

## 운동 형태가 흰쥐의 뼈형성에 미치는 영향\*

홍희옥<sup>§</sup> · 이준혜 · 정동춘 · 소재무 · 나카또미 료이찌\*\*  
최의창 · 황금희 · 안의환 · 맹원재

건국대학교 부설 한국건강영양연구소, 동북대학교 의학대학원 스포츠의학과\*\*

### Influence of Various Types of Exercise on Bone Formation and Resorption in Rats\*

Hong, Heeok<sup>§</sup> · Lee, Joon-He · Chung, Dong-Choon  
So, Jae-Moo · Ryoichi Nagatomi\*\* · Choi, Eui-Chang  
Hwang, Gum-Hee · Ahn, Eui-Hwan · Maeng, Won-Jai

Konkuk University, Institute of Health and Nutrition, Seoul 143-701, Korea

Department of Medicine & Science in Sport & Exercise,\*\* Tohoku University Graduate School of Medicine,  
Sendai 980-8576, Japan

#### ABSTRACT

This study examined the effect of various types of exercise on bone formation and resorption in rat. Five-week-old male Sprague-Dawley rats were randomly assigned to one of four groups with 10 animals in each: Control, Treadmill, Swimming, Resistance. The exercise regimen consisted of treadmill running at 25m/min, 1 hr per day, 5 days a week, and swimming for 1 hr per day, 5 days a week. Resistant exercise type with weight-bearing was designed to extend lower and upper extremities in order to feed the diet and water. Food intake showed no significant difference among groups but body weight gain and food efficiency were significantly increased in Control group as compared with exercise groups. Femur and tibia length and weight were higher in Control group and the density of them tended to be higher in exercise groups than Control group, but this difference was not statistically significant. The breaking force of femur was the highest in Swimming group and tibia was the highest in Resistance group among groups, while there was no significant difference among the exercise groups. The calcium content of femur was significantly increased in Resistance group than the other groups. Calcium intake and urinary calcium showed no significant difference among groups, while calcium absorption and retention were significantly higher in exercise group than Control group. In conclusion, exercise training enhanced bone formation due to the positive effect on metabolism of calcium and bone which were different according to the types of exercise. (*Korean J Nutrition* 34(5) : 541~546, 2001)

**KEY WORDS:** bone formation, bone resorption, exercise, breaking force, calcium content.

## 서 론

뼈는 골아 세포(osteoblast)의 작용에 의한 뼈형성(bone formation)과 파골 세포(osteoclast)의 작용에 의한 뼈용출(bone resorption)이 평생 동안 끊임없이 일어나면서 골 밀도가 유지되는 활성 유지조직이다.<sup>1)</sup> 골밀도는 bone remodeling에 의하여 조절되는데 bone remodeling이 여러 가지 원인에 의해 균형이 깨어지면서 뼈형성 보다는 뼈용출

이 많아져서 초래되는 질병이 골다공증(osteoporosis)이다. 골다공증은 estrogen의 분비감소, 활동량의 부족, 칼슘의 섭취부족 등으로 인하여 유발된다고 한다.<sup>2,3)</sup> 따라서 일차적으로 골격 손실을 최소로 하고 이차적으로 골절을 예방하기 위하여 오래 전부터 많은 연구가 진행되었으며 또한 운동이 골밀도를 증가시킬 수 있는지, 연령 증가에 따른 골손실을 지연시키는데 효과적인지에 대하여 관심을 가져왔다.

몇몇 연구<sup>4,6)</sup>에 의하면 운동의 유형별에 따라 골밀도에 미치는 영향이 다양하게 나타나고 있다. 폐경 이후 여성에서 장기간의 수영을 한 여성의 요추 골밀도가 운동을 하지 않은 여성들에 비하여 유의하게 높았으며,<sup>7)</sup> 사춘 전기 여학생에게 20주 동안 체중 부하 운동과 에어로빅 운동을 실시하였을 때 운동을 하지 않은 여학생들에 비하여 운동 후 골밀

접수일 : 2001년 5월 2일

채택일 : 2001년 7월 10일

\*This work was supported by Korea Research Foundation Grant(KRF-99-005-100002).

<sup>§</sup>To whom correspondence should be addressed.

