

## Phytate와 저 Ca 섭취가 흰쥐의 성장기간 동안 Ca, P, Zn 대사에 미치는 영향\*

이종호 · 문수재 · 허갑범\*\*

연세대학교 생활과학대학 식품영양학과  
연세대학교 의과대학 내과학교실\*\*

### Influence of Phytate and Low Dietary Calcium on Calcium, Phosphate and Zinc Metabolism by Growing Rats

Lee, Jong-Ho · Moon, Soo-Jae · Huh, Kap-Bum\*\*

*Department of Food and Nutrition, College of Human Ecology, Yonsei University, Seoul, Korea*

*Department of Internal Medicine,\*\* College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea*

#### ABSTRACT

A factorial experiment was conducted to determine the influence of phytate(0 or 10g/kg diet) and calcium(Ca)(3 or 10g/kg diet) intakes on Ca, P and Zn metabolism by growing female rats. Food intake and body weight were similar for the all groups, however, phytate ingestion for six weeks depressed femur growth. The low Ca plus phytate group showed the lowest Ca content of total femur and this was related to a significant decrease of Ca retention. Phytate intake depressed zinc(Zn) absorption in the first metabolic collection. This inhibitory effect of phytate on Zn absorption was improved in the low Ca plus phytate group after several weeks. Impaired Zn absorption however remained in the high Ca plus phytate group which was reflected in the lowest Zn content of femur. phytate intake with high Ca also depressed phosphorous(P) absorption and serum and urinary P. These adverse effects of phytate on Zn and P absorption when the dietary Ca was high could explain reduced femur weight despite the highest concentration of femur Ca(mg/g ash) in this group. Results suggest that phytate can adversely affect not only Ca metabolism but Zn and P utilization. Thus, for the normal bone growth when phytate intake is high, the ingestion of Ca, P, Zn and other minerals should be enhanced.

**KEY WORDS** : calcium · phytate · phosphorus · zinc.

채택일 : 1992년 9월 24일

\*본 연구는 한국 과학재단 신진 연구비 지원에 의해 이루어졌음.

## 서 론

Ca 대사에 중요한 것은 Ca 섭취량 자체도 중요하지만 식이내 Ca이 실제로 체내에서 얼마나 유용될 수 있는가 하는 Ca 생체이용율(bioavailability)이다<sup>1)2)</sup>. Ca 생체 이용율이 감소된 경우, 젊은 사람은 골격형성과 골질화에 감소를 보여주어 최대골질량(peak bone mass)에 도달하는데 문제가 되며 젊은 시절의 최대골질량의 감소는 나이가 든 후에 골다공증을 초래하는 주요 원인이 된다<sup>3-6)</sup>.

Ca 생체이용율은 Ca 흡수를 증가시키거나 감소시키는 내적인 생리적 상태나 식이내 구성 성분들에 의해 결정되어진다<sup>7-8)</sup>. 식이내 구성 성분들 중 Ca 흡수 방해 물질들에는 phytate, oxalate와 fiber등을 들 수 있으며, phytate는 곡류, 두류, 종실류 및 견과류의 식물성 식품 중에 1 내지 5% 함유되어 있다<sup>9)10)</sup>. 우리나라의 경우 곡류, 두류, 종실류 및 견과류 등의 전국 평균 섭취가 하루 410g이므로 하루 섭취량 1037g을 고려할 때<sup>11)</sup> 총 섭취량 중 0.4 내지 2% 가량을 phytate가 차지하고 있다고 추정할 수 있다. 이러한 phytate는 Ca과 결합하여 생리적인 pH에서 불용성인 복합체를 형성하여 Ca 흡수를 방해하는 역할을 한다.<sup>3)7)10)12)</sup>

Ca 용용에 대한 phytate의 방해 효과는 식물성 식품의 섭취 수준이 낮은 서구 사회에서는 phytate의 섭취량이 적으므로 실질적인 문제가 없다고 보고<sup>3)12)</sup>됨에 따라서 Ca과 phytate와의 상호관계 역시 활발히 연구되지 않았다<sup>10)</sup>. 예를 들어 미국의 경우에는 전국 평균 하루 Ca 섭취량이 743mg중 우유 및 유제품이 Ca 섭취의 55% 이상을 기여하는 반면<sup>3)</sup>, 식물성 식품으로부터 Ca 섭취는 20% 미만으로 보고되고 있다<sup>7)</sup>. 그러나 우리나라의 경우 1988년 국민 영양 조사보고서<sup>11)</sup>에 따르면 전국 평균이 495mg으로 한국인 영양 권장량의 83%로서 저조한 실정이고 전체 섭취량 중 약 54%가 식물성 식품으로부터 섭취되었다. 또한 농촌의 경우 하루 Ca 섭취량은 전국 평균섭취량 보다 훨씬 낮아 1988년 434mg이었고 이중 약 59%가 식물성 식품으로부터 섭취되었다<sup>1)</sup>.

우리나라의 경우 저조한 Ca 섭취량뿐만 아니라 식물성 식품으로부터 섭취되는 phytate의 Ca 흡수에 대한 방해 효과는 marginal한 Ca 상태를 결핍상태로 쉽게 초래하여 영양생화학적 문제뿐만 아니라 임상적인 문제를 초래할 수 있을 것이다. 특히 저소득층이나 농촌의 경우 많은 어린이들과 청소년들이 최대골질량 형성시 충분치 못한 Ca 섭취량과 phytate의 Ca 대사에 대한 방해 효과는 이중 부담을 주어 최대골질량을 저하시킬 것이라고 예상된다.

본 연구는 식이가 골격에 미치는 영향을 관찰하는데 좋은 model인 흰쥐<sup>13)</sup>를 사용하여 Ca과 phytate의 상호 작용이 성장 기간 동안 골격 발육에 미치는 영향을 규명하는데 목적이 있다.

