)에서 다수의 파골세포가 관찰되었다. 또한 일부분에서는 하

악골의 골개조가 일어나면서 비정상적인 골형성상을 나타내었다. 0.2% Ca~1.2% P(LH)군의 대퇴골의 피질골에서는 일부 다공성의 골개조가 관찰되었다. 전반적으로(Harversian canal)이 확장된 소견을 보이며 비정상적인 골개조가 피질골의 내외측 중앙부위에 넓게 일어남을 보여주었다. 하악골에서는 대부분의 해면골이 소실되어 넓어진 골수강을 관찰할 수 있는데 골소주(trabeculae of bone)의 두께도 매우 감소되어 전반적으로 골흡수(osteolysis)가 왕성하게 일어남을 보여주고 있었다. 또한 미성숙 교직골의 형태로 비정상적인 골개조가 일어나고 있었으며 치아에서는 치근흡수가 빈번하게 일어났다.

0.5% Ca~0.5% P(NN)군의 대퇴골의 피질골에서는 다공성 골개조가 광범위하게 일어나고 있었으며 일

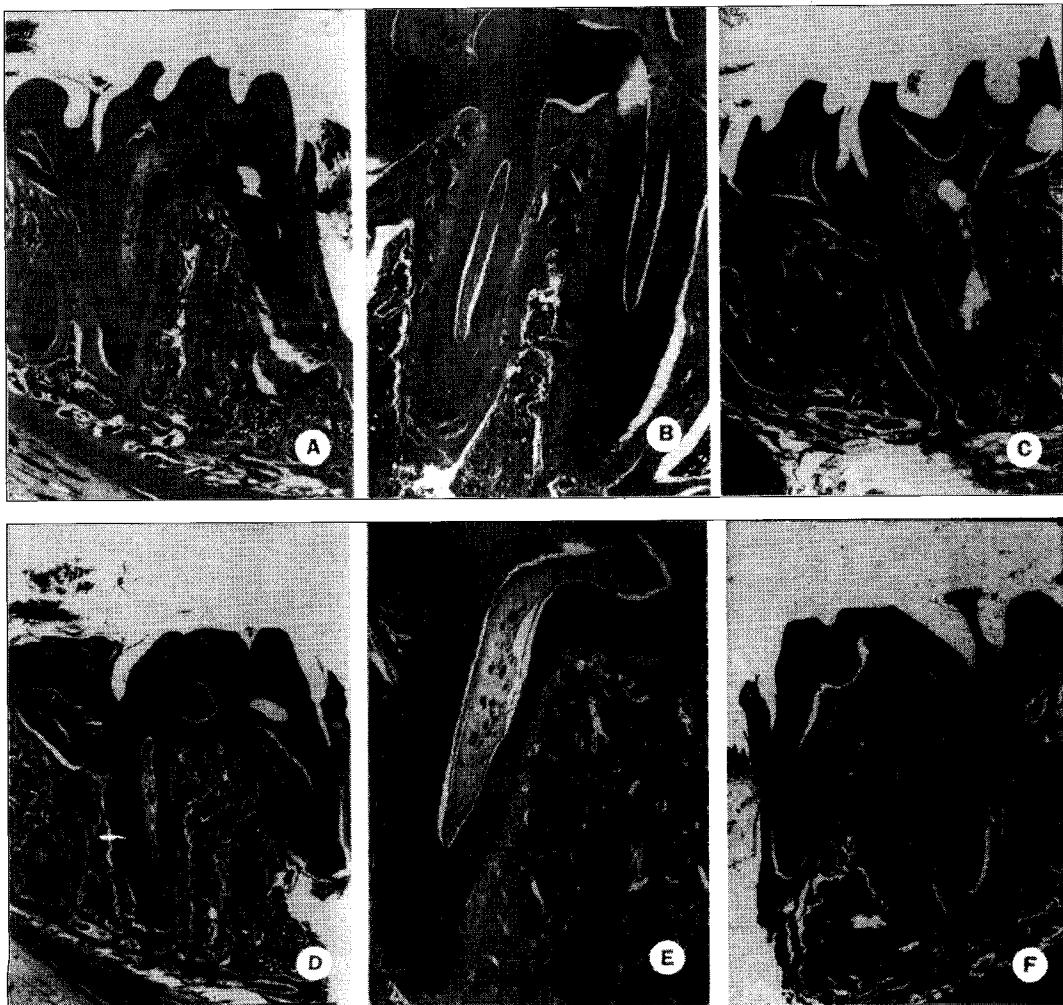


Fig. 2. Photomicrographs of mandible sections.

A : 0.2% Ca - 0.5% P(LN) ($\times 20$)

C : 0.5% Ca - 0.5% P(NN) ($\times 20$)

E : 1.2% Ca - 0.5% P(HN) ($\times 20$)

B : 0.2% Ca - 1.2% P(LH) ($\times 40$)

D : 0.5% Ca - 1.2% P(NH) ($\times 20$)

F : 1.2% Ca - 1.2% P(HH) ($\times 40$)

부 해면골에서도 다공성 골개조가 일어났음을 보여주고 있었다. 하악골에서는 정상 수준의 해면골 상태를 나타냈다. 0.5% Ca~1.2% P(NH)군의 대퇴골의 피질골은 큰 변화가 없으며 일부 미세적으로 비정상적인 골개조의 양상이 관찰되었다. 다수 커다란 혈관들이 피질골 내에 들어와 있는 경우도 관찰되었다. 하악골에서는 극심한 해면골의 소실이 관찰되었으며 치아와 인접한 일부 치조골을 제외하고는 대부분의 골소실이 관찰되었으며, 다수의 파골세포를 관찰할 수 있었다.