도와 골질량이 유의하게 증가하였다는 연구 결과가 있다.<sup>8)</sup> 뿐만 아니라 폐경 이후 여성에게 12주 동안 체중 부하운동을 실시하였을 때 대퇴골과 요추의 골밀도가 증가되었다고 한다.<sup>9)</sup> 그러나 이와는 달리 Sakamoto 등<sup>10)</sup>이 흰쥐에게 treadmill을 이용하여 운동을 시켰을 때 운동을 하지 않은 흰쥐와 비교하여 경골의 무게가 차이가 없었다고 보고하였고 또한 여자선수들을 대상으로 수영과 같은 유산소 운동이면서 체중 부하가 적은 운동을 실시하였을 때 골밀도 증가에 효과적이지 않았다는 연구결과도 있다.<sup>11)</sup>

이상과 같이 운동의 형태, 운동의 강도, 빈도 등이 골밀도에 영향을 미치는 효과에 대하여 아직까지 일치된 결과를 얻지 못하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 흰쥐에게 달리기, 수영, 그리고 체중 부하 운동을 실시하여 운동 유형별로 골대사에 미치는 영향을 검토하여 뼈 형성을 위한 최적의 운동 형태와 운동 강도를 알아보고자 하였으며 이를 통하여 골밀도 증진을 위한 운동 프로그램 개발의 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험 동물

5주령된 Sprague-Dawley계 수컷 40마리를 2주간 예비 사육을 실시 한 후 난괴법(randomized complete block design)으로 한 군당 10마리씩 4군으로 분류하여 Resistance exercise군은 특별히 고안된 resistance exercise cage에, 그리고 나머지 실험군들은 stainless-steel wire cage에 한 마리씩 분리하여 13주간 사육하였다. 실험동물 사육실 환경은 온도  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도  $65 \pm 5\%$ , 그리고 명암은 12시간 주기로(light: 7:00~19:00) 자동 유지되도록 하였다. 식이는 purina 실험용 사료를 사용하였으며 식이는 매일 일정한 시간에 급여하였으며, 물은 무제한으로 자유 급여하였다. 체중은 매주 1회 일정한 시간에 측정하였다.

### 2. 운동방법

#### 1) Treadmill

Motor treadmill(Jung Do Co., Korea)을 이용하여 1주일에 5일간 실시하였다. Treadmill의 적응을 위하여 실험 처음 1주간은 속도 5m/min로 10분, 2주째는 속도 10m/min로 10분, 3주째 4일간은 속도 10m/min로 15분, 3일간은 속도 15m/min로 30분, 4주째는 속도 15m/min로 40분, 5주째는 속도 20m/min, 시간 50분으로 운동속도와 시간을 차츰 늘려 갔으며 실험 6주째부터 실험 종료까지 7주간은 속도 25m/min로 60분씩 운동을 실시하였다.

#### 2) Swimming

물의 온도는  $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 가 유지되도록 하였으며 수영조의 깊이는 50cm로 한 마리당 수영 면적은  $960\text{cm}^2$ 이었다. 수영에 대한 적응을 위하여 실험 1주간은 10분간 수영을 실시하였으며 이 후 5주까지 매주 수영시간을 10분간씩 증가시켰다. 실험 6주째 부터 실험 종료까지 7주간은 60분간씩 1주일에 5일간 실시하였다.

#### 3) Resistant exercise

아랫다리에 체중을 싣고 상지와 하지가 신전된 상태에서 먹이를 먹을 수 있게 고안하였다. 즉, 아크릴을 재료로  $150 \times 250 \times 500\text{mm}$  크기의 cage를 만들어 사료와 물을 가스테인레스 망위에 놓아 먹도록 하여 resistant exercise를 실시하였으며 실험이 진행됨에 따라 실험동물의 성장을 고려하여 1cm씩 cage 높이를 증가시켰다. 실험 시작 시 cage의 높이는 26.5cm이었으며 실험 종료 시 31.5cm까지 증가시켰다.

### 3. 시료수집 및 분석방법

#### 1) 시료수집

혈액채취는 ethyl ether로 마취시킨 후 복부 동맥혈을 채취하여 3,000rpm,  $4^\circ\text{C}$ 에서 20분간 원심 분리하여 혈청을 얻었으며 분석 전까지  $-80^\circ\text{C}$ 에서 냉동 보관하였다. 혈액 채취 후 실험동물의 왼쪽과 오른쪽의 femur와 tibia를 각각 적출하여 뼈조직에 부착되어 있는 근육, 인대, 지방 등을 전부 제거한 후 무게와 길이를 측정하였다. 뼈의 강도는 Instron(Instron Universal Testing Instrument, Model 1000, cross head speed: 50mm/min, chart speed: 200mm/min, max. force of the load cell: 50kg)을 이용하여 길이 중심부위에서 일정하게 측정하였으며, 측정 후 냉동건조(freeze-dryer: USA)하여 건조무게를 측정하고 뼈를  $550\sim 600^\circ\text{C}$  회화로에서 8시간 회화하여 분석에 사용하였다.

