

체중 부하 운동이 흰쥐의 골대사에 미치는 영향

홍 희 옥*§ · 맹 원 재**

상명대학교 생활환경학부 외식영양학과,* 뉴트리션뱅크리서치 연구소**

The Effects of Erect Bipedal Stance Exercise on Bone Formation and Resorption in Rats

Hong, Heeok*§ · Maeng, Won Jai**

Department of Food Service Management and Nutrition,* Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea
Nutrition Bank Research Institute,** Seoul 135-010, Korea

ABSTRACT

The effects of the erect bipedal stance exercise on bone mass and the biomarkers of bone formation and resorption were investigated in rats. Five-week old rats were assigned into control and exercise groups. The rats of exercise group were weight-bearing-trained for 13 weeks in the cage designed to adjust progressively the height from 26.5 cm to 31.5 cm to force the rats rising an erect bipedal stance for feeding and drinking. There was no significant difference in food intakes between two groups. But body weight gain was significantly increased in control group. The lengths of femur, tibia, humerus and radius were significantly longer in control group than exercise group, but the femur and tibia weights per body weight were significantly higher in exercise group than control group. Also the breaking force of femur and tibia in exercise group were higher than control group significantly. The calcium contents of femur and tibia were significantly increased in exercise group than control group. The activity of bone specific alkaline phosphatase (B-ALP) and the osteocalcin contents of serum (the biomarkers of bone formation) in exercise group were higher than control group, but the carboxyterminal propeptide of type I procollagen (PICP) contents of serum did not show any difference between two groups. However the urinary deoxypridinolin (DPD) excretion, biomarker of bone resorption, was significantly lower in exercise group than control group. From these results, it has been indicated that the erect bipedal stance exercise enhanced the density and the strength of femur and tibia by increasing biomarkers of bone formation and suppressing a biomarker of bone resorption in rats. (*Korean J Nutrition* 39(2): 109~114, 2006)

KEY WORDS : erect bipedal stance exercise, bone formation, bone resorption, B-ALP, osteocalcin, PICP, DPD.

서 론

골밀도는 bone remodeling에 의해서 조절되며 파골 세포에 의하여 뼈 용출이 먼저 일어나고 뒤이어 골아 세포에 의하여 뼈 형성이 일어난다. Bone remodeling의 이러한 두 단계는 골밀도를 유지하기 위해 평생 동안 연속적으로 끊임 없이 이어진다.¹⁾ 골 조직의 성숙은 일정 연령에서 일제히 이루어지는 것이 아니라 성장기 때에는 골흡수 (bone resorption) 보다는 골형성 (bone formation)이 더 많이 일어나 지속적으로 새로운 골격 조직이 형성되고 30~40세에 최

대 골질량 (peak bone mass)에 도달하게 된다.²⁾ 그 후 연령이 증가함에 따라 노화의 생리현상으로 골형성 보다는 골흡수가 더 많이 일어나 단위 용적 당 골질량의 감소를 초래하게 된다.^{3,4)}

이러한 골질량 감소의 원인으로 골다공증을 유발하게 되는데 골다공증은 여러가지 원인에 의해 bone remodeling의 균형이 깨어지면서 골형성보다는 골용출의 빈도가 높아져 초래되는 질병으로서 비정상적으로 골 밀도가 낮아지고 골절 위험이 높아진다.⁵⁾

골다공증의 원인으로는 칼슘섭취의 부족,⁶⁾ 노화에 따른 여성 호르몬의 분비저하,⁷⁾ 운동 부족⁸⁾ 등을 들 수 있으며, 골다공증은 골절이 발생할 때까지 뚜렷한 증상 없이 서서히 진행되며,⁹⁾ 뼈의 이상 증상이 나타난 이후에 식이요법과 약물 치료를 한다 하더라도 완전한 치료는 어렵다. 따라서 골다공증 발병 이후 치료하는 것보다는 발생 전에 예방하는 것

접수일 : 2005년 12월 30일

채택일 : 2006년 2월 2일

§ To whom correspondence should be addressed.