## 재료 및 방법

본 실험은 실험 시작 19일부터 5일간 행해질 첫번째 balance study와 실험 시작 36일부터 5일간 행해질 balance study로 구성되어 있으며, 이유 직후의 Sprague Dawley종 흰 암컷 쥐 32마리를 사용하였다. 처음 3일은 basal diet로 실험실 환경에 적응시킨 후 6주간 실험식이를 공급하였다. 식이의 구성성분은 Table 1에서 보는 것과 같이 4종류의 실험식이로 Ca은  $\text{CaCO}_3$ 로, phytate는 sodium phytate로 glucose를 carrier로서 Ca 3g/kg diet, 10g/kg diet와 phytate 0, 1.0%를 만들기 위해서 첨가되었다. 저 Ca 식이의 경우 쥐의 성장을 위한 Ca 요구량인 5g/kg diet<sup>14)</sup>의 60%를 공급하였고 고 Ca 식이인 경우 요구량의 2배를 공급하였다. Phytate는 우리나라 총식품섭취량의 0.4 내지 2%를 차지하리라는 추정에 따라 phytate를 첨가하지 않거나 혹은 식이 총량의 1%를 phytate로 공급하였다. Phytate(Sigma Chemical Com., 81.4% phytate)는 28.158% phosphorus를 함유하고 있으므로 phytate group들에게서 phosphorus 양을 조절해 주었다.

식이를 분석하여 실질적인 Ca, P, Zn의 양을 산출한 결과, 식이의 무기질 양이 실험을 위한 적절한 범위내에 있었다(Table 1). 식이 공급은 pair feeding을 통해 모든 group에서 비슷한 양을 섭취하게 하여 실험 결과에서 보여지는 것들이 식이 섭취량의

Table 1. Composition of experimental diets

Parameter	Diet			
	1.0% Ca	0.3% Ca	1.0% phytate 1.0% Ca	1.0% phytate 0.3% Ca
Ingredient				
Dextrose	117.92	135.40g/Kg	118.25	131.47
CaHPO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	12.87	12.87	5.56	5.56
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	6.50	6.50	—	—
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3.10	3.10	—	—
CaCO <sub>3</sub>	17.48	—	17.48	4.26
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	—	4.29	4.29
Phytate	—	—	12.29	12.29
Constant components <sup>1</sup>	842.13	842.13	842.13	842.13
Total	1000	1000	1000	1000
Chemical analysis				
Calcium	10	3	10	3
Phosphorus	4.2	4.1	4.1	4.2
Zinc <sup>2</sup>	30	30	30	30
[Ca] : [phytate]	—	—	0.06	0.2

<sup>1</sup> Constant components consisted of (g/kg diet) : casein, 150 ; dl-methionine, 3 ; cellulose, 50 ; corn oil, 50 ; corn starch, 541.6 ; vitamin mixture, 50 ; mineral mixture ; 7.53. The vitamin mixture contained of the following(mg/kg diet) : thiamin · HCl, 10 ; riboflavin, 6 ; pyridoxine HCl, 6 ; calcium pantothenate, 16 ; biotin, 0.2 ; niacin, 10 ; folic acid, 1 ; vitamin B-12, 0.05 ; menadione, 0.5 ; cholecalciferol, 0.025 ; retinyl palmitate, 2.196 ; d-alpha tocopherol acetate, 10 ; choline chloride, 1500 ; ascorbic acid, 50 ; sucrose, 47833. The mineral mixture contained of the following(mg/kg diet) : NaCl, 2348.1 ; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 4655.6 ; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 105.6 ; MnCl<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 198.1 ; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 23.6 ; ferric citrate, 190.1 ; KI, 0.3 ; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 0.5 ; K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 5.7 ; (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 0.8.

<sup>2</sup>µg/kg diet

차이 때문이 아니라 식이의 구성성분의 차이로 간주할 수 있게 하였다. 실험 시작 19일후부터 5일간 그리고 36일후부터 5일간 대소변을 수집하였다. 실험 6주후에 마취한 후 희생시켜 혈액, 대퇴골, 신장을 수집하였다.

부기질 분석을 위하여 식이, 신장, 대변은 강질산과 30% 과산화수소로 wet ash시키고 회석시킨 후 사용하였다. 혈청은 trichloroacetic acid로 처리하여 단백질을 제거한 후 사용하였으며 소변은 원심분리하여 사용하였다. 대퇴골은 살을 제거하고 ethanol-ether 용액으로 지방을 추출한 후 375°F에서 약 12시간 건조시켜 ash weight을 측정한 후 약산으로 회석시켰다. 식이, 조직, 대변, 소변, 대퇴골,

신장의 Ca과 Zn농도는 AAS(atomic absorption spectrophotometer, Buck 200A)를 사용하여 정량하였고 P는 비색법을<sup>15)</sup>을 사용하여 분석하였다. Ca, P과 Zn의 흡수율(apparent absorption, %)은 섭취량과 대변으로 배설된 양의 차를 섭취량으로 나눈 후 100을 곱하여 구하였고 보유량(retention)은 섭취량에서 대변과 소변으로 배설된 양의 합을 감산해 줌으로써 구하였다<sup>16)</sup>. 모든 초자기구는 contamination을 막기 위하여 4시간동안 10% 질산용액에 담근 후 사용하였다.

본 연구에서 수집된 자료에 대해서는 factorial experimental analysis를 이용하여 식이 Ca 효과, phytate의 효과, Ca과 phytate의 상호 작용의 효과를

규명하며,  $\alpha=0.05$  수준에서 least significant difference(LSD)에 의해 각 실험군당 평균치간의 유의성을 검증하였다<sup>17)</sup>.

## 결 과

평균 식이 섭취량과 실험 시작시의 쥐의 무게는 4그룹간에 비슷하였고 8주 후의 무게는 고 Ca 수준과 phytate 첨가군에서 다소 적었으나 통계적으로 유의성은 없었다(Table 2).

실험 시작 19일부터 5일간 행해진 첫번째 balance study의 결과는 Table 3에 제시하였다. Ca의 섭취는 고 Ca 군들에서 저 Ca 군들 보다 유의성있게 많았다. 대변내 Ca의 배설은 식이내 들어있는 Ca과 phytate의 양에 영향을 받는 것으로 나타났다. 식이내 Ca의 증가는 대변내 Ca양을 유의하게 증가시켜 흡수율을 감소시켰다. 저 Ca군에서 phytate첨가는 첨가하지 않은 그룹보다 대변내 Ca 배설량을 약 3배 증가시켰으며 Ca 흡수율을 20%가량 감소시켰다. 저 Ca과 phytate첨가군에서 보여지는 phytate의 Ca흡수에 대한 방해 작용이 고 Ca군에서는 심하게 보여지지 않았다.