노와 변은 실험 종료 전 2일간 수집하였으며 부피와 무게를 측정하고, 노는 5,000rpm,  $4^\circ\text{C}$ 에서 20분간 원심분리 한 후 상층액의 일정량을 취하여 냉동보관 하였으며 변은 냉동보관 하였다가 분석 전에  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 oven에서 건조시켜 건조 무게를 잰 후  $550^\circ\text{C}$ 의 회화로에서 5시간 회화시켜 생화학 분석에 사용하였다.

#### 2) 시료분석

혈청내 carboxyterminal propeptide of type I procollagen(P1CP) 함량은 type 1 procollagen P1CP RIA kit(Orion Diagnostica, Finland)를 사용하여 radio im-

munoassay(RIA)로 측정하였다. alkaline phosphatase (ALP)의 활성은 Kind-King 비색법을 이용한 kit(아산제약)를 사용하여 측정하였다.

혈청 칼슘과 인의 함량은 비색법에 의하여 Hitachi 7600-110(Hitachi, Japan)으로 흡광도를 측정하였으며 뼈중 칼슘과 인 그리고 뇨와 변중 칼슘 함량은 0.5%(w/v) Lanthanum용액으로 회석하여 원자흡광광도계(Perkin Elmer, USA)로 422.7nm에서 측정하였다. 뇨중 인 함량은 이온 제거수로 회석한 후 Molybdovanadate방법으로 비색정량 하였다. 뇨 10ml에 Molybdovanadate reagent 10ml을 첨가하여 실온에서 발색시킨 후 spectrophotometer (Kontron, Italy)를 사용하여 430nm에서 측정하였다. 변중 인의 함량은 뇨중 인과 동일한 방법으로 측정하였다.

뇨중 deoxy pyridinolin(DPD) 함량은 화학 발광 면역 분석법에 의한 competitive binding assay에 의해 DPD 측정용 시약 ACS : 180 DPD(CHIRON Co., USA)을 사용하여 측정하였다.

4. 통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 각 실험군별로 평균치와 표준오차를 구하였다. 각 실험군별 평균의 차이에 대한 통계적 유의성은 SAS program을 이용하여 각 실험군의 평균치간의 유의성 검증을 위하여 ANOVA를 시행하였으며, p < 0.05 수준에서 Duncan's multiple range test로 사후검증을 하였다.

Table 1. Food intake, weight gain and food efficiency<sup>1)</sup>

Group	Food intake	Weight gain	FER <sup>2)</sup>
Control	2319.27 ± 0.76 <sup>NS3)</sup>	259.73 ± 9.16 <sup>a)</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>a</sup>
Treadmill	2319.70 ± 0.65	223.19 ± 11.67 <sup>b)</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>b</sup>
Swimming	2320.44 ± 0.57	191.41 ± 6.53 <sup>c)</sup>	0.08 ± 0.00 <sup>c</sup>
Resistance	2318.93 ± 1.34	225.47 ± 7.35 <sup>b)</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>

1) Mean ± S.E.(n = 10)  
 2) FER(Food Efficiency Ratio): weight gain(g)/food intake(g)  
 3) NS: Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test  
 4) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Table 2. Length, weight and breaking force of femur

Group	Length <sup>1)</sup> (cm)	Wet weight <sup>2)</sup>		Dry weight		Breaking force <sup>3)</sup> (kg/gwet wt)
		(g)	(g/100g BW)	(g)	(g/100g BW)	
Control	3.98 ± 0.01 <sup>4a5)</sup>	1.25 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.00 <sup>NS6)</sup>	0.84 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.00 <sup>b</sup>	6.01 ± 0.08 <sup>b</sup>
Treadmill	3.96 ± 0.01 <sup>ab</sup>	1.18 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.26 ± 0.00	0.80 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>ab</sup>	6.38 ± 0.11 <sup>a</sup>
Swimming	3.90 ± 0.01 <sup>c</sup>	1.14 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.27 ± 0.01	0.78 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.00 <sup>a</sup>	6.65 ± 0.08 <sup>a</sup>
Resistance	3.91 ± 0.03 <sup>bc</sup>	1.16 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.01	0.82 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>ab</sup>	6.51 ± 0.13 <sup>a</sup>