1.2% Ca~0.5% P(HN)군의 대퇴골의 피질골에서는 일부분에서 심한 다공성을 나타냈으며 특히 골수강과 인접한 부위에서는 커다란 해면골 소주의 흡수양상이 관찰되었다. 하악골에서는 치근 사이에 골형성이 매우 활발하게 나타났으며 이로 인하여 골수강은 좁아져 있고 해면골이 잘 발달된 양상을 나타내었다. 1.2% Ca~1.2% P(HH)군의 대퇴골의 피질골에서는 전반적으로 확장된 혈관을 갖는 커다란 공동을 갖고 있으며 비정상적인 골개조 현상을 다소 나타내고 있었다. 하악골은 매우 심한 해면골의 소실이 관찰되었으며 골소주의 두께도 매우 감소되어 있었다. 이로 인하여 골수강도 매우 확장되어 있었다.

이상의 결과들을 종합해 보면 대퇴골의 피질 골의 변화 양상과 하악골의 해면골에서 보이는 소견이 매우 상이하며 0.5% Ca~0.5% P(NN)군에서 하악골은 비교적 정상 소견을 나타내며 1.2% Ca~0.5% P(HN)군에서 매우 발달된 골형성을 관찰할 수 있었다. 대퇴골에서는 0.5% Ca~1.2% P(NH)군과 1.2% Ca~1.2% P(HH)군에서 비교적 정상에 가까운 소견을 보이고 다른 군들은 큰 차이 없이 심한 다공성 골개조 양상을 나타내었다. 이렇게 대퇴골과 하악골의 소견이 다른 것은 대퇴골은 치밀골이 많고 하악골은 해면골이 많은데 해면골은 치밀골보다 bone turnover가 빠른 것을 고려해 볼 때 치밀골에서는 식이 중 칼슘과 인의 비율도 중요하지만 장기간의 칼슘 섭취 및 흡수율이 영향을 주었고 반면 칼슘의 영양 상태를 빨리 반영하는 해면골에서는 칼슘에 비해 인의 비율이 적고 인의 섭취량 또한 적은 군이 칼슘의 영향이 즉시 반영되는 것으로 사료된다. 이로써 칼슘과 인의 비율에 따른 골 조직의 변화는 치밀골과 해면골 사이에 서로 다른 영향을 주는 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구는 현재 우리 나라 성장기 청소년의 식습관 변화로 인한 가공식품과 탄산 음료의 섭취 증가로 칼슘