소변내 Ca 배설량은 식이 Ca, phytate양과 Ca과 phytate 상호작용에 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 3). 저 Ca 식이군에서 고 Ca 식이군보다 소변내 Ca이 감소되었다. 고 Ca 식이군에서 phytate를 첨가한 경우 첨가하지 않은 그룹보다 소변내 Ca 배설량이 증가하였으며( $p<0.001$ ), 저 Ca군에서는 phytate 첨가가 영향을 주지 않았다. Ca 보

유량은 고 Ca 군들이 저 Ca 군들 보다 많았으며 phytate첨가는 Ca 보유량을 유의하게 감소시켰다.

첫번째 balance study에서 P 섭취량은 모든 군들에서 비슷하였으며 대변내 P 배설은 식이내 들어있는 Ca과 phytate양에 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 3). 대변내 P 배설은 식이내 Ca이 증가하는 경우 혹은 phytate를 첨가할 경우 증가하였다. P 흡수율은 저 Ca 군들에서 고 Ca 군들보다 높았으며 phytate의 첨가는 P 흡수율을 감소시켰다. 소변내 P 배설은 식이 Ca과 phytate 그리고 Ca과 phytate의 상호작용에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 소변내 P 배설은 식이 Ca증가에 감소하였으며 고 Ca에 phytate를 첨가한 군에서 가장 적었으며 phytate를 첨가한 저 Ca군에서 가장 높았다. P 보유량은 저 Ca 군들이 고 Ca 군들보다 많았으며 phytate 첨가는 P 보유량을 감소시켰다.

첫번째 balance study에서 Zn 섭취량은 모든 군들에서 비슷하였으며 대변내 Zn 배설은 식이내 phytate 첨가에 의해서 증가하였다(Table 3). Zn 흡수율은 식이내 phytate 첨가에 의하여 감소하였으며 소변내 Zn 배설량은 식이의 Ca 농도와 phytate 첨가에 영향을 받지 않았다. Zn 보유량은 phytate 첨가 군들에서 첨가하지 않은 군들과 비교하여 감소하였으며 phytate를 첨가한 저 Ca 군이 phytate를 첨가한 고 Ca군보다 Zn 보유량이 다소 적었으나 유의한 감소를 보이지 않았다.

실험 시작 36일부터 5일간 행해진 두번째 balance study의 결과는 Table 4에 제시하였다. 대변내 Ca 배설량은 첫번째 balance study와 마찬가지로 식이

Table 2. Influence of phytate and calcium on dietary intake and growth of rats<sup>1,2</sup>

Measures	Diet			
	1.0% Ca	0.3% Ca	1.0% phytate 1.0% Ca	1.0% phytate 0.3% Ca
Average food intakes (g/d)	12.2±0.2	12.2±0.2	12.3±0.2	12.1±0.2
Body weight(g)				
Initial	76.0±4.8	76.0±6.3	76.1±6.7	76.4±3.7
Final	193.5±6.8	198.1±8.4	188.6±6.9	197.9±4.3

<sup>1</sup>Values are means±SE(n=8)

<sup>2</sup>Effects of Phytate, Ca and Phytate+Ca are not significant

Table 3. Influence of phytate and calcium on intake and excretion during the first balance period<sup>1,2</sup>

Measures	Diet				Significance Levels		
	1.0% Ca	0.3% Ca	1.0% phytate	1.0% phytate	Phytate	Ca	Phytate + Ca
			1.0% Ca	0.3% Ca			
<b>Intake</b>							
Ca(mg/d)	120.2 ± 5.9 <sup>a</sup>	37.4 ± 1.2 <sup>a</sup>	122.3 ± 3.0 <sup>a</sup>	36.9 ± 1.5 <sup>b</sup>	NS	<0.001	NS
P(mg/d)	51.7 ± 2.5	53.6 ± 1.7	52.6 ± 1.3	52.9 ± 2.0	NS	NS	NS
Zn(ug/d)	360.6 ± 17.7	374.2 ± 12.2	367.0 ± 8.9	368.9 ± 14.1	NS	NS	NS
<b>Fecal excretion</b>							
Ca(mg/d)	66.4 ± 5.9 <sup>a</sup>	3.3 ± 0.8 <sup>c</sup>	71.3 ± 3.7 <sup>a</sup>	10.2 ± 2.3 <sup>b</sup>	<0.1	<0.001	NS
P(mg/d)	28.1 ± 3.5 <sup>b</sup>	2.3 ± 0.5 <sup>d</sup>	33.4 ± 1.6 <sup>a</sup>	9.5 ± 2.0 <sup>c</sup>	<0.01	<0.001	NS
Zn(ug/d)	223.9 ± 31.0 <sup>c</sup>	226.6 ± 25.7 <sup>bc</sup>	269.4 ± 20.8 <sup>ab</sup>	305.2 ± 35.6 <sup>a</sup>	<0.05	NS	NS
<b>Urinary excretion</b>							
Ca(mg/d)	1.4 ± 0.2 <sup>b</sup>	0.4 ± 0.1 <sup>c</sup>	9.3 ± 1.0 <sup>a</sup>	0.6 ± 0.1 <sup>bc</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
P(mg/d)	1.5 ± 0.4 <sup>c</sup>	14.3 ± 0.9 <sup>b</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>d</sup>	18.0 ± 1.1 <sup>a</sup>	<0.05	<0.001	<0.001
Zn(ug/d)	3.0 ± 0.6	3.1 ± 0.9	4.3 ± 0.7	2.9 ± 0.1	NS	NS	NS
<b>Apparent absorption<sup>3</sup></b>							
Ca(%)	44.8 ± 3.9 <sup>c</sup>	91.5 ± 1.8 <sup>a</sup>	41.7 ± 2.4 <sup>c</sup>	72.8 ± 5.8 <sup>b</sup>	<0.01	<0.001	<0.10
P(%)	45.8 ± 5.4 <sup>c</sup>	95.8 ± 0.7 <sup>a</sup>	36.5 ± 2.5 <sup>d</sup>	82.4 ± 3.4 <sup>b</sup>	<0.005	<0.001	NS
Zn(%)	37.9 ± 8.4 <sup>a</sup>	36.4 ± 7.7 <sup>ab</sup>	26.3 ± 6.1 <sup>bc</sup>	18.2 ± 7.7 <sup>c</sup>	<0.05	NS	NS
<b>Retention<sup>4</sup></b>							
Ca(mg/d)	52.5 ± 5.1 <sup>a</sup>	33.8 ± 0.7 <sup>c</sup>	41.7 ± 3.1 <sup>b</sup>	26.1 ± 1.6 <sup>d</sup>	<0.05	<0.001	NS
P(mg/d)	22.1 ± 2.5 <sup>c</sup>	37.1 ± 0.8 <sup>a</sup>	19.1 ± 1.3 <sup>d</sup>	25.4 ± 0.7 <sup>b</sup>	<0.001	<0.001	<0.05
Zn(ug/d)	133.7 ± 29.5 <sup>a</sup>	147.2 ± 27.1 <sup>a</sup>	93.2 ± 23.7 <sup>b</sup>	60.8 ± 24.7 <sup>b</sup>	<0.05	NS	NS