E-mail : Hhong@smu.ac.kr

이 바람직하다. 골다공증의 최선의 예방법은 성장기 동안에 최대 골질량을 극대화하고 골 손실 위험 인자를 감소시켜야 한다.¹⁰⁾ 또한 골손실을 지연시킬 수 있는 방법으로 운동을 들 수 있으며, 운동은 골밀도를 증가시키며 연령증가에 따른 골밀도 감소를 지연시킬 수 있다고 알려져 있다.¹¹⁾ 운동은 그 유형에 따라 골밀도에 미치는 영향이 다양하게 나타나며,¹²⁾ 수영과 같은 체중 부하가 적은 운동은 골밀도 증가에 크게 효과적이지 않으나 저항운동 부하는 성장기 동안 최대 골질량을 증가시켜 골다공증을 예방할 수 있다고 하였다.¹³⁾ 따라서 본 연구에서는 본 실험실에서 고안한 erect bipedal stance 운동 장치를 사용하여 흰쥐에게 13주간 erect bipedal stance¹⁴⁾ 운동을 실시하여 골대사에 미치는 효과를 규명하고 골다공증 예방을 위한 운동처방 프로그램 개발에 이용 할 수 있는 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험동물사육

본 실험은 16마리의 5주령된 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐를 사용하였으며, 사육실에서 2주간 환경적응을 위한 예비 사육을 실시한 후 난괴법 (randomized complete block design)으로 한 군에 8마리씩 2군으로 분류하여 control군은 stainless-steel wire cage에 그리고 exercise군은 물과 사료를 자유롭게 무제한으로 섭취할 수 있도록 고안하여 제작한 erect bipedal stance exercise cage에서 한 마리씩 분리하여 13주간 사육하였다. 실험동물 사육실 환경은 온도 $21 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $65 \pm 5\%$, 그리고 명암은 12시간 주기로 (light; 7 : 00 a.m.~7 : 00 p.m.) 자동 유지되도록 하였다. 전체 실험기간 동안 모든 실험 식이는 purina 실험용 쥐사료를 사용하였으며, 체중은 매주 1회 일정한 시간에 측정하였다.

2. 운동부하방법

운동은 Fig. 1과 같이 $150 \times 250 \times 500$ mm 크기의 아크릴 cage 상단에 7자 모양의 stainless 망을 얹고 그 위에 사료와 물을 놓아서 아랫다리에 체중을 싣고 몸체를 곧게 세워서 먹이를 먹을 수 있게 본 실험실에서 고안한 장치를 이용하여 실시하였으며, 실험이 진행됨에 따라 실험쥐들의 성장을 고려하여 1 cm씩 cage 높이를 증가시켰다. 실험 시작 시 cage의 높이는 26.5 cm이었으며 실험 종료 시 31.5 cm까지 증가시켰다. 실험 6주 후 digital video camera recorder (SONY, Japan)를 사육실내에 설치하여 24시간 동안 실험동물을 촬영하였고, 운동시간은 Timer (Se-

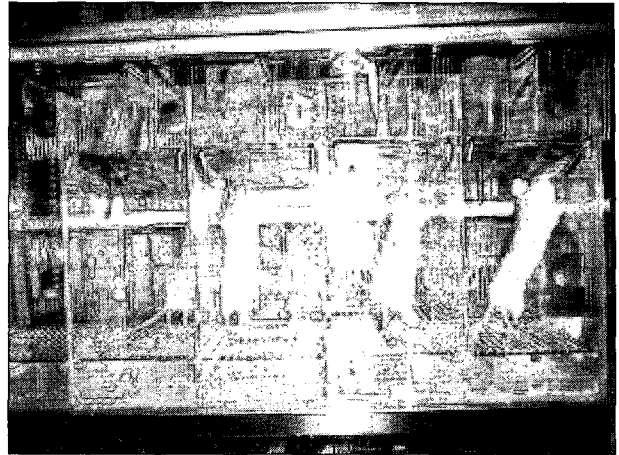


Fig. 1. Bipedal stance exercise apparatus.

iko, Japan)로 측정하였다.