섭취 비율에 대한 인의 섭취 비율 증가가 골격 및 칼슘 대사에 어떤 영향을 미치는지를 알아보기 시도되었다. 이를 위해 2개월 된 숫컷 흰쥐를 이용하여 식이내 칼슘 수준을 0.2%, 0.5%, 1.2%의 셋으로 나누고 다시 각 군에 따라 인을 0.5%, 1.2%로 달리 하여 각 군마다 칼슘과 인의 비율을 달리하였다. 이러한 실험 식이로 5주동안 동물 사육을 실시하였고 그 결과는 다음과 같다.

본 실험에서 식이 섭취량은 1.2% Ca~0.5% P(HN)군이 가장 많았고 1.2% Ca~1.2% P(HH)군이 가장 적었다. 체중 증가량은 0.5% Ca~0.5% P(NN)군이 가장 높았고 1.2% Ca~1.2% P(HH)군에서 가장 낮았다. 칼슘의 흡수율은 유의적인 차이가 없었으나 고칼슘식이이고 칼슘의 비율이 인의 두배 이상인 1.2% Ca~0.5% P(HN)군이 가장 높았고 보유율도 가장 높았다. 0.2% Ca~0.5% P(LN)군이 흡수율과 보유율이 가장 낮았다. 인의 흡수율과 보유율은 칼슘과 반대로 0.2% Ca~1.2% P(LH)군이 가장 높았고 0.2% Ca~0.5% P(LN)군이 가장 낮았다. 혈중 Alkaline phosphatase의 활성은 유의적인 차이는 보이지 않았으나 0.5% Ca~0.5% P(NN)군에서 가장 높았고 뇨중 Hydroxyproline의 배설량도 0.5% Ca~0.5% P(NN)군에서 가장 높았다.

골격의 밀도는 대퇴골의 경우 고칼슘이고 칼슘과 인의 비율이 1:1인 1.2% Ca~1.2% P(HH)군이 가장 높았고 견갑골의 경우는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 골격 회분 함량은 대퇴골과 견갑골 모두 1.2% Ca~0.5% P(HN)군이 가장 높았고 회분 중 칼슘의 양은 대퇴골의 경우 1.2% Ca~1.2% P(HH)군이 가장 높았고 견갑골의 경우는 0.2% Ca~0.5% P(LN)군이 가장 높았으나 유의적이지는 않았다. 대퇴골에서는 저칼슘-고인인 0.2% Ca~1.2% P(LH)군이 가장 낮은 칼슘 함량을 보여주었다.

골조적 검사 결과 치밀골이 많은 대퇴골은 Ca와 P의 비율이 1:1인 1.2% Ca~1.2% P(HH)군이 비교적 정상에 가까웠으며 해면골이 많은 하악골은 0.5% Ca~0.5% P(NN)군이 비교적 정상 소견을 보이며 칼슘의 비율이 인보다 두배 이상 많은 1.2% Ca~0.5% P(HN)군에서는 매우 발달된 골형성을 볼 수 있다. 그러나 Ca와 P의 비율이 1:6인 0.2% Ca~1.2% P(LH)군의 대퇴골에서는 비정상적인 골개조가 넓게 일어나고 있었고 특히 하악골에서 해면골은 거의 소실되어 있음을 볼 수 있다. 즉 영양상태를 빨리 반영하는 해면골에서는 칼슘에 비해 인의 비율이 적을 때 골형성이 잘 발달한다고 보아진다.