<sup>1</sup>Values are means ± SE(n=8)

<sup>2</sup>Values in the same row with different superscripts are significantly different (p < 0.05) from each other.

If any letter combination matches, the difference between means is not significant.

<sup>3</sup>Apparent absorption(%) = [(intake - fecal loss) ÷ intake] × 100

<sup>4</sup>Retention = intake - (fecal loss + urinary loss)

Table 4. Influence of phytate and calcium on intake and excretion during the second balance period<sup>1,2</sup>

Measures	Diet				Significance Levels		
	1.0% Ca	0.3% Ca	1.0% phytate	1.0% phytate	Phytate	Ca	Phytate + Ca
			1.0% Ca	0.3% Ca			
<b>Intake</b>							
Ca(mg/d)	150.3 ± 5.8 <sup>a</sup>	44.6 ± 2.4 <sup>b</sup>	155.2 ± 2.5 <sup>a</sup>	43.8 ± 2.4 <sup>b</sup>	NS	<0.001	NS
P(mg/d)	64.6 ± 2.5	64.0 ± 3.5	66.7 ± 0.6	62.8 ± 3.4	NS	NS	NS
Zn(ug/d)	450.9 ± 17.3	446.1 ± 24.2	465.6 ± 4.5	438.1 ± 24.0	NS	NS	NS
<b>Fecal excretion</b>							
Ca(mg/d)	102.9 ± 5.9 <sup>b</sup>	10.4 ± 2.0 <sup>c</sup>	110.4 ± 4.3 <sup>a</sup>	14.5 ± 1.1 <sup>c</sup>	NS	<0.001	NS
P(mg/d)	45.2 ± 2.5 <sup>b</sup>	4.5 ± 0.8 <sup>b</sup>	49.0 ± 1.8 <sup>a</sup>	15.9 ± 1.0 <sup>c</sup>	<0.001	<0.001	<0.05
Zn(ug/d)	366.8 ± 43.7 <sup>a</sup>	323.8 ± 31.7 <sup>a</sup>	370.0 ± 25.3 <sup>a</sup>	280.3 ± 32.9 <sup>b</sup>	NS	<0.10	NS
<b>Urinary excretion</b>							
Ca(mg/d)	1.4 ± 0.4 <sup>b</sup>	0.3 ± 0.04 <sup>c</sup>	4.1 ± 0.5 <sup>a</sup>	0.6 ± 0.2 <sup>c</sup>	<0.001	<0.001	<0.005
P(mg/d)	3.7 ± 0.4 <sup>c</sup>	8.9 ± 0.6 <sup>b</sup>	0.1 ± 0.03 <sup>d</sup>	19.3 ± 3.8 <sup>a</sup>	<0.10	<0.001	<0.001
Zn(ug/d)	4.1 ± 0.3	2.6 ± 0.5	4.4 ± 0.5	3.8 ± 1.2	NS	NS	NS
<b>Apparent absorption<sup>3</sup></b>							
Ca(%)	31.4 ± 3.9 <sup>c</sup>	77.2 ± 3.6 <sup>a</sup>	28.9 ± 2.3 <sup>c</sup>	67.1 ± 1.2 <sup>b</sup>	<0.05	<0.001	<0.1
P(%)	29.8 ± 4.5 <sup>c</sup>	93.1 ± 1.0 <sup>a</sup>	26.7 ± 2.2 <sup>c</sup>	74.6 ± 1.5 <sup>b</sup>	<0.001	<0.001	<0.01
Zn(%)	18.4 ± 9.7 <sup>b</sup>	27.9 ± 4.5 <sup>a</sup>	20.7 ± 4.9 <sup>b</sup>	36.7 ± 4.4 <sup>a</sup>	NS	<0.1	NS
<b>Retention<sup>4</sup></b>							
Ca(mg/d)	46.1 ± 6.5 <sup>a</sup>	34.0 ± 1.9 <sup>c</sup>	40.7 ± 3.4 <sup>b</sup>	28.7 ± 1.2 <sup>d</sup>	<0.05	<0.001	NS
P(mg/d)	15.8 ± 3.4 <sup>c</sup>	50.5 ± 2.8 <sup>a</sup>	17.6 ± 1.4 <sup>c</sup>	27.1 ± 1.2 <sup>b</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
Zn(ug/d)	80.1 ± 45.7 <sup>b</sup>	132.7 ± 13.5 <sup>a</sup>	91.3 ± 22.6 <sup>b</sup>	153.9 ± 10.3 <sup>a</sup>	NS	<0.10	NS

<sup>1</sup>Values are means ± SE(n=5)

<sup>2</sup>Values in the same row with different superscripts are significantly different (p < 0.05) from each other.

If any letter combination matches, the difference between means is not significant.

<sup>3</sup>Apparent absorption(%) = [(intake - fecal loss) ÷ intake] × 100

<sup>4</sup>Retention = intake - (fecal loss + urinary loss)

Ca<sup>4</sup> Phytate

내 Ca의 증가는 대변내 Ca양을 증가시켰으며 Ca 흡수율을 감소시켰다. 고 Ca 군에서 phytate첨가는 고 Ca과 phytate를 첨가하지 않은 군과 비교하여 대변내 Ca 배설량을 7% 그리고 저 Ca군과 비교하여 저 Ca과 phytate 첨가 군에서 40% 증가시켰다. Phytate 첨가의 효과는 고 Ca 군에서는 흡수율을 다소 감소시켰으나 통계적으로 유의성은 없었고 저 Ca 군에서는 유의하게 감소시켰다.