3. 시료수집 및 분석방법

1) 시료 수집

실험 종료 후 12시간을 절식시키고 실험동물을 ethyl ether로 마취한 후 복부 동맥혈을 채취하였으며, 채취한 혈액은 3,000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 혈청을 얻었으며 분석 전까지 -80°C 에서 냉동 보관하였다.

혈액 채취 후 즉시 왼쪽과 오른쪽의 tibia, femur, humerus, radius 그리고 ulna를 각각 적출하여 골조직에 부착되어 있는 근육, 지방, 인대 등을 전부 제거한 후 무게, 길이를 측정하였다. 뼈의 강도는 Instron (Instron Universal Testing Instrument, model 1000, cross head speed: 50 mm/min, chart speed: 200 mm/min, max. force of the load cell: 50 kg)에 의하여 길이의 중심부위에서 일정하게 측정하였으며, 뼈의 강도를 측정한 후 25시간 냉동 건조 (freeze-dryer, U.S.A)시켜서 뼈를 $550\sim 600^\circ\text{C}$ 회화로에서 8시간 회화하여 분석에 이용하였다.

뇨는 실험 종료 전 2일간 수집하였으며, 부피를 측정한 후 5,000 rpm, 4°C 에서 20분간 원심분리 한 후 상층액의 일정량을 취하여 냉동 보관하였다.

2) 시료 분석

혈청 내 osteocalcin 함량은 osteocalcin 측정용 시약 (EISA-OSTEO, CIS, France)을 사용하여 immunoradiometric assay (IRMA)에 의해 gamma counter (Hewlett Packard, USA)로 측정하였고, carboxyterminal propeptide of type I procollagen (P1CP) 함량은 type I procollagen P1CP RIA kit (Orion Diagnostica, Finland)를 사용하여 radio immunoassay (RIA)에 의하여 gamma counter

(Hewlett Packard, USA)로 측정하였다. Bone specific alkaline phosphatase (B-ALP)의 활성도는 osteokinks (Sumito Seiyaku, Japan)을 사용하여 enzyme immunoassay (EIA)에 의하여 microplate reader (Bio Rad, USA)로 측

정하였다.

뼈의 칼슘과 인 함량은 0.5% (w/v) Lanthanum용액으로 희석하여 원자흡광도계 (Perkin Elmer, USA)로 422.7 nm에서 측정하였다.

노 중 creatinine 함량은 creatinine 측정용 시약 (DA-ICHI, Japan)을 사용하여 Hitachi 7600 - 110 (Hitachi, Japan)으로 측정하였다. 노 중 deoxypridinol (DPD)의 함량은 화학 발광 면역 분석법에 의한 competitive binding assay에 의하여 DPD 측정용 시약 ACS: 180 DPD (Chiron Co., USA)을 사용하여 측정하였다.

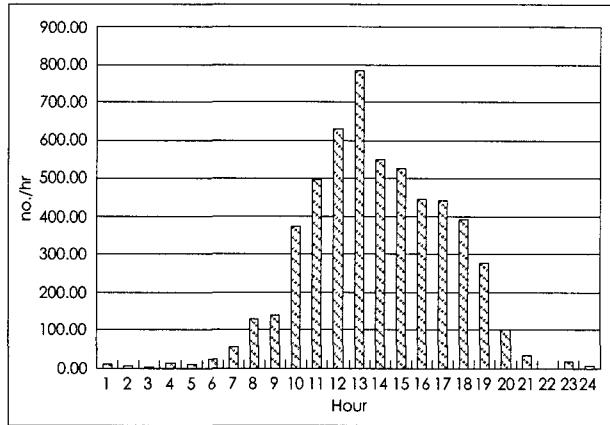


Fig. 2. Exercising time per day.

