

나이가 다른 단계에서 식이단백질 수준이 흰쥐의 Ca 대사에 미치는 영향

이정아 · 장영애 · 김화영
이화여자대학교 가정과학대학 식품영양학과

The Effects of Age and Dietary Protein Level on Ca Metabolism in Rats

Lee, Jeong Ah · Jang, Young Ai · Kim, Wha Young
Department of Foods & Nutrition, Ewha Womans University, Seoul, Korea

ABSTRACT

To study the effects of the age and the dietary protein content on Ca metabolism, male rats of 1 month, 6 month, 12 month of age were fed experimental diets containing 5%, 15%, or 50% casein for 4 weeks. Food and Ca intake were higher in old rats and in high protein groups. The weight, ash, and Ca contents of femur and tibia were higher in old rats. The higher dietary protein level resulted in higher skeletal weight, ash and Ca contents. But high protein diet(50% casein) lead to reduced bone mineral density(ash/dry bone weight) and Ca density(Ca/dry bone weight) in 1 month old rats. Low protein diet(5% casein), on the other hand, reduced the bone growth, even though the bone density was higher in this group. The ill effect of low protein diet was not evident in 12 month old rats. Glomerular filtration rate(GFR) and urinary Ca excretion increased with age and with dietary protein level, especially in 12 months old rats. Serum immunoreactive parathyroid hormone(iPTH) level tended to be higher in aged rats but was not affected by dietary protein level, except 1 month old rats where 50% protein group showed significantly higher value.

This study showed that the dietary protein level seemed to have different effect on Ca metabolism in rats of different age. The low bone density in the high protein group of growing rats may be due to the higher iPTH level and increased urinary Ca. The dietary protein level, however, had no effects on the bone composition in aged rats, even though the higher urinary Ca excretion. In conclusion, this study suggests that the high protein intake from young may lead to less peak bone mass and to increase the bone loss in later years, which would increase the risk for osteoporosis.

KEY WORDS : dietary protein level · age · iPTH · GFR · urinary Ca · bone mineral · bone calcium.

서 론

중년이후에 흔히 나타나는 골다공증(osteoporosis)은 Ca 영양과 관련된 만성 질병이다. 골다공증의 원인으로서는 유전적 인자와 환경적 인자가 지적되고 있는데, 이중 환경적 인자로는 식이내용, 운동량, 흡연, 알코올 섭취량등이 논의되고 있다¹⁾²⁾. 골다공증은 오랜동안의 Ca 대사의 결과로 나타나므로 치료보다는 예방이 중요하다고 생각되며, 골다공증의 예방은 두가지 측면에서 연구되고 있다. 첫째로는 성숙기의 뼈의 무기질밀도(bone mineral density)가 높을수록 골다공증 발생율이 낮으므로³⁾ 성숙기의 뼈의 밀도를 증가시키는 방법이 모색되고 있으며, 둘째로는 중년이후 골격손실을 감소시키는 방안이 연구의 초점이 되고 있다.

골격형성 및 손실에 영향을 미치는 영양소로는 Ca 이 중요하다⁴⁾, 그 외에도 체내 Ca 대사에 영향을 미치는 식이 조건 중 단백질의 종류와 함량이 관심을 모아왔다⁵⁾⁶⁾⁷⁾. 단백질 함량이 골격 구성성분에 미치는 영향은 나이에 따라 다르게 나타나서 김혜영등⁵⁾은 성장기의 흰쥐는 고단백식이 골격 발달을 촉진시키나 골격의 성장이 끝난후에는 골격성분에 큰 변화를 주지 못한다고 보고한 바 있다.

그러나 많은 역학적 조사에 따르면 고단백식을 섭취하는 사람들중에 골다공증 환자가 많아 고단백식은 중년이후 골격손실을 촉진시킨다고 보고되고 있다⁶⁾⁷⁾.

그러므로 성숙기의 골격성장을 위해서는 충분한 양의 단백질을 섭취할 것을 권장하고 있으나 과다한 단백질 섭취는 hypercalciuria 를 초래하고 골격의 Ca 함량을 감소시키는 것으로 동물⁵⁾⁸⁾⁹⁾과 사람⁶⁾¹⁰⁾을 대상으로 한 많은 실험에서 보고되고 있다. 이러한 이유로는 고단백 섭취에 의한 사구체여과율(GFR)의 증가¹⁰⁾¹¹⁾, 신세뇨관의 Ca 재흡수의 감소¹⁰⁾¹²⁾ 등 신장기능의 변화가 논의되고 있으나 아직 확실한 기전은 밝혀지지 않고 있다.