소변내 Ca 배설량은 첫번째 balance study와 마찬가지로 고 Ca 군들에서 배설량이 많았으며 phytate 첨가는 고 Ca 군에서 소변내 Ca양을 증가시켰으며 저 Ca 군에서는 유의적인 영향을 보여주지 않았다. Ca 보유량은 고 Ca 군들이 저 Ca 군들 보다 많았으며 Phytate 첨가는 Ca 보유량을 유의하게 감소시켰다.

P 섭취량은 모든 그룹들에서 비슷하였으며 P의 배설량은 첫번째 balance study와 마찬가지로 식이 Ca이 많은 경우, 또한 phytate 첨가시에 증가하는 것으로 나타났다(Table 4). 소변내 P 배설량은 첫번째 balance study와 마찬가지로 phytate를 첨가하지 않은 군들에서는 식이내 Ca 증가가 소변내 P 배설량을 감소시켰으며 phytate 첨가시에는 저 Ca 군에서 소변내 P 배설량이 증가되었고 고 Ca과 phytate 첨가군에서는 유의하게 감소되었다.

Zn 섭취량은 두번째 balance study에서 모든 그룹들에서 비슷하였으며 첫번째 balance study와는 달리 대변내 배설량이 저 Ca과 phytate 첨가군에서 가장 적었다(Table 4). 소변내 배설량은 그룹들 사이에 유의한 차이가 없었으며 Zn 보유량은 저 Ca과 phytate 첨가군에서 가장 높았다.

혈청 Ca은 모든 그룹들에서 비슷하였다(Table 5). 혈청 P는 phytate를 첨가하지 않은 군들과 비교하여 고Ca과 phytate를 첨가한 군에서 감소되어 있었다. 혈청 Zn는 고 Ca나 phytate 첨가군의 경우 phytate를 첨가하지 않은 고 Ca 군과 비교하여 유의하게 감소되어 있었다.

대퇴골 ash 무게는 phytate를 첨가한 군들에서 첨가하지 않은 경우보다 유의하게 감소되어 있었다 (Fig. 1). 대퇴골 ash 1g 당 함유되어 있는 Ca의 양은 저 Ca과 phytate 첨가군에서 다른 세 군들과 비교

Table 5. Influence of phytate and calcium on calcium, phosphorous, zinc of serum, femur and kidney<sup>1,2</sup>

Measures	Diet			Significance Levels			
	1.0% Ca	0.3% Ca	1.0% phytate 1.0% Ca	1.0% phytate 0.3% Ca	Phytate	Ca	Phytate +Ca
<b>Serum</b>							
Ca(mg/l)	103.0 ± 6.7	102.5 ± 5.2	102.2 ± 6.8	100.3 ± 1.4	NS	NS	NS
P(mg/l)	57.7 ± 10.1 <sup>a</sup>	52.9 ± 7.9 <sup>a</sup>	39.6 ± 4.1 <sup>b</sup>	49.7 ± 8.3 <sup>ab</sup>	NS	NS	NS
Zn(ug/l)	120.0 ± 3.9 <sup>a</sup>	115.7 ± 2.6 <sup>ab</sup>	112.5 ± 2.8 <sup>b</sup>	116.7 ± 1.5 <sup>ab</sup>	NS	NS	NS
<b>Femur</b>							
Ca(mg/g ash)	344.6 ± 4.4 <sup>a</sup>	345.8 ± 2.4 <sup>a</sup>	350.2 ± 5.4 <sup>a</sup>	335.3 ± 3.9 <sup>b</sup>	NS	NS	<0.01
P(mg/g ash)	121.7 ± 4.6 <sup>ab</sup>	118.5 ± 1.6 <sup>b</sup>	122.8 ± 3.8 <sup>ab</sup>	124.7 ± 2.0 <sup>a</sup>	NS	NS	NS
P(mg/whole ash)	19.3 ± 1.1	18.4 ± 0.6	18.5 ± 1.0	17.7 ± 0.5	NS	NS	NS
Zn(mg/g ash)	397.3 ± 20.2 <sup>a</sup>	392.1 ± 21.6 <sup>a</sup>	227.6 ± 12.8 <sup>c</sup>	309.4 ± 14.0 <sup>b</sup>	<0.001	<0.05	<0.05
<b>Kidney</b>							
Ca(mg/g dry st)	0.203 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.203 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>b</sup>	NS	<0.001	NS
P(mg/g dry wt)	15.4 ± 0.4 <sup>b</sup>	24.3 ± 1.8 <sup>a</sup>	14.2 ± 2.1 <sup>b</sup>	28.9 ± 3.7 <sup>a</sup>	NS	<0.001	NS
Zn(mg/g dry wt)	0.18 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>b</sup>	<0.05	NS	NS

<sup>1</sup>Values are means ± SE(n=8)

<sup>2</sup>Values in the same row with different superscripts are significantly different(p<0.05) from each other. If any letter combination matches, the difference between means is not significant.

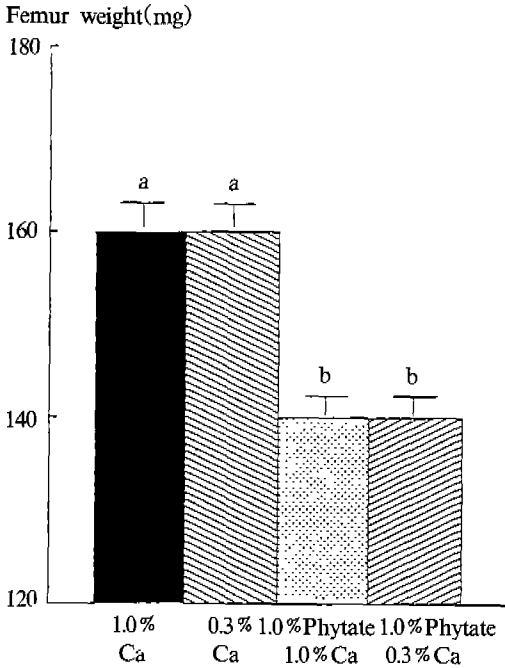


Fig. 1. Effect of phytate and dietary calcium on femur total weight.  
 Values are means  $\pm$  SE (n=8)  
 Different superscripts represent a difference ( $p < 0.05$ ) between means.  
 Effects of phytate, Ca and phytate + Ca are  $p < 0.01$ , not significant (NS), and NS respectively.