1) Mean length of left and right femur  
 2) Mean weight of left and right femur  
 3) Mean breaking force of left and right femur  
 4) Mean ± S.E.(n = 10)  
 5) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test  
 6) NS: Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

실험결과 및 고찰

1. 식이 섭취량 및 체중 변화

실험동물의 식이 섭취량, 체중 변화 및 식이 효율은 Table 1과 같다. 식이 섭취량은 각 실험군 간에 유의한 차이가 없었으나 체중 증가량은 운동 형태에 따라 유의한 차이를 보여 Control군의 체중은 운동군들에 비하여 유의하게 높았고 운동군들 중에서는 Treadmill군이 Swimming군의 체중 보다 유의하게 높아서 운동의 종류에 따른 차이도 볼 수 있었다. 이는 운동으로 인하여 열량 소모량이 증가하면서 식이 효율의 감소를 초래하여 체중감소를 가지고 온 것으로 사료된다.

2. 뼈의 길이, 무게 및 구성 성분

Table 2에 나타낸바와 같이 대퇴골의 길이는 Swimming군과 Resistance군이 Control군에 비하여 유의하게 짧았으며 Control군과 Treadmill군 간에는 통계적인 차이가 없었다. 대퇴골의 젖은 무게는 Control군이 운동군들에 비하여 유의하게 높았으나 운동군들 간에는 유의한 차이가 없었다. 젖은 무게는 Control군, Treadmill군, Resistance군, Swimming군의 순으로 나타나 대퇴골의 길이가 큰 군은 젖은 무게도 큰 경향을 보였다. 건조무게 또한 Control군이 가장 높은 수치를 나타냈으며 Swimming군과는 유의한 차이를 나타내었다. 단위 체중 당으로 환산한 뼈의 젖은 무게는 물론 건조 무게에서 실험군들 간에 유의한 차이는 나타내지 않았으나 젖은 무게와 건조 무게가 가장 높았던 Control군이 가장 낮게 나타났다. 뼈의 강도는 Control군이 모든 운동군들에 비하여 유의적으로 낮게 나타났는데 단위 체중 당으로 환산한 뼈의 무게가 큰 군이 뼈의 강도도 높은 경향을 나타내어 Swimming군과 Resistance군이 가장 높았다. 한편 Treadmill군은 다른 운동군들에 비하여 길이가 유의적으로 길었는데 이는 성장기 흰쥐에게 달리기를 시켰을 때 대퇴경부의 크기가 운동을 시키지 않은 군에 비하

여 유의하게 증가 하였다는 결과<sup>12,13)</sup>와 일치하고 있다.

Table 3에 나타난 바와 같이 대퇴골 회분함량과 칼슘함량은 Resistance군이 다른 실험군들에 비하여 유의적으로 가장 높게 나타났다. 또한 대퇴골의 건조 무게 1g 중 칼슘함량도 Resistance군이 가장 높았으며 Swimming군 그리고 Treadmill군 순으로 나타났는데 운동군들 간에는 유의적인 차이가 없었다. 그러나 Control군은 Resistance군보다 유의하게 낮았다. 대퇴골의 총 인함량은 Resistance군이 Swimming군과 Control군에 비하여 유의하게 높았으며 대퇴골의 건조 무게 1g 중 인함량도 Resistance군이 다른 실험군들에 비하여 유의하게 가장 높았고 Control군이 가장 낮았다.