조미숙등⁸⁾은 2개월과 13개월된 쥐를 5% 와 40% casein 식이로 12주간 사육했을때 고단백식은 두 나이군에서 모두 노 Ca 배설량을 증가시켰으나,

골격구성에 미치는 영향은 성장기의 쥐에서만 관찰할수 있어 40% 단백질에서 골격의 무게, 회분함량, Ca 함량이 더 높았다고 보고하였다. 또한 12개월된 쥐의 노 Ca 배설량이 높았는데 그 원인은 PTH 증가에 따른 골격용출(bone resorption) 증가와 사구체여과율 증가에 기인하는 것이라고 보았다.

위의 연구에서는 고·저 양극단의 식이 단백질 수준으로 공급하였을 때의 결과를 관찰하였으므로 본 실험은 고·저 단백질식이와 정상식이외를 비교하고자 시도되었다. 15%의 단백질 식이를 대조군으로 하여 5% 와 50% 단백질 식이가 나이가 다른 단계에서 흰쥐의 Ca 대사에 미치는 영향을 성장기에 있는쥐(1개월), 성숙기에 있는 쥐(6개월), 나이든 쥐(12개월)를 대상으로 하여 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물 및 식이

실험동물은 Sprague-Dawley 종의 나이가 1개월, 6개월, 12개월 된 쥐를 구입하여 각 나이별로 고단백군, 대조군, 저단백군으로 나누어 4주 동안 사육하였다. 따라서 실험군은 모두 9군으로 1개월된 쥐의 저단백군(1-LP), 대조군(1-CP), 고단백군(1-HP), 6개월 된 쥐의 저단백군(6-LP), 대조군(6-CP), 고단백군(6-HP), 12개월된 쥐의 저단백군(12-LP), 대조군(12-CP), 고단백군(12-HP) 등이고 각 군 당 실험동물의 마리수는 21마리였다. 이때 1개월, 6개월, 12개월된 쥐의 평균 체중은 각각 100.1±3.1g, 274.5±5.9g, 457.9±6.5g 이었다.

실험식은 Table 1과 같이 5%의 casein 을 포함한 저단백식이, 15%를 포함한 대조군식이, 50% casein 의 고단백식이의 3군으로 하였으며, 각 식이는 Ca을 0.6%, P를 0.4% 포함하도록 무기질 함량을 조절하였다.

각 실험동물은 한마리씩 분리하여 사육하였고 식이와 물은 제한없이 공급하였다. 실험기간동안 체중은 1주일에 한번씩, 식이 섭취량은 3일에 한번씩 측정하였다. 식이 섭취량으로부터 Ca 섭취량을 계산하였으며 변으로 배설된 Ca량을 빼서 Ca 흡수율과 흡수량을 구하였다.

Table 1. Composition of experimental diets. (g/kg diet)

	5% casein diet	15% casein diet	50% casein diet
Corn starch	798.92	699.78	352.80
Casein	50.00	150.00	500.00
Corn oil	100.00	100.00	100.00
Salt mixture ¹⁾	14.72	14.72	14.72
Vitamin mixture ²⁾	10.00	10.00	10.00
CaCO ₃	8.79	9.31	11.09
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	15.57	14.19	9.39
Choline chloride	2.00	2.00	2.00

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

2) Vitamin mixture(mg/kg diet) : Thiamin · HCl 600, Riboflavin 600, Pyridoxine · HCl 700, Nicotinic acid 3000, D-Calcium pantothenate 1600, Folic acid 200, Vitamin B₁₂ 1, Cholecalciferol 2.5, Menadione 5.0, Retinyl palmitate 400000IU Vit A activity, DL-tocopheryl acetate 50000IU Vit E activity

2. 실험방법

실험기간의 4주째에 흰쥐를 대사장에 옮겨 24시간 동안의 변과 뇨를 수집하였다. 변과 뇨를 수집할때 식이에 의한 오염이 항상 문제되었으므로 본 실험에서는 대사장에 식이그릇을 넣어주지 않았다. 그러므로 첫날은 오전 7시부터 오후 7시까지 대사장에서 뇨와 변을 채취한 후 사육장에 옮겨 식이를 공급하였고, 그 다음날은 오후 7시부터 오전 7시까지 12시간 동안 변과 뇨를 수집하여 합해서 24시간동안의 변과 뇨로 하였다. 4주의 실험기간이 지난후 흰쥐들을 12시간 굶긴후에 단두에 의해 희생시켰다.

신장과 골격의 무게는 희생직후 측정하였으며 골격의 마른무게는 105°C drying oven에서 항량이 될때까지 건조시켜 측정하였다. 골격은 750°C의 전기회화로에서 회화시켜 회분과 Ca 함량을 측정하였다.