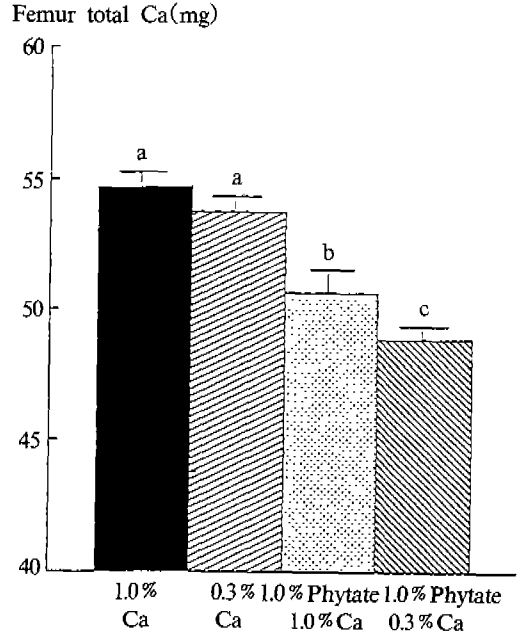


Fig. 2. Effect of phytate and dietary calcium on femur total calcium level.  
 Values are means  $\pm$  SE (n=8)  
 Different superscripts represent a difference ( $p < 0.05$ ) between means.  
 Effects of phytate, Ca and phytate + Ca are  $p < 0.001$ , not significant (NS), and NS respectively.

하여 통계적으로 유의성있게 감소하였다(Table 5). 대퇴골 전체에 들어 있는 Ca 양 역시 다른 세 군들과 비교하여 저 Ca과 phytate 첨가 군에서 적었으며 고 Ca과 phytate를 첨가한 군도 phytate를 첨가하지 않은 군들과 비교하여 대퇴골 전체 Ca의 양이 유의하게 감소되어 있었다(Fig. 2).

대퇴골 ash 1g 당 그리고 대퇴골 전체에 함유되어 있는 P의 양은 네 군들 사이에 유의한 차이가 없었다(Table 5). 대퇴골 ash 1g 당(Table 5) 그리고 전체에 들어 있는 Zn의(Fig. 3) 양은 phytate 첨가에 의하여 유의하게 감소하였으며 고 Ca과 phytate 첨가군에서 가장 적었다.

신장 1g 당 함유되어 있는 Ca의 양은 식이내 Ca이 증가한 경우 감소하였으며 phytate 첨가의 경우는 다소 감소하였으며 유의한 감소를 보이지는 않았다(Table 5). P의 양은 식이내 Ca이 적은 경우 증가

하였으며 phytate의 첨가는 영향을 주지 않았다. 신장 1g당 들어 있는 Zn의 양은 phytate 첨가에 의하여 감소하였으며 식이내 Ca 수준과는 관계가 없었다.

## 고 찰

저 Ca과 phytate 첨가 군에서 대퇴골 ash 1g당 그리고 대퇴골 전체 Ca양이 제일 적은 것으로 나타난 본 연구의 결과는 식이내 Ca 함량이 적은 경우 phytate섭취는 Ca흡수를 방해하여 대퇴골의 Ca양을 감소시킬 수 있다는 것을 입증하였다. 저 Ca과 phytate 첨가군에서 부족된 Ca 흡수량의 이유는 저 Ca군들에서 고 Ca 군들과 비교할 경우 흡수율은 높았으나 적은 섭취량으로 인한 절대적인 Ca 흡수량이 감소되었던 것과, 그리고 저 Ca 식이에 phy-



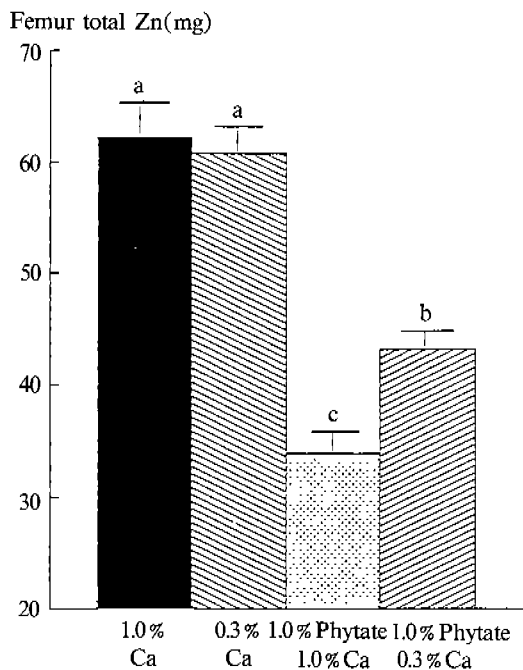


Fig. 3. Effect of phytate and dietary calcium on femur total zinc level.

Values are means  $\pm$  SE (n=8)

Different superscripts represent a difference ( $p < 0.05$ ) between means.

Effects of phytate, Ca and phytate + Ca are  $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$  and  $p < 0.05$ , respectively.

tate의 첨가가 대변 Ca 배설량을 저 Ca 군과 비교하여 첫번째 balance study에서는 약 3배, 두번째 balance study에서는 약 40% 증가시켰던 것으로 추정할 수 있다. 실질적으로 Ca 동위원소를 이용한 연구에 따르면 식이 phytate 섭취가 80mg 증가할 때 마다 정상적인 골격 흡수 및 Ca 대사를 유지하기 위해서는 239mg의 Ca이 필요하다고 보고되었다<sup>10)</sup>.