경골의 구성성분에 대한 결과는 Table 4에 나타나 있다. 경골의 길이는 대퇴골과 마찬가지로 Control군이 Treadmill군이 비슷하였으며 Swimming군과 Resistance군보다 유의하게 높았다. 경골의 젖은 무게는 Control군이 Swim-

ming군과 Resistance 군에 비하여 유의하게 컸고 운동군들 간에 유의적 차이는 없었다. 반면에 건조 무게는 실험군들 간에 유의적인 차이가 없었으나 Control군, Treadmill군, Swimming군, Resistance군 순으로 커서 경골의 길이가 큰 군이 젖은 무게와 건조 무게도 큰 경향을 보였다. 단위 체중 당으로 환산한 젖은 무게는 물론 건조 무게에서 길이와 건조 무게가 가장 낮았던 Swimming군이 가장 컸다. 뼈의 강도는 Resistance군, Swimming군, Treadmill군, Control군 순으로 높았으며 이중 Swimming군과 Resistance군은 Control군에 비하여 유의적으로 높았다. 성숙한 흰쥐에게 6주 동안 resistant exercise를 시킨 실험<sup>14)</sup>에서도 경골의 길이가 운동을 하지 않은 군에 비하여 낮게 나타났으나 경골의 구성성분 중 해면골의 두께와 치밀골의 크기가 Control군에 비하여 유의적으로 큰 것으로 나타나 Resistance군의 경골 길이가 Control군보다 유의적으로 낮았음에도 불구하고 단위 체중 당으로 환산한 뼈의 무게는 같

**Table 3.** Ash, calcium and phosphorus contents of femur

Group	Ash <sup>1)</sup>		Ca <sup>2)</sup>		P <sup>3)</sup>	
	(mg)	(mg/g dry wt)	(mg)	(mg/g dry wt)	(mg)	(mg/g dry wt)
Control	291.97 ± 6.40 <sup>4b5)</sup>	346.69 ± 3.10 <sup>c</sup>	183.86 ± 5.27 <sup>b</sup>	219.08 ± 7.36 <sup>b</sup>	83.27 ± 3.10 <sup>b</sup>	99.10 ± 3.57 <sup>c</sup>
Treadmill	295.73 ± 4.96 <sup>b</sup>	370.97 ± 1.45 <sup>b</sup>	180.01 ± 3.50 <sup>b</sup>	225.81 ± 2.74 <sup>ab</sup>	89.45 ± 2.79 <sup>ab</sup>	111.95 ± 1.55 <sup>b</sup>
Swimming	288.03 ± 4.29 <sup>b</sup>	367.54 ± 3.99 <sup>b</sup>	177.41 ± 3.28 <sup>b</sup>	226.30 ± 2.63 <sup>ab</sup>	86.03 ± 2.16 <sup>b</sup>	109.67 ± 1.74 <sup>b</sup>
Resistance	325.67 ± 5.93 <sup>a</sup>	399.45 ± 3.12 <sup>a</sup>	197.62 ± 4.24 <sup>a</sup>	243.46 ± 7.73 <sup>a</sup>	98.13 ± 3.37 <sup>a</sup>	120.11 ± 2.63 <sup>a</sup>

- 1) Mean ash of left and right femur
- 2) Mean calcium contents of left and right femur
- 3) Mean phosphorus contents of left and right femur
- 4) Mean ± S.E.(n = 10)
- 5) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

**Table 4.** Length, weight and breaking force of tibia

Group	Length <sup>1)</sup> (cm)	Wet weight <sup>2)</sup>		Dry weight		Breaking force <sup>3)</sup> (kg/gwet wt)
		(g)	(g/100g BW)	(g)	(g/100g BW)	
Control	4.41 ± 0.02 <sup>4a5)</sup>	0.94 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.19 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.64 ± 0.01 <sup>NS6)</sup>	0.13 ± 0.00 <sup>b</sup>	8.05 ± 0.15 <sup>b</sup>
Treadmill	4.38 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.89 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.20 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.62 ± 0.01	0.14 ± 0.00 <sup>ab</sup>	8.43 ± 0.14 <sup>ab</sup>
Swimming	4.29 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.88 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.01	0.14 ± 0.00 <sup>a</sup>	8.55 ± 0.12 <sup>a</sup>
Resistance	4.31 ± 0.02 <sup>bc</sup>	0.86 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.61 ± 0.02	0.13 ± 0.00 <sup>ab</sup>	8.82 ± 0.16 <sup>a</sup>

- 1) Mean length of left and right tibia
- 2) Mean weight of left and right tibia
- 3) Mean breaking force of left and right tibia
- 4) Mean ± S.E.(n = 10)
- 5) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
- 6) NS: Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