변, 뇨, 골격의 Ca 함량은 이미 보고한 방법에 의하여⁵⁾ A.A.S.(Perkin Elmer Co. 2380)로 분석하였다¹³⁾. 뇨의 creatinine 함량은 Folins법¹⁴⁾에 의하

여, 혈액의 creatinine 함량은 Folin과 Wu¹⁵⁾의 방법에 의하여 분석하고 이것을 이용하여 creatinine clearance를 계산하여 사구체 여과율(GFR)을 구하였다¹¹⁾.

혈청내 immunoreactive parathyroid hormone (iPTH) 농도는 rat PTH-MM(mid-molecule parathyroid hormone) Kit(Incstar corp.)를 이용하여 radioimmunoassay 방법으로 분석하였다.

3. 자료처리

본 연구의 모든 결과는 각 실험군당 평균치와 표준오차를 구하였고 각 실험군 평균치간의 유의성을 $\alpha=0.05$ 수준에서 Scheffe' test 에 의하여 검정하였다.

또한 나이와 식이단백질 수준에 따른 효과와 두 요인간의 상호작용의 효과를 알아보기 위하여 $\alpha=0.05$ 수준에서 분산분석을 하였다¹⁶⁾.

결과 및 고찰

실험기간동안 식이섭취량은 1개월된 쥐가 6개월과 12개월된 쥐에 비하여 낮은 경향을 보였으며 5% 저단백군이 15% 대조군과 50% 고단백군에 비하여 낮았다. Ca 섭취량과 흡수된 양도 식이섭취량과 같은 경향으로 1개월된 5% 단백질에서만 낮았고 그외에는 식이에 따른 차이가 없었으나 어린 쥐가 성숙된 쥐와 나이든 쥐에 비하여 낮은 경향으로 선행 연구들⁵⁾⁸⁾과 같은 결과를 보였다.

체중변화는 5% 단백질군은 감소하였고 15%와 50% 군사이에는 유의적인 차이가 없었으나 고단백군에서 높은 경향을 보였는데 이러한 경향은 성장기에 있는 1개월된 쥐에서 더욱 현저하였다(Table 2).

혈청 Ca 농도는 나이와 식이의 영향을 받지않아 각 실험군간에 차이가 없었다. iPTH 농도는 나이가 증가함에 따라 증가하여 6개월과 12개월된 쥐가 1개월된 쥐에 비해 높았다(Table 3). 이러한 결과는 나이가 증가할수록 혈청 iPTH 가 증가한다고 보고한 다른 연구¹⁷⁾¹⁸⁾와 일치하고 있으며 이에 따라 나이가 증가할수록 골격 용출이 촉진될 수 있으

나리와 단백질에 따른 Ca대사

Table 2. Food intake, weight gain, Ca intake, and average Ca absorption of 1, 6, 12 month rats fed LP, CP, HP diet for 4 weeks¹⁾

Exp. Group ²⁾ age-casein (mo) level	Food intake (g)	Weight gain (g)	Ca intake (mg/day)	Avg. Ca absorption	
				(mg/day)	(%)
1-LP	323.85± 36.06 ^a	-3.16± 4.42 ^a	67.63± 5.14 ^a	41.51	61.3
1-CP	382.77± 11.58 ^{ab}	102.00± 7.57 ^{bc}	99.87± 6.24 ^b	63.64	63.7
1-HP	435.70± 11.01 ^{abc}	154.28± 8.54 ^c	109.41± 6.54 ^b	64.41	58.9
6-LP	453.82± 23.19 ^{bc}	-7.60± 17.07 ^a	114.84± 6.14 ^b	77.65	67.6
6-CP	552.48± 9.89 ^c	80.66± 12.18 ^b	118.63± 3.17 ^b	81.60	68.8
6-HP	502.50± 4.65 ^c	86.33± 13.70 ^b	120.35± 2.26 ^b	77.32	64.2
12-LP	538.06± 17.27 ^c	-16.86± 8.94 ^a	120.44± 2.46 ^b	78.68	65.3
12-CP	528.13± 29.30 ^c	19.14± 10.33 ^a	113.14± 4.79 ^b	75.23	66.5
12-HP	483.09± 19.99 ^{bc}	29.28± 10.31 ^{ab}	117.68± 4.17 ^b	72.04	61.2
Age effect ³⁾	p<0.05	p<0.05	p<0.05	- ⁴⁾	-
Dietary effect	p<0.05	p<0.05	p<0.05	-	-

1) Mean± S.E.

Value with different alphabet within the column were significantly different at $\alpha=0.05$ by Scheffe' test.

2) LP-5% casein diet, CP-15% casein diet, HP-50% casein diet

3) Statistical significance is calculated from group means based on 2-way ANOVA.

4) Statistical significance was not tested.