이상의 결과로 볼 때 본 실험에서 칼슘 : 인의 비율이

1:0.5인 군에서 가장 바람직한 칼슘 및 골격 대사를 보였고 1:6인 군에서 가장 바람직하지 못하였다. 그러나 칼슘:인의 비율이 1:1~2.5정도의 비율에서는 일관된 결과를 보여주지 않고 있으나 이때 칼슘 섭취량이 낮을수록 바람직하지 못한 결과를 보여주었다. 그러므로 칼슘섭취량이 전반적으로 낮은 우리나라에서는 칼슘의 섭취를 증가시키는 동시에 인 섭취에도 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

Literature cited

- 1) Arnaud CD, Sanchez SD. The role of calcium in osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 10: 397-414, 1990
- 2) Einhorn TA, Lerine B, Nichel P. Nutrition and Bone. *Orthopedic Clin North Am* 21 : 43-50, 1990
- 3) Heaney RP. Nutritional factors in osteoporosis. *Ann Rev Nutr* 13 : 7-316, 1993
- 4) Matkovic V, Kostial K, Simonovic I, Buzina R, Brodarec A, Nordin BEC. Bone status and fracture rates in two regions of Yugoslavia. *Am J Clin Nutr* 32 : 540-49, 1979
- 5) Parfitt AM. Dietary risk factors for age-related bone loss and fractures. *Lancet* 2 : 1181-85, 1983
- 6) 용석중 · 임승길 허갑범 · 박병문 김남현. 한국인 성인남녀의 골밀도. *대한의학협회지* 31 : 1350-58, 1988
- 7) Smith DM, Khairi MRS, Johnston CC Jr. The loss of bone mineral with aging and its relationship to risk of fracture. *J Clin Invest* 56 : 311-18, 1975
- 8) Newton-John HF, Morgan BD. The loss of bone with age, osteoporosis and fractures. *Clin Ortho* 71 : 229-32, 1970
- 9) 김소향. 식이단백질과 Ca수준이 암컷 흑쥐의 체내 Ca 및 골격대사에 미치는 영향. *식사학위논문*, 이화여자대학교, 1992
- 10) 김해경 · 윤진숙. 한국노년기 여성의 골격 상태에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. *한국영양학회지* 24(1) : 30-39, 1991
- 11) 이종호 · 문수재 · 허갑범. Phytate 와 저 Ca섭취가 흑쥐의 성장기간 동안 Ca, P, Zn대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(2) : 145-55, 1993
- 12) 구제옥 · 관충실 · 최혜미. 한국성인 여성의 단백질 섭취수준과 동 · 식물성 급원이 칼슘 및 인 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 24(2) : 124-31, 1991
- 13) 송정자. 칼슘의 섭취수준이 연령이 다른 암컷의 칼슘, 나트륨 및 칼륨대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 24(4) : 309-320, 1995
- 14) Calvo MS, Harstad L, Laakso KJ, Heath HIII. Chronic low calcium, High phosphorus intake during adolescence causes secondary hyperparathyroidism and reduces bone mass in female beagles. *J Bone Mineral Res* 2 : S464, 1987
- 15) Haek AC, Lemmens AG, Mullink JWMA, Beynen AC. Influence of dietary Ca : P ratio in mineral excretion and nephrocalcinosis in female rats. *J Nutr* 118 : 1210-16, 1988
- 16) Robert M. Calcium intake and skeletal integrity ; Is there a critical Realtionship? *J Nutr* 117 : 631-35, 1986
- 17) Anderson JJB. Nutritional biochemistry of calcium and phosphorus. *J Nutr Biochem* 2 : 300-309, 1991
- 18) National Research Council. Recommended Dietary Allowances 10th ed. National Academy Press, 1989
- 19) Calvo MS. The effects of high phosphorus intake on calcium homeostasis. *ADV Nutr res* 9 : 183-207, 1994
- 20) Yates JA, Pretto ROC, Mayor K, Mundy GR. Inhibition of bone resorption by inorganic phosphate is mediated by both reduced osteoclast formation and decreased activity of mature osteoclast. *J Bone Mineral Res* 6 : 473-78, 1991
- 21) 오재준 · 홍은실 · 백인경 · 이호선 · 임현숙. 우리나라 폐경전 여성에서 칼슘, 단백질, 인의 섭취상태가 골밀도에 미치는 영향. *한국영양학회지* 29(1) : 59-69, 1996
- 22) Freudenheim JL, Johnson NE, Smith EL. Relationships between usual nutrient intake and bone-mineral content of women 35 – 65years of age : longitudinal and cross-sectional analysis. *Am J Clin Nutr* 44 : 863-876, 1986
- 23) 보건사회부. 「국민영양 조사보고서」서울 : 1995
- 24) 송정자 · 최미경 · 조재홍 · 이주연. 농촌 성인 남녀의 무기질 섭취량, 혈액수준 및 소변중 배설량과 혈압과의 관계에 대한 연구. *한국영양학회지* 26(1) : 89-97, 1993
- 25) 이보경 · 장유경 · 최경숙. 폐경후 여성의 골밀도에 대한 영양소 섭취실태의 영향. *한국영양학회지* 25(7) : 642-55, 1992
- 26) 김선호. 거주형태에 따른 공주지역 여대생의 식생활양상 비교. *한국영양학회지* 28(7) : 653-74, 1995
- 27) 김경수, 양준희. 유치원아동의 식품기호도가 체위에 미치는 영향에 관한 연구. 「식생활연구」중앙대학교 가정대학 식생활학과 : 1991
- 28) 유춘희 · 홍희옥. 한국인의 일상식이를 섭취하는 여대생들의 칼슘 대사에 관한 연구. *한국영양학회지* 28(11) : 1049-55, 1995
- 29) 고영자 · 김영남 · 모수미. 중학교 3학년 학생의 식행동 특성에 관한 연구. *한국영양학회지* 24(5) : 458-68, 1991
- 30) 유정순 · 장경자 · 변기원. 대학생의 영양 섭취 실태에 관한 연구. *대한가정학회지* 32(4) : 209-216, 1994
- 31) 이정아 · 장영애 · 김화영. 나이가 다른 단계에서 식이 단백질 수준이 흑쥐의 Ca 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 25 : 569-577, 1992
- 32) 조성연 · 장영애 · 이현숙 · 김화영. 난소를 절제한 흑쥐에서 식이 단백질 수준이 체내 Ca 대사 및 골격대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26 : 915-924, 1993
- 33) Horowitz M, Need AJ, Philcox JC, Nordin BEC. Effect of calcium supplenatation on urinary hydroxyproline in osteoporotic postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 39 : 857-59, 1984