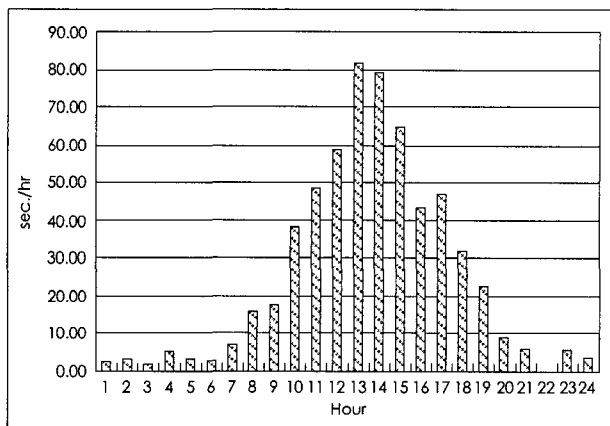


Fig. 3. Exercising frequency per day.

4. 통계분석

모든 실험결과는 SPSS (Statistical Package for Social Science) program을 사용하여 통계처리 하였으며, 실험결과는 실험군별로 평균과 표준오차 (mean ± SE)로 제시하였다. 실험군간의 유의성은 t-test로 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 운동시간과 빈도

운동시간은 Fig. 2에 나타냈으며 광주기에 8분 28초 그리고 암주기에 81분 32초간 운동한 것으로 측정되었다. 운동 빈도는 광주기에 64.5회이었고, 암주기에 531.5회로 측정되어 본 실험실에서 고안한 bipedal stance exercise 장치로 1일 89분 6초동안 596회에 걸쳐 운동을 충분히 하였다고 사료된다.

2. 식이섭취량, 체중 증가량 및 식이효율

Table 1에 나타난 바와 같이 control군과 exercise군의

Table 1. Food intakes, body weights, weight gains, and food efficiency ratios

Group	Variable	Food intake (g/d)	Final weight (g)	Weight gain (g/d)	FER ¹⁾
Control		25.32 ± 0.07 ²⁾	496.79 ± 5.90 ³⁾	2.85 ± 0.10*	0.11 ± 0.00*
Exercise		25.48 ± 0.01	458.64 ± 6.59	2.48 ± 0.08	0.10 ± 0.00

1) Food efficiency ratio (FER): weight gain (g)/food intake (g)

2) Mean ± S.E. (n = 8)

3) Values are significantly different at p < 0.05 by t-test

Table 2. Weights, lengths and breaking forces of bone in the hind legs

Group	Variable	Femur				Tibia			
		Weight (mg) ¹⁾	wt/BW (mg/g BW)	Length (cm) ²⁾	Breaking force ³⁾	Weight (mg) ⁴⁾	wt/BW (mg/gBW)	Length (cm) ⁵⁾	Breaking force ⁶⁾
Control		1202.25 ± 17.92 ^{7)NS}	2.42 ± 0.03	3.97 ± 0.02 ⁸⁾	6.01 ± 0.10	901.86 ± 13.65 ^{NS}	1.81 ± 0.02	4.38 ± 0.03*	8.03 ± 0.12
Exercise		1210.82 ± 20.33	2.64 ± 0.06*	3.91 ± 0.03	6.56 ± 0.12*	905.09 ± 14.07	1.98 ± 0.03*	4.27 ± 0.02	8.86 ± 0.14*

1) Mean weight of left and right femur

3) Mean breaking force of left and right femur

5) Mean length of left and right tibia

7) Mean ± S.E. (n = 8)

9) Values are significantly different at p < 0.05 by t-test

2) Mean length of left and right femur

4) Mean weight of left and right tibia

6) Mean breaking force of left and right tibia

8) NS: Not significant

식이섭취량이 거의 비슷한 수준이었음에도 불구하고 실험 종료 시 control군의 체중은 exercise군보다 유의하게 높았으며 ($p < 0.05$), 체중 증가량 또한 유의하게 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 이는 운동으로 인하여 열량 소모량이 증가하여 식이효율이 낮아져서 체중 감소를 가져온 것으로 사료된다.