Table 3. Blood Ca contents and PTH levels¹⁾

Exp. Group	Blood Ca (mg/100ml)	PTH (pg/ml)
1-LP	6.22± 0.2 ^{NS}	55.58± 15.03 ^{NS}
1-CP	7.25± 0.2	50.34± 9.86
1-HP	6.77± 0.2	83.64± 14.19
6-LP	6.88± 0.4	99.62± 7.69
6-CP	6.53± 0.5	124.57± 23.40
6-HP	7.56± 0.3	78.22± 13.06
12-LP	6.79± 0.4	134.40± 20.22
12-CP	7.20± 0.2	97.69± 14.28
12-HP	6.54± 0.4	100.69± 18.16
Age effect ²⁾	NS	p<0.05
Dietary effect	NS	NS

1) Mean± S.E.

NS ; Not significant at $\alpha=0.05$ by Scheffe' test

2) Statistical significance is calculated from group means based on 2-way ANOVA.

리라고 생각된다. 식이 단백질 함량이 iPTH 에 미치는 일관된 경향은 없었으나 1개월된 쥐의 경우 고단백군의 iPTH가 대조군에 비하여 66%나 증가하였다. 그러나 이러한 경향은 6개월과 12개월된 쥐에서는 나타나지 않았다.

신장의 무게도 체중과 같이 나이가 증가함에 따라 증가하였고 고단백군에서 높았는데 이러한 식이의 영향은 성장기의 어린쥐에서 현저하였다. 뇨 Ca 배설량은 나이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다(Table 4). 모든 나이군에서 5% 저단백군의 Ca 배설량이 50% 고단백군보다 낮아서 선행의 연구결과와 일치하였다⁸⁾¹¹⁾. 그러나 고단백군을 대조군과 비교해보면 나이에 따라 반응이 달라서 고단백군 값이 1개월된 쥐에서는 대조군과 같았으며, 6개월된 쥐에서는 대조군보다 낮았고, 12개월된 쥐에서는 2.5배정도 높았다.

Creatinine clearance 로 측정된 사구체여과율은 나이가 증가할수록 증가하여 12개월된 쥐에서 가장

큰 값을 보였으며, 식이 단백질 수준에 따른 영향은 노 Ca 배설량과 같은 경향으로 저단백군이 고단백군보다 낮았다. 그러나 어린쥐와 성숙한 쥐에서는 대조군과 고단백군 사이에 차이가 없었고, 12개월된

쥐에서는 고단백군이 낮았다. 본 연구와 같은 식이로 1개월된 쥐를 6주간 사육한 실험에서도¹¹⁾ 고단백군의 사구체여과율과 노 Ca 배설량이 저단백군보다 높아 본 연구와 같은 결과를 보여주었다. 사구체여과율은 신장의 기능을 나타내는 지표로 동물이 노화함에 따라 감소한다고 보고되고 있으나¹⁹⁾ Sprague-Dawley 흰쥐의 경우 12개월까지는 사구체여과율이 계속 증가하는 것으로 보이며 이는 선행의 연구결과와⁸⁾ 같은 경향이다. 또한 사구체여과율은 고단백식에 의해서 증가한다고 보고되고 있다²⁰⁾.

뿐만 아니라 고단백 식이는 골격에서 Ca 용출을 촉진시키고 노 Ca 배설량을 증가시킨다고 보고되고 있다⁵⁾⁹⁾. 본 연구에서 소변으로의 Ca 배설량과 사구체여과율이 나이에 따라 증가하는 경향을 보였고, 고단백군에서 높았으므로, 나이나 식이 단백질 함량에 따른 노 Ca 배설량의 증가는 부분적으로 사구체여과율 증가에 기인한다고 볼 수 있다. 또한 iPTH 가 나이에 따라 증가하였으므로, PTH에 의한 골격 용출의 결과라고 볼 수 있었다. 그러나 이러한 반응들은 식이단백질 수준의 증가에 따라 직선적으로 반응하는 것이 아니고 대조군과 고단백군 사이의 차이는 비교적 적었다.

Table 4. Kidney weight, GFR, and urinary Ca¹⁾

Exp. Group	Kidney wt. (g)	GFR (ml/min)	Urinary Ca (mg/day)
1-LP	0.87±0.06 ^a	0.13±0.03 ^a	0.12±0.01 ^a
1-CP	1.55±0.07 ^a	0.43±0.08 ^a	0.23±0.04 ^a
1-HP	2.43±0.11 ^{bc}	0.38±0.04 ^a	0.22±0.04 ^a
6-LP	1.89±0.06 ^{bc}	0.29±0.04 ^a	0.25±0.02 ^a
6-CP	2.55±0.14 ^c	0.65±0.17 ^{ab}	0.65±0.09 ^b
6-HP	2.71±0.05 ^c	0.64±0.14 ^{ab}	0.43±0.07 ^{ab}
12-LP	2.95±0.12 ^c	0.77±0.16 ^{ab}	0.43±0.09 ^{ab}
12-CP	3.15±0.14 ^c	1.54±0.34 ^b	0.37±0.03 ^{ab}
12-HP	3.64±0.30 ^d	0.85±0.09 ^{ab}	0.91±0.04 ^c
Age effect ²⁾	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Dietary effect	p<0.05	p<0.05	p<0.05

1) Mean±S.E.