**Table 5.** Ash, calcium and phosphorus contents of tibia

Group	Ash <sup>1)</sup>		Ca <sup>2)</sup>		P <sup>3)</sup>	
	(mg)	(mg/g dry wt)	(mg)	(mg/g dry wt)	(mg)	(mg/g dry wt)
Control	225.43 ± 6.36 <sup>4b5)</sup>	351.05 ± 3.29 <sup>c</sup>	130.95 ± 4.01 <sup>NS6)</sup>	204.15 ± 4.29 <sup>NS</sup>	58.55 ± 2.11 <sup>NS</sup>	91.31 ± 2.69 <sup>b</sup>
Treadmill	235.00 ± 4.45 <sup>ab</sup>	379.44 ± 2.58 <sup>b</sup>	128.92 ± 1.38	208.55 ± 3.07	62.56 ± 1.14	101.32 ± 2.68 <sup>ab</sup>
Swimming	230.58 ± 3.62 <sup>ab</sup>	377.82 ± 2.23 <sup>b</sup>	127.15 ± 2.69	208.30 ± 3.51	62.83 ± 2.84	102.77 ± 4.14 <sup>a</sup>
Resistance	243.72 ± 5.16 <sup>a</sup>	398.67 ± 2.64 <sup>a</sup>	132.55 ± 5.01	216.72 ± 5.66	66.06 ± 2.74	108.05 ± 3.60 <sup>a</sup>

- 1) Mean ash of left and right tibia
- 2) Mean calcium contents of left and right tibia
- 3) Mean phosphorus contents of left and right tibia
- 4) Mean ± S.E.(n = 10)
- 5) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test
- 6) NS: Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

**Table 6.** Calcium intake, calcium excretion and calcium retention

Group	Ca intake (mg/day)	Fecal Ca excretion (mg/day)	Urinary Ca excretion (mg/day)	Ca retention (mg/day <sup>1)</sup> )	Apparent absorption Ca <sup>2</sup> (%)
Control	240.41 ± 3.34 <sup>3)NS4)</sup>	206.23 ± 16.48 <sup>5)</sup>	1.04 ± 0.26 <sup>NS</sup>	33.14 ± 15.52 <sup>b</sup>	14.41 ± 6.56 <sup>b</sup>
Treadmill	241.46 ± 5.81	129.80 ± 21.26 <sup>b</sup>	0.75 ± 0.15	110.91 ± 22.20 <sup>a</sup>	45.97 ± 8.74 <sup>a</sup>
Swimming	229.51 ± 12.51	104.76 ± 13.65 <sup>b</sup>	0.70 ± 0.10	124.05 ± 21.57 <sup>a</sup>	51.46 ± 8.25 <sup>a</sup>
Resistance	247.67 ± 5.05	136.92 ± 11.74 <sup>b</sup>	1.35 ± 0.40	109.29 ± 7.96 <sup>a</sup>	45.29 ± 4.03 <sup>a</sup>

1) Ca retention = Ca intake-fecal Ca excretion-urinary Ca excretion  
 2) Apparent absorption Ca = (Ca intake-fecal Ca excretion)/Ca intake × 100      3) Mean ± S.E.(n = 10)  
 4) NS: Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test  
 5) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

**Table 7.** Serum Ca concentration, ALP activity and P1CP, and urinary DPD concentration

Group	Ca(mg/dl)	ALP activity <sup>1)</sup> (K-A unit)	P1CP <sup>2)</sup> (µg/l)	UrinaryDPD <sup>3)</sup> (nmol/mmol Creatinine)
Control	9.60 ± 0.28 <sup>4)5)</sup>	20.68 ± 3.27 <sup>NS6)</sup>	19.13 ± 0.42 <sup>NS</sup>	210.83 ± 15.64 <sup>NS4)</sup>
Treadmill	9.30 ± 0.34 <sup>ab</sup>	24.16 ± 1.91	18.66 ± 0.56	201.41 ± 12.73
Swimming	8.49 ± 0.14 <sup>b</sup>	24.84 ± 1.39	18.46 ± 0.48	216.41 ± 43.86
Resistance	8.69 ± 0.23 <sup>b</sup>	25.38 ± 2.37	19.11 ± 0.48	156.14 ± 9.76

1) ALP means alkaline phosphatase      2) P1CP means carboxyterminal propeptide of type 1 procollagen  
 3) DPD means deoxypyridinoline      4) Mean ± S.E.(n = 10)  
 5) Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test  
 6) NS: Not significant at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

았으며 뼈의 강도는 Resistance군이 Control군 보다 유의적으로 높았던 본 실험결과와 일치한다.