3. 뼈의 무게, 길이, 강도 및 구성성분

Table 2와 3에 나타난 바와 같이 femur, tibia, humerus, radius 그리고 ulna의 무게는 실험군들간에 유의적 차이가 나타나지 않았으나 ulna를 제외한 나머지 뼈들의 길이는 control군이 exercise군에 비하여 유의적으로 길었다 ($p < 0.05$). 체중 당 골질량은 femur와 tibia 두 부위에서만 exercise군이 control군보다 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 이는 본 실험에서 사용된 운동 장치에 의하여 흰쥐들이 아랫다리에 체중을 싣고 몸체를 곧게 세워서 먹이와 물을 먹게 되므로 뒷다리에 체중부하가 많이 되었음을 알 수 있다. 한편 단위 체중 당으로 환산한 골질량이 클수록 뼈의 강도도 유의적으로 높았다는 연구 결과가 있다.¹⁵⁾ 따라서 본 실험에서는 체중 당 골질량이 유의적으로 높게 나타난 femur와 tibia의 두 부위를 선택하여 뼈의 강도와 칼슘함량 등을 분석하였다. femur과 tibia의 강도는 체중 당 골질량이 유의적으로 높았던 exercise군이 control군에 비하여 유의적으로 높게 나타나 ($p < 0.05$) 선행 연구 결과와 일치하였다.¹⁵⁾ 또한 저항운동을 흰쥐에게 6주간 시킨 실험¹⁶⁾에서도 tibia의 길이가 운동을 하지 않은 군에 비하여 낮게 나타났으나 구성성분 중 해면골의 두께와 치밀골의 크기가 운동군에서 유의적으로 높은 것으로 보고되어 exercise군의 경우 이들 부위 길이가 짧았음에도 불구하고 체중 당 골질량과 뼈의 강도가 유의적으로 높았던 본 실험결과와 일치하였다.

Femur과 tibia의 구성성분에 대한 결과는 Table 4에 나타나 있다. Femur와 tibia의 회분함량, 칼슘함량 그리고 인의 함량은 exercise군이 control군에 비하여 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). Jennifer 등¹⁷⁾의 보고에서도 여러 운동 중 특히 저항운동이 뼈에 물리적인 자극을 주어 뼈의 유지와 향상에 큰 도움이 된다고 하였다. 따라서 본 실험에서 실시한 erect bipedal stance exercise로 인하여 흰쥐 뒷다리 부위의 칼슘함량이 증가되고 따라서 뼈 강도도 증가된 것으로 생각된다.

4. 혈청 내 osteocalcin, P1CP 농도 및 Bone specific alkaline phosphatase (B-ALP) 활성

Table 5에서 보는 바와 같이 골형성의 biomarker인 혈

Table 3. Weights and lengths of bone in the fore legs

Variable	Humerus			Ulna			Radius		
	Weight (mg) ¹⁾	wt/BW (mg/g BW)	Length (cm) ²⁾	Weight (mg) ³⁾	wt/BW (mg/g BW)	Length (cm) ⁴⁾	Weight (mg) ⁵⁾	wt/BW (mg/gBW)	Length (cm) ⁶⁾
Control	520.96 ± 7.22 ^{7)NS}	1.05 ± 0.02 ^{NS}	3.10 ± 0.02 ^{8*)}	211.32 ± 3.47 ^{NS}	0.43 ± 0.01 ^{NS}	3.41 ± 0.02 ^{NS}	122.20 ± 3.30 ^{NS}	0.25 ± 0.01 ^{NS}	2.71 ± 0.02 [*]
Exercise	513.00 ± 6.00	1.10 ± 0.01	3.01 ± 0.01	205.70 ± 4.22	0.44 ± 0.01	3.33 ± 0.04	120.40 ± 2.16	0.26 ± 0.00	2.60 ± 0.03

1) Mean weight of left and right humerus
 2) Mean length of left and right humerus
 3) Mean weight of left and right ulna L
 4) Mean length of left and right ulna L
 5) Mean weight of left and right ulna S
 6) Mean length of left and right ulna S
 7) Mean ± S.E. (n = 8)
 8) NS: Not significant
 9) Values are significantly different at $p < 0.05$ by t-test