Value with different alphabet within the column were significantly different at α=0.05 by Scheffe' test.

2) Statistical significance is calculated from group means based on 2-way ANOVA.

Table 5. Composition of femur¹⁾

Exp. Group	Wet wt. (mg)	Dry wt. (mg)	Ash wt. (mg)	Ca content (mg)	Ash/dry wt (%)	Ca/dry wt (%)
1-LP	263.3±26.16 ^a	218.3±19.39 ^a	166.6±14.29 ^a	92.11±12.12 ^a	76.88±3.53 ^{NS}	38.68±2.45 ^c
1-CP	357.1±21.88 ^a	315.7±22.02 ^{ab}	237.1±18.47 ^a	106.20±1.39 ^a	75.65±4.67	35.68±2.87 ^{bc}
1-HP	490.0±20.23 ^{ab}	427.1±19.23 ^b	255.7±13.94 ^a	121.01±2.52 ^{ab}	60.72±4.71	28.54±1.06 ^b
6-LP	678.0±32.15 ^b	606.0±35.15 ^{bc}	388.0±22.22 ^{bc}	127.48±1.19 ^{ab}	64.32±3.24	21.24±1.06 ^{ab}
6-CP	720.0±27.80 ^{bc}	645.0±25.26 ^c	430.0±42.03 ^c	135.15±2.43 ^{bc}	66.55±5.66	21.03±0.68 ^{ab}
6-HP	763.3±20.11 ^{bc}	700.0±27.68 ^c	410.0±16.12 ^{bc}	146.20±3.18 ^{bc}	58.96±3.16	21.35±0.76 ^{ab}
12-LP	1010.0±40.88 ^d	894.2±34.90 ^d	571.4±28.73 ^{cd}	147.15±3.70 ^{bc}	63.81±1.58	16.00±0.64 ^a
12-CP	941.4±44.26 ^{cd}	862.8±38.40 ^d	614.2±31.53 ^d	151.65±2.95 ^c	71.22±2.40	17.70±0.71 ^a
12-HP	921.4±49.15 ^{bcd}	820.0±47.25 ^d	542.8±24.56 ^{cd}	151.47±4.40 ^c	67.18±4.33	18.68±0.78 ^a
Age effect ²⁾	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	NS	p<0.05
Dietary effect	p<0.05	p<0.05	NS	p<0.05	p<0.05	p<0.05

1) Mean±S.E.

Value with different alphabet within the column were significantly different at α=0.05 by Scheffe' test. NS ; Not significant at α=0.05 by Scheffe' test

2) Statistical significance is calculated from group means based on 2-way ANOVA.

나이와 단백질에 따른 Ca대사

Table 6. Composition of tibia¹⁾

Exp. Group	Wet wt. (mg)	Dry wt. (mg)	Ash wt. (mg)	Ca content (mg)	Ash/dry wt (%)	Ca/dry wt (%)
1-LP	241.6±24.14 ^a	210.0±20.33 ^a	153.3±11.45 ^a	77.26±5.24 ^a	74.40±4.75 ^{NS}	38.21±4.16 ^c
1-CP	354.2±19.13 ^a	298.5±16.53 ^{ab}	224.2±11.51 ^a	100.92±2.86 ^{ab}	75.58±3.82	34.54±1.88 ^c
1-HP	430.0±15.43 ^{ab}	380.0±18.25 ^b	278.5±19.44 ^{ab}	105.10±1.59 ^{ab}	73.04±2.73	28.07±1.60 ^{ab}
6-LP	556.0±21.58 ^b	510.0±25.29 ^b	320.0±23.45 ^{bc}	121.50±1.99 ^{cd}	62.50±1.97	24.72±1.42 ^{ab}
6-CP	600.0±24.08 ^c	518.3±15.58 ^{bc}	368.3±15.36 ^{bc}	125.40±1.61 ^{cd}	71.38±3.69	24.25±0.63 ^{ab}
6-HP	603.3±16.05 ^c	540.0±13.41 ^{bc}	388.3±19.90 ^c	124.50±1.98 ^{cd}	72.56±5.58	21.73±1.84 ^a
12-LP	810.0±24.97 ^d	738.5±22.40 ^d	474.2±15.23 ^d	135.70±1.60 ^d	64.34±1.99	18.41±0.49 ^a
12-CP	777.1±35.09 ^d	702.8±33.07 ^d	497.1±27.23 ^d	133.87±2.35 ^d	70.64±1.83	19.21±0.62 ^a
12-HP	810.0±36.25 ^d	734.2±29.90 ^d	520.0±5.34 ^d	116.71±2.13 ^d	71.21±2.43	16.02±0.73 ^a
Age effect ²⁾	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	NS	p<0.05
Dietary effect	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	NS	p<0.05

1) Mean±S.E.