Ca 흡수량이 감소할 경우 체내에서 유용될 수 있는 Ca과 P의 낮은 비율은 부갑상선 호르몬의 분비를 촉진하고 지속적인 골격 개조를 유도함으로써 골격 소실을 초래하며 골격 발달에 지장을 주는 것으로 알려져 있다<sup>3,18,19)</sup>. 또한 Ca의 결핍으로 인한 부갑상선 호르몬 분비의 증가는 신장의 세뇨관에서 P의 재흡수를 감소시켜 소변내 P의 양을 증가시킨다고 한다<sup>18)</sup>. 본 연구에서 보여진 저 Ca과 phytate 첨가 군에서 소변내 P 배설의 증가는 아마도 Ca

흡수량의 감소가 주된 원인으로 생각된다.

대퇴골 ash 1g 당 들어 있는 Ca의 양이 고 Ca과 phytate 첨가군에서 가장 높았을지라도 대퇴골의 무게가 가벼웠기 때문에 대퇴골 전체에 들어 있는 Ca의 양은 phytate를 첨가하지 않은 군들 보다 적었다. 특히 고 Ca과 phytate를 첨가한 군에서 Ca 보유량이 저 Ca에 phytate를 첨가하지 않은 군 보다 많았을지라도 대퇴골 무게가 가벼웠던 것은 phytate의 Ca을 제외한 다른 무기질, 예를 들어 P, Zn, Mg 등에 대한 나쁜 영향이 대퇴골 발육을 지연시켰을 것으로 생각된다.

식이내 phytate는 Zn의 흡수를 감소시키며 식이내 Ca 농도가 증가할수록 흡수가 더욱 감소되는 것으로 보고되고 있다<sup>9)20)21)</sup>. 예를 들어 소화관내 Ca 양이 적어 모든 phytate를 침전시키기에 충분하지 않은 경우 매우 적은 Ca-phytate 불용성 복합체만이 침전되고 미량 무기질들의 일부만이 복합체에 결합되어 배설되며 나머지는 소화산물에 포함되어 있다가 흡수되어진다<sup>12)</sup>. 반면에 장내에 Ca이 충분히 있어서 phytate의 많은 부분이 Ca-phytate 불용성 복합체를 형성하면 장점막의 phytase에 의하여 거의 유용되지 못하며 미량 무기질들의 상당 부분이 복합체와 결합하여 배설되어진다<sup>10)12)</sup>.

본 실험에서도 대퇴골내 Zn 함량이 phytase 첨가 군들에서 phytate를 첨가하지 않은 군들 보다 유의하게 감소되어 있었으며 특히 고 Ca과 phytate 첨가 군에서 가장 적은 것으로 나타났다. Zn 흡수율이 첫번째 balance study에서 저 Ca과 phytate 첨가군에서 가장 낮았으나 두번째 balance study에서 가장 높았던 것도 아마도 저 Ca군에서 실험 초기에는 phytate 첨가에 적응하지 못하였다가 시간이 지나면서 phytate 활성이 증가되었기 때문으로 사료된다. 고 Ca과 phytate 첨가군에서는 시간이 지나도 Zn 흡수율이 증가하지 않는 것은 Ca-phytate 복합체는 불용성이므로 phytase가 작용할 수 없었기 때문일 것이다.

식이내 Ca의 증가는 소변내 P 배설량을 감소시키며<sup>22)</sup> phytate를 첨가할 경우 Ca 섭취량의 증가로 인한 Ca-phytate의 불용성 복합체 형성의 증가는 phytate내에 P를 유용되지 못하게 하며, P 유용을

감소시켜 혈청 및 소변내 P의 감소를 초래한다<sup>12)23)</sup>. 한편 흡수된 P 양의 감소는 소변내 Ca 배설량을 증가시킨다고 한다<sup>24)</sup>. 본 연구에서도 고 Ca과 phytate 첨가군에서 다른 군들과 비교하여 혈청 및 소변내 P의 양이 유의하게 감소되어 있었으며 소변내 Ca 양은 유의하게 증가되어 있었다. 고 Ca과 phytate 첨가군과는 달리 저 Ca과 phytate 첨가군에서는 P 유용이 감소되지 않았던 이유는 식이내 Ca의 감소는 P 흡수율을 증가시키고<sup>22)</sup> 적은 Ca 양으로 phytate 중 일부만 Ca과 결합하고 나머지는 장점막의 phytase에 의해서 가수 분해되어<sup>21)22)</sup> phytate에 함유된 P의 흡수가 용이하였기 때문일 것이다.

본 연구에서 고 Ca 수준은 식이내 1.0% 함유되어 있었고 고 Ca군들과 비교하여 저 Ca군들에서 신장에 들어있는 Ca 양은 적었으며 P양은 많았다. 이는 식이내 Ca양이 0.5%까지는 증가할수록 신장내 Ca양이 증가하다가 0.75% 이상에서는 신장의 Ca 및 P양이 급격하게 감소되어 nephrocalcinosis의 발생을 감소시킨다는 보고<sup>22)</sup>와 일치한다.

이상의 결과들은 성장기 동안 Ca 섭취량이 적은 경우 phytate 섭취가 Ca 흡수에 방해를 주어 골격 발육 및 최대골질량 형성에 나쁜 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여주었다. 이러한 저 Ca 식이 섭취 시에 phytate의 Ca 대사에 대한 방해 효과는 식이내 Ca을 증가시키는 것에 의해서 대퇴골의 Ca 양을 증가시킬 수 있었다. 그러나 phytate 첨가시 Ca 대사를 방해하는 작용을 해결하기 위해서 단지 식이 Ca 양만을 증가시킬 경우 Zn-Ca-phytate의 불용성 물질을 형성하여 Zn 등의 무기질 흡수에 나쁜 영향을 주며 또한 phytate 내의 P를 유용할 수 없어서 대퇴골 발육을 지연시킬 수 있을 것이라는 사실을 알 수 있었다. 따라서 phytate를 섭취할 경우 정상적인 골격 발달을 위해서는 Ca 뿐만 아니라 다른 무기질들도 골고루 보충되어야 할 것으로 생각된다. 또한 phytate의 Ca 흡수 및 다른 무기질 대사에 대한 방해 효과는 Ca 흡수가 감소되는 노년기에는 더욱 골격 손실을 증가시키고 골격 건강에 심각한 문제를 초래할 것이므로 이에 대한 임상적인 연구가 시급하다고 생각된다.