- 34) 남궁석 · 차상국 · 차우만 · 유성식. 「최신 식품 화학 실험」 서울 : 신광출판사, 1987
- 35) Draper HH, Scythes CA. Calcium phosphorus and osteoporosis. *Fed Proc* 40 : 2434-38, 1981
- 36) 최현규. 나이가 다른 난소를 절제한 흰쥐에서 식이 Ca수준이 골격대사에 미치는 영향. 석사학위논문, 이화여자대학교, 1996
- 37) Matkovic V. Calcium metabolism and calcium requirements during skeletal modeling and consolidation of bone mass. *Am J Clin Nutr* 54 : 245-605, 1991
- 38) 장영은 · 정혜경 · 장남수 · 이현숙. 식이 단백질량에 따른 칼슘 수준이 성장기 흰쥐의 체내 칼슘 및 골격 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 30 : 266-276, 1997
- 39) Hsu JM, Davis RL. Handbook of geriatric nutrition-principle and applications for nutrition and diet in aging. NOYES publication, 1981
- 40) 여정숙 · 승정자. 단백질과 카페인의 섭취수준이 나이가 다른 흰쥐의 칼슘, 인, 나트륨 및 칼륨 대사에 미치는 영향. *한국영양식량학회지* 23(1) : 13-22, 1994
- 41) Roland DA, Sloan DR, Wilson HR, Harms RH. Relationship of calcium to reproductive abnormalities in the laying hen. *J Nutr* 104 : 1079-85, 1974