Value with different alphabet within the column were significantly different at $\alpha=0.05$ by Scheffe' test.

NS ; Not significant at $\alpha=0.05$ by Scheffe' test.

2) Statistical significance is calculated from group means based on 2-way ANOVA.

대퇴골과 경골의 젖은무게, 마른무게, 회분함량, Ca 함량은 나이가 증가할수록 증가하였으며, 식이의 영향은 1개월된 쥐에서 현저하여 단백질함량이 높을수록 높았다(Table 5, 6). 그러나 이러한 결과는 성숙기의 쥐와 나이든 쥐에서는 현저하지 않아 식이 단백질이 골격 성장에 미치는 영향은 어린쥐에서만 찾아 볼 수 있었다. 이것을 단위 골격무게당 회분 함량(ash wt/dry wt)으로 환산하면 나이에 따른 차이가 없었고 대퇴골의 경우 식이의 영향을 받아 고단백군에서 낮은 경향을 보였다. 단위 골격무게당 Ca 함량(Ca wt/dry wt)은 나이가 증가할수록 감소하여 어린쥐에서 가장 높았다. 식이에 의한 영향은 어린쥐에서만 뚜렷하여 50% 고단백군이 대조군보다 낮았고 저단백군과 고단백군 사이에는 차이가 없었다(Fig. 1).

1개월된 어린쥐에서 50% 고단백 식이를 먹었을 때 골격의 무게는 증가했으나 무게에 대한 회분과 Ca 함량이 낮았는데 이것은 고단백군에서 PTH 수준의 증가로 골격 용출을 일으켜 노 Ca 배설에도 영향을 미치고 이것이 결론적으로 골격 Ca 함량을 감소시킨 결과로 나타났다고 생각된다. 그러므로 성장기의 쥐에서 고단백식이 골격의 유기물질

함유율을 증가시키는데 비해 무기물질 함유율은 오히려 감소시키는 것으로 볼 수 있어 골격밀도는 낮아진다고 말할 수 있겠다. 이와같은 고단백식을 성숙기까지 계속한다면 성숙기의 골격밀도도 고단백군에서 낮아질 수 있다고 사료된다. 성숙기의 골격밀도가 낮을수록 골다공증의 위험율이 증가한다고 보고되고³⁾ 있으므로 성장기의 고단백식은 골격건강에 역기능을 미친다고 볼 수 있다.

그러나 1개월된 쥐의 저단백군은 단백질 부족에 의한 신장기능 저하로 사구체여과율이 낮고 따라서 노 Ca 배설량이 낮았다. 이러한 결과가 골격구성에 영향을 미쳐 무기질과 Ca 함유율은 증가시키는 결과를 초래하였다고 본다. 그러나 전체적으로 골격성장이 매우 부진하였다.

6개월과 12개월된 쥐의 골격 단위무게당 Ca 함량이 감소한 것은 연령에 따른 iPTH 증가와 사구체여과율 증가로 인하여 골격 용출 증가와 노 Ca 증가의 결과로 해석된다. 그러나 뼈의 구성성분에는 각 실험군간에 차이가 나지 않았는데 이는 노 Ca 배설량이 식이에 의해 영향을 받았던 것과는 대조적으로 노의 Ca 증가가 뼈의 구성성분까지 영향을 미치지 못한 것으로 볼 수 있다.