경골의 회분함량, 칼슘함량, 그리고 인의 함량은 Table 5와 같다. 경골의 총 회분함량은 Control군이 가장 낮았으며 운동군들간에는 통계적으로 유의적인 차이가 없었으나 이들 중 Resistance군이 가장 높게 나타났다. 뿐만 아니라 칼슘 함량도 Resistance군이 가장 높게 나타났으나 유의적인 차이는 없었다. 경골의 인함량도 칼슘함량과 마찬가지로 실험군들간에 유의한 차이는 나타내지 않았으나 Resistance군이 가장 높게 나타났고 경골의 건조무게 1g중인의 함량은 Resistance군이 Control군에 비하여 유의하게 높았다.

**3. 칼슘의 배설량 및 평형**

Table 6에 나타난 바와 같이 1일 칼슘 섭취량과 뇨중 칼슘 배설량은 각 실험군간에 유의적인 차이가 없었으나 변중 칼슘 배설량은 Control군이 가장 많아 칼슘의 체내 흡수율이 가장 낮게 나타났으며 따라서 칼슘 보유량은 Control군이 운동군들에 비하여 유의적으로 낮았다. Heaney 등<sup>15)</sup>은 실험 결과 운동이 칼슘평형에 유의한 영향을 미치는 것 같다고 하였으며 또한 10주간 에어로빅 운동을 한 여대생들의 체내 칼슘 보유량이 증가하였다는 연구결과도 있다.<sup>16)</sup> 본 실험에서도 이와 일치되는 결과를 얻었는데 이는 성장기 흰쥐에게 있어 운동이 골대사를 활발하게 촉진시켜 칼슘의 체내 요구량을 증가 시키는 것으로 생각된다.

**4. 혈청 및 뇨의 성분**

뼈 형성의 biomarker인 혈청 내 ALP 활성과 P1CP 농

도를 측정한 결과를 Table 7에 제시하고 있다. ALP 활성은 각 실험군들 간에 유의한 차이가 없었으나 운동군들이 Control군에 비하여 다소 높은 경향을 나타내었으며, 운동군들에 있어서 ALP 활성은 Resistance군, Swimming군, Treadmill군 순으로 나타났다. 그리고 P1CP 농도는 모든 실험군들에서 비슷한 수치를 나타내었는데 Fujimura 등<sup>17)</sup>의 연구에서 운동군의 ALP 활성이 Control군에 비하여 유의적으로 증가한 반면에 P1CP 농도는 실험 초에 운동군에서 증가하다가 곧 baseline value로 회복되어 실험군 간에 차이가 없었다는 결과와 일치하고 있다.

DPD는 collagen과 cross-link하고 있는 분자로 뼈에 존재하며 뼈용출이 일어나게 되면 뼈로부터 유리되어 뇨를 통해 배설된다. 따라서 DPD 농도는 뼈용출의 지표로 사용되고 있는데, 본 실험에서 뇨중 DPD 농도는 각 실험군들 간에 유의적인 차이가 나타내지 않았으나 Resistance군이 가장 낮은 수치를 보였다.

**요약 및 결론**

본 연구는 운동 종류에 따라 체내의 칼슘대사와 골대사에 어떤 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 성장기 흰쥐에게 running, swimming, 그리고 resistant exercise를 13주 동안 실시하여 실험을 하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

식이 섭취량은 각 군간에 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 식이 효율과 체중 증가량은 Control군이 운동군들에

비하여 유의적으로 높았다.

대퇴골과 경골의 길이와 무게는 Control군이 운동군들에 비하여 유의적으로 높았으나 단위 체중 당으로 환산한 뼈무게와 강도는 운동군들이 높은 경향을 나타내었다. 특히 이들 운동군들 중 대퇴골의 강도는 Swimming군이, 경골의 강도는 Resistance군이 각각 가장 높았으나 운동군들 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 대퇴골의 회분함량과 칼슘과 인의 함량은 Resistance군이 다른 군에 비하여 유의적으로 높았다. 경골의 회분함량은 운동군들이 Control군에 비하여 유의하게 높았으며 칼슘과 인의 함량은 각 군간에 유의한 차이를 나타내지 않았으나 Resistance군이 높은 경향을 보였다.

칼슘 섭취량과 노중 칼슘 배설량은 각 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나 운동군들의 변 중 칼슘 배설량이 낮아 체내 칼슘 보유량이 Control군에 비하여 유의하게 높았다.