## 결 론

성장기 동안 phytate 섭취가 흰 암컷 쥐의 대퇴골 발육 및 Ca 유용에 미치는 영향을 연구하기 위하여 phytate(0 혹은 10g/kg 식이)와 calcium(3 혹은 10 g/kg) 식이함량에 차이를 둔 식이조성으로 factorial experiment을 수행하였다.

식이 섭취량과 체중은 4 그룹간에 비슷하였으나 phytate의 첨가는 대퇴골의 발육을 유의하게 감소시켰다. 특히 저 Ca과 phytate 첨가군에서 대퇴골 ash 1g당 그리고 대퇴골 전체 Ca양이 제일 적은 것으로 나타났으며 이는 phytate의 Ca 흡수에 대한 방해작용이 Ca 섭취량이 적었으므로 더욱 효과적으로 나타났기 때문으로 생각된다. 고 Ca과 phytate 첨가군에서는 대퇴골 ash 1g당 들어있는 Ca의 양이 가장 많았을지라도 대퇴골의 무게가 가벼웠기 때문에 대퇴골 전체의 Ca양은 phytate를 첨가하지 않은 군들보다 적었다. 이는 phytate 섭취나 Zn이나 P의 유용에 대한 방해작용을 보였던 것이 부분적인 이유일 것이다. phytate는 Zn 흡수율을 감소시켰으며 시간이 지나면서 저 Ca과 phytate첨가군에서는 Zn 흡수량이 증가되었고, 고 Ca과 phytate 첨가군에서는 시간이 지나도 개선되지 않았으며 결국 가장 적은 대퇴골 내에 Zn 함량을 보여주었다. 식이내 Ca이 증가할 경우 phytate 첨가는 phytate내에 함유되어 있는 P 유용을 감소시켰으며 이러한 것은 고 Ca과 phytate 첨가군에서 소변내 P 배설량 증가, 혈액 및 소변내 P감소로 입증되어졌다. 이상의 결과를 종합하여 보면 성장기 동안 phytate를 과량으로 섭취할 경우 phytate의 Ca 대사에 대한 방해작용을 해결하고 정상적인 골격 발달을 위해서는 Ca 뿐만 아니라 Zn나 P 등의 다른 무기질들도 보충되어야 할 것으로 생각된다.

## Literature cited

- 1) Heaney RP. Calcium Bioavailability. *Contemporary Nutr* 11 : 1-2, 1986
- 2) 이일하. 비타민과 무기질의 연구 경향. *한국영양*

- 학회지 20 : 187-202, 1987
- 3) Food and Nutrition Board. Calcium In : Recommended Dietary Allowances. pp224-230, *National Academy of Sciences*, Washington, DC., 1989
  - 4) Matkovic V, Deknic D, Kostial K. Calcium, teenagers and osteoporosis. In : Roche AF, Crussler JD, Redfern DE. ed. *Osteoporosis : Current Concepts*, pp64-66, Ross Laboratories, OH, 1986
  - 5) Pollitzer WS, Anderson JJB. Ethnic and genetic differences in bone mass : a review with a hereditary vs environmental perspective. *Am J Clin Nutr* 50 : 1224-1259, 1989
  - 6) Hirota T, Nara M, Ohguri M, Mariago E, Hirota K. Effect of diet and lifestyle on bone mass in Asian young women. *Am J Clin Nutr* 55 : 1168-1173, 1992
  - 7) Allen LH. Calcium bioavailability and absorption : A review. *Am J Clin Nutr* 35 : 783-808, 1982
  - 8) Anderson JB. Dietary calcium and bone mass through the lifecycle. *Nutr Today* 25 : 9-14, 1990
  - 9) Leonnerdal B, Sandberg A-S, Sandstorm B, Kunz C. Inhibitory effects of phytic acid and other inositol phosphates on zinc and calcium absorption in suckling rats. *J Nutr* 119 : 211-214, 1989
  - 10) Cherian M. Phytic acid interactions in food systems. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 114 : 1192-1198, 1980
  - 11) 보건사회부. 국민영양 조사보고서. 1988
  - 12) Wise A. Dietary factors determining the biological activities of phytate. *Nutr Abst Rev Clin Nutr-Series A* 53(9) : 791-806, 1983
  - 13) Draper HH. Osteoporosis In : Draper HH, ed. *Advances in Nutritional Research Vol 7*, pp 172-186, Plenum Press, NY, 1985
  - 14) National Research Council Subcommittee on Laboratory Animal Nutrition. *Laboratory animal nutrition*. In : *Nutrition Requirements of Laboratory Animals No. 10*, pp7-37, National Academy Sciences, Washington, DC, 1978
  - 15) Helrich K. *Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, pp 916-917, Inc, VA, 1990
  - 16) Boyde CD, Cerklewski FL. Influence of type and level of dietary protein on fluoride. *J Nutr* 117 : 2086-2090, 1987
  - 17) Zar JH. *Two-factor analysis of variance*. In : *Biostatistical Analysis*, pp206-235, Prentice Hall, Inc, NJ, 1984
  - 18) Pike RL, Brown ML. Minerals and water. In : *Nutrition : An Integrated Approach*, pp166-198, John Wiley & Sons, NY, 1984
  - 19) Marcus R. Calcium intake and skeletal integrity : Is there a critical relationship? *J Nutr* 117 : 631-635, 1987
  - 20) Morris ER, Ellis R. Usefulness of the dietary phytic acid/zinc molar ratio as an index of zinc bioavailability to rats and humans. *Biol Trace Ele Res* 10 : 107-117, 1989
  - 21) Simpson CT, Wise A. Binding of zinc and calcium to inositol phosphates (phytate) *in vitro*. *Br J Nutr* 64 : 225-232, 1990
  - 22) Haek AC, Lemmens AG, mullink JWMA, Beynen AC. Influence of dietary Ca : P ratio on mineral excretion and nephrocalcinosis in female rats. *J Nutr* 118 : 1210-1216, 1988
  - 23) Mohammed A, Gibney MJ, Taylor LTG. The effects of dietary levels of inorganic phosphorous, calcium and cholecalciferol on the digestibility of phytate-P by the chick, *Br J Nutr* 66 : 251-259, 1991
  - 24) Notelovitz M. Lifestyle, exercise and osteoporosis. In : Driff JO, Studd JWW, ed. *HRT and Osteoporosis*, pp323-347, Springer-Verlag, NY, 1990