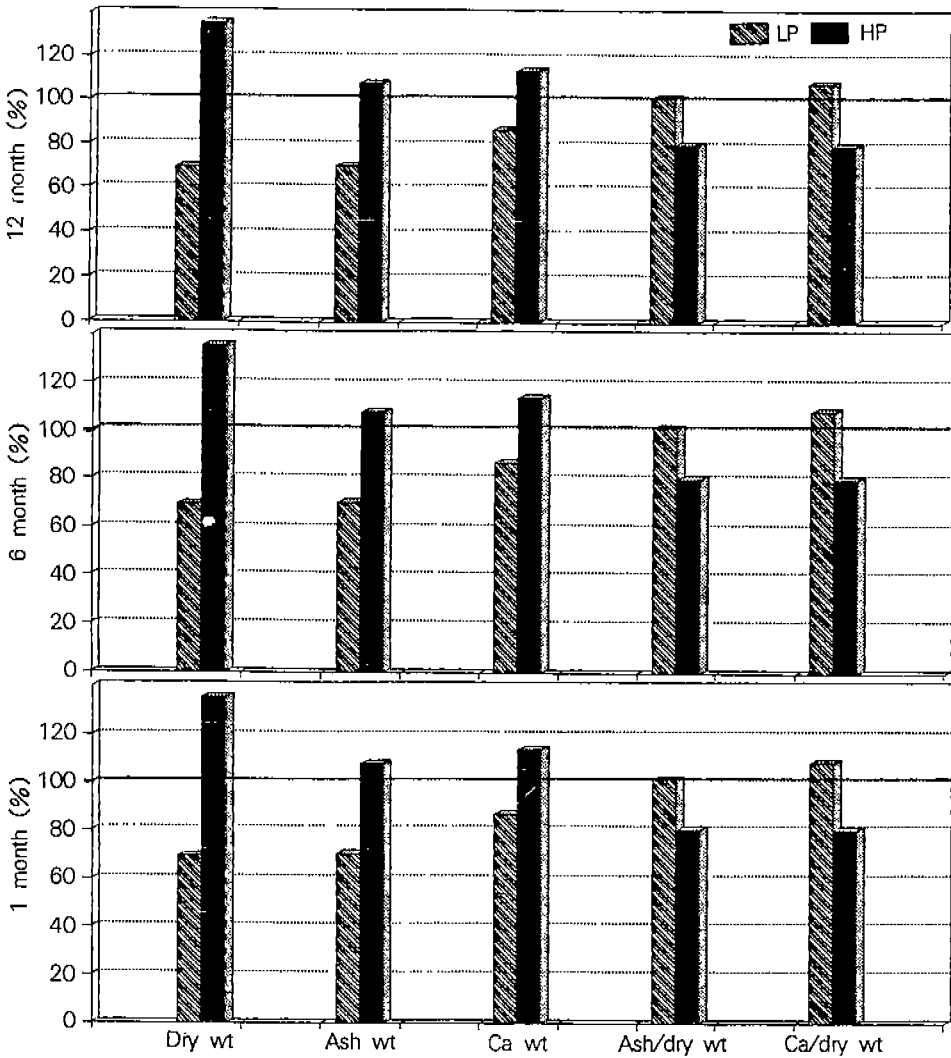


Fig. 1. Percentage of femur values of LP and HP groups relative to control rats at each age.

성장기는 뼈의 형성이 계속 진행되는 시기이므로 식이의 영향에 민감하게 반응하여 골격구성의 변화를 보였으나, 성숙한 동물에서는 뼈의 대사속도가 느려 4주의 짧은 실험기간으로는 노 Ca 증가의 효과가 뼈의 구성성분에 영향을 줄 수 없었던 것으로 보인다. 또한 대퇴골과 경골에 식이의 영향이 다소 다르게 나타났는데 이는 골격 종류에 따라 나이와 식이의 영향이 다른 것으로 보인다. 이와 같이 노화에 따른 골격손실이나 골다공증의 민감

도가 골격종류에 따라 다르다는 것이 보고되고 있으므로²¹⁾²²⁾ 식이가 골격구성에 미치는 영향을 연구하기 위한 적절한 골격종류의 선택이 중요하다고 생각된다.

결 론

본 연구 결과 식이 단백질 함량은 동물의 나이에 따라 체내 Ca대사에 미치는 영향이 다르게 나타

나이와 단백질에 따른 Ca대사

났다. 성장기 쥐에서는 식이 단백질 함량이 증가할수록 체중, 골격의 무게, 회분함량등이 증가하였다. 그러나 이러한 영향은 6개월과 12개월된 쥐에서는 찾아볼 수 없었다. 이것은 나이에 따른 Ca 대사 속도의 차이로 성숙한 동물에서는 단기간의 식이 단백질 영향이 뼈의 Ca함량에 영향을 주지 못하지만 성장기 동물에서는 식이에 좀 더 민감한 반응을 보여 뼈 Ca에 영향이 나타났다고 볼 수 있다.

고단백 식이는 성장기 쥐에서는 골격밀도를 낮추는 것을 볼 수 있었고 나이든 쥐에서는 노 Ca 배설을 증가시키는 경향을 보였다. 그러므로 어려서부터의 고단백 식이는 성숙기 최고 골격밀도를 감소시키는 결과를 초래하리라고 생각되며, 나이든 쥐에서도 노 Ca 증가로 인한 Ca 손실의 가능성을 보이고 있어 고단백 식이는 모든 나이군에서 골격건강에 역효과를 나타낸다고 보겠다.

반면 저단백식이는 어린쥐의 경우에는 성장부진을 초래하였고 성숙한 쥐에서도 체중감소등의 결과를 보였다. 골격성장도 부진하였는데 이와 같이 저단백식이 골격에 미치는 영향은 6개월된 쥐에서도 그 영향을 찾아볼 수 있어 골격의 무게, 회분과 Ca 함량 등이 낮은 편이었다. 그러나 12개월된 쥐에서는 이러한 영향이 없었다.