ALP 활성과 P1CP 농도는 각 군간에 유의한 차이는 없었으나 운동군들이 다소 높은 경향을 나타내었다. 노중 DPD 농도는 실험군들 간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나 Resistance군이 가장 낮은 값을 보였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 성장기 흰쥐에게 운동을 시켰을 때 골격형성에 유익한 효과를 주는 것이 관찰되었고 또한 운동 형태가 골격성장에 영향을 주는 것이 발견되어 운동종목에 따라 골대사가 다소 다르게 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 즉 운동은 뼈형성의 biomarker 인 ALP 활성을 증가시키고 뼈용출을 억제 시키므로 골대사를 활발하게 촉진하여 뼈형성을 촉진시킨다고 생각되며 운동 형태에 있어서 resistant exercise가 흰쥐의 대퇴골과 경골 형성에 보다 더 효과적이라 생각된다.

#### Literature cited

- 1) Ducey P, Amling M, Takeda S, and Priemel M. Leptin inhibits bone formation through a hypothalamic relay: a central control of bone mass. *Cell* 100:197-207, 2000
- 2) Petra JM, and Lips P. Long term effect of calcium supplementation reduces in perimenopausal women. *J Bone Miner Res(suppl)*:963-970
- 3) Hong H, Yu C. The effect of Ca and vitamin D supplementation on bone metabolism in postmenopausal women. *Korean J Nutrition* 27(10):1025-1036, 1994
- 4) Wolman R, Faulmann L, Clark P, Hesp R, and Harries M. Different training patterns and bone mineral density of femoral shaft in elite, female athletes. *Annals of Rheumatic Disease* 50:487-489, 1991
- 5) Bourrin S, Palle S, Pupier R, Vico L, and Alexandre C. Effects of physical training on bone adaptation in three zones of the rat tibia. *J Bone Miner Res* 10:1745-1752, 1995
- 6) Chen MM, Yeh JK, Aloia JF, Tierney JM, and Sprintz S. Effect of treadmill exercise on tibial cortical bone in aged female rats: a histomorphometry and dual energy X-ray absorptiometry study. *Bone* 15:313-319, 1994
- 7) Lee JG, Ahn ES. Swimming-induced influences on bone density of postmenopausal women, 93 The International Sport Symposium 262-270, 1993
- 8) Lee JW, Yang JH. The effect of resistant exercise and aerobic dancing on bone density in prepubertal girls. *The Korean Journal of Physical Education* 38(2):440-448, 1999
- 9) Jang JB. The effect of exercise types on bone density and bone metabolism in postmenopausal women, Thesis for the degree of Ph.D. Jeonnam university, 1997
- 10) Sakamoto K, and Grunewald KK. Beneficial effects of exercise on growth of rats during intermittent fasting. *J Nutri* 117:390-395, 1987
- 11) Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievanen H, Manttari A, and Vuori I. Bone mineral density of female athletes in different sports. *Bone Mineral* 23:1-14, 1993
- 12) Sogaard CH, Danielsen CC, Thorling EB, and Mosekilde L. Long-term exercise of young and adult female rats: effect on femoral neck biomechanical competence and bone structure. *J Bone Mine Res* 9:409-416, 1994
- 13) Iwamoto J, Yeh JK, and Aloia JF. Differential effect of treadmill exercise on three cancellous bone sites in the young growing rat. *Bone* 24:163-169, 1999
- 14) Westerlind KC, Fluckey JD, Gordon SE, Kraemer WJ, Farrell PA, and Turner RT. Effect of resistance exercise training on cortical and cancellous bone in mature male rats. *J Appl Physiol* 459-464, 1998
- 15) Heaney RP, Gallagher JC, Johnston CC, Neer R, Parfitt AM, and Whedon GD. Calcium nutrition and bone health in the elderly. *Am J Clin Nutr* 36:968-1013, 1982
- 16) Kim HS, Hong H, Kim K, Yu CH. The effect of aerobic dancing on lipid and Ca metabolism in college women. *Korean J Nutrition* 21(1):23-35, 1988
- 17) Fujimura R, Ashizawa N, Watanabe M, Mukai N, Mukai H, Fukubayashi T, Hayashi K, Tokuyama K, and Suzuki M. Effect of resistance exercise training on bone formation and resorption in young male subjects assessed by biomarkers of bone metabolism. *J Bone Miner Res* 12:656-662, 1997