본 연구의 결과를 5%와 50% 단백질 수준만을 비교했을때는 고단백군에서 골격 건강에 부정적인 결과가 나왔으나 이것을 대조군과 비교했을 때는 식이단백질 수준에 따른 직선적인 반응을 보이지 않았다. 이러한 이유가 본 실험에서 대조군으로 사용한 15% casein 식이가 너무 높은 단백질 수준일수도 있을 것이고 혹은 어느수준 이상에서는 비슷한 반응을 보이는 역치효과가 있을 수도 있으리라고 사료된다. 그러므로 성장기에 최고 골격 밀도에 도달하고 그후 골격손실을 최소화 시킬 수 있는 적절한 단백질 수준에 대한 연구가 있어야 하겠다.

본 연구에서 식이가 골격에 미치는 영향이 대퇴골과 경골에 차이가 있었으므로 전체적인 골격 대사를 알아보기 위해서는 여러부위의 뼈를 조사해야 한다고 보겠다. 뿐만 아니라 식이 단백질 수준이 골격 건강에 미치는 영향을 연구하기 위해서는

어렸을 때부터 계속되는 장기간의 연구가 필요하다고 하겠다.

Literature cited

- 1) Anderson JJB. Dietary calcium and bone mass through the life cycle. *Nutr today* 25(2) : 9-14, 1990
- 2) National Daily Council. Calcium and osteoporosis : new insights. *Daily Council Digest* 63(1) : 1-6, 1992
- 3) 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 : 540-549, 1979
- 4) Dawson-Hughes B. Calcium supplementation and bone loss : A review of controlled clinical trials. *Am J Clin Nutr* 54 : 274S-280S, 1991
- 5) 김혜영 · 조미숙 · 김화영 · 김숙희. 식이 단백질의 종류와 수준이 연령이 다른 흰쥐에서 노 Ca 배설 및 뼈에 미치는 영향. *한국영양학회지* 19(1) : 66-73, 1984
- 6) Schuette SA, Zemel MB, Linkswiler HM. Studies on the mechanism of protein induced hypercalciuria in older men and women. *J Nutr* 110 : 305-315, 1980
- 7) Johnson NE, Alcantara EN, Linkswiler H. Effect of level protein intake on urinary and fecal calcium and calcium retention of young adult rats. *J Nutr* 100 : 1425-1430, 1970
- 8) 조미숙 · 최남순 · 김화영. 식이 단백질 수준이 어린 쥐와 나이든 쥐의 골격의 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 22(6) : 497-506, 1989
- 9) 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
- 10) Kim Y, Linkswiler HM. Effect of level of protein intake on Ca metabolism and parathyroid and renal function in the adult male. *J Nutr* 109 : 1390-1404, 1979
- 11) 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
- 12) Allen LH, Bartlett BS, Block GD. Reduction of renal calcium reabsorption in man by consumption

- of dietary protein. *J Nutr* 109 : 1345-1350, 1979
- 13) Perkin-Elmer corp. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Norwalk CT, 1976
- 14) Hawk PB Oser, BL Summerson WH. Practical physiological chemistry. New York MacGraw-Hill Book. pp 1040, 1965
- 15) Hawk PB Oser, BL Summerson WH. Practical physiological chemistry. New York MacGraw-Hill Book. pp 1027, 1965
- 16) Sjoerdsma A, Udenfriend S, Keiser H, Leroy EC. Clinical step conference : hydroxy-proline and collagen metabolism. *Ann Int Med* 63 : 672, 19 65
- 17) Wiske PS, Epstein S, Bell NH, Queener SF. Increase in immunoreactive parathyroid hormone with age. *N Engl J Med* 300 : 1419-1421
- 18) Kotowicz MA, Melton LJ, Cedel SL, O'fallon WN, Riggs BL. Effect of age on variables relating to calcium and phosphorus metabolism in women. *J bone Min Res* 5 : 345-352, 1990
- 19) Ludman D. Kidney senescence : A model for aging. *Nutr Rev* 46 : 209-214, 1988
- 20) Bosch JP, Saccagi A, Lauren A, Belledonne M, Glabman S. Renal functional reserve in humans ; effect of protein intake on glomerular filtration rate. *Am J Med* 75 : 943-950, 1983
- 21) Riggs BL, Melton LJ. Evolutional osteoporosis. *N Engl J Med* 314 : 1676-1686, 1986
- 22) Nelson ME, Fisher EC, Dilmanian FA, Dallal GE, Evans WJ. A 1-y walking program and increased dietary calcium in postmenapausal women : effects on bone. *Am J Clin Nutr* 53 : 1304