Table 4. Ash, calcium and phosphorus contents of femur and tibia

Group	Femur			Tibia		
	Ash (mg) ¹⁾	Ca (mg) ²⁾	P (mg) ³⁾	Ash (mg) ⁴⁾	Ca (mg) ⁵⁾	P (mg) ⁶⁾
Control	285.63 ± 4.22 ⁷⁾	179.61 ± 3.99	81.25 ± 3.21	221.48 ± 5.13	126.13 ± 5.10	54.49 ± 2.23
Exercise	328.74 ± 6.00 ⁸⁾	189.76 ± 4.28*	96.05 ± 2.98*	249.82 ± 4.32*	138.79 ± 4.69*	66.61 ± 3.01*

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 ash of left and right tibia
 5) Mean calcium contents of left and right tibia
 6) Mean phosphorus contents of left and right tibia
 7) Mean ± S.E. (n = 8)
 8) Values are significantly different at p < 0.05 by t-test

Table 5. The concentration of osteocalcin and P1CP and B-ALP activity of serum

Group	Osteocalcin (ng/mL)	P1CP (μg/L)	B-ALP (U/L)
Control	0.27 ± 0.05 ¹⁾	19.13 ± 0.44 ^{NS2)}	37.78 ± 6.51 ^{NS}
Exercise	0.42 ± 0.09 ³⁾	19.10 ± 0.50	38.72 ± 7.88

1) Mean ± SE (n = 8)
 2) NS: Not significant
 3) Values are significantly different at p < 0.05 by t-test

Table 6. The contents of creatinine and deoxypridinoline of urine

Group	Creatinine (mg/day)	DPD (nmol/mmol creatinine)
Control	7.43 ± 0.85 ^{1)2)NS}	209.28 ± 13.51 ³⁾
Exercise	9.16 ± 1.50	160.26 ± 9.19

1) Mean ± SE (n = 8)
 2) NS: Not significant
 3) Values are significantly different at p < 0.05 by t-test

청 내 osteocalcin의 농도는 exercise군이 control군에 비하여 유의적으로 높게 나타났다 (p < 0.05). 혈청 내 P1CP의 농도는 실험군들간에 차이가 없었는데 이는 쥐에게 erect bipedal stance 운동을 시켰을 경우 혈청 내 osteocalcin의 농도는 변화가 없었지만 혈중 P1CP의 농도는 뚜렷하게 감소하였다는 연구 결과¹⁴⁾와 일치하지 않았다. 그러나 다른 골형성의 biomarker인 B-ALP의 활성도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 control군보다 exercise군에서 약간 높은 경향을 나타냈으며 이는 Darby 등¹⁸⁾의 연구 결과와 일치하였다. Fujimura 등¹⁹⁾의 연구결과에서도 젊은 남성들에게 저항운동을 시킨 결과 B-ALP활성이 control군에 비하여 유의적으로 증가한 반면에 혈장 내 P1CP의 함량은 실험초에 exercise군에서 증가하다가 곧 baseline value로 회복되어 실험군 간에 차이가 없었다고 보고하였는데 이는 실험군들간에 P1CP 농도 차이가 없었던 본 실험 결과와 본 실험실에서 고안한 실험도구로 운동을 한 쥐들이 control군에 비하여 B-ALP 활성도가 다소 높게 나타난 결과와 일치하였다.

5. 뇨 중 creatinine과 deoxypridinoline (DPD)의 배설량

뇨 중 Creatinine은 Table 6에 나타난 바와 같이 exercise군이 control군에 비하여 다소 높게 나타났으나 통계적

으로 유의한 차이는 아니었으며 이는 Vergaehge 등²⁰⁾의 연구결과와 일치하였다.

뼈에 collagen과 결합되어 존재하는 DPD는 골용출이 일어날 때 뼈로부터 유리되어 뇨를 통하여 배설되므로 뇨중 DPD 농도는 골용출의 biomarker로 사용된다. 본 실험결과 exercise군의 뇨 중 DPD 농도가 control군에 비하여 유의적으로 낮았으며 (p < 0.05), 이는 몇몇 동물을 대상으로 한 연구들^{21,22)}에서 저항운동을 시켰을 때 파골세포의 활성이 억제되어 뇨 중 DPD 배설량이 감소되었다는 실험결과와 일치하였다. 따라서 흰쥐에게 있어서 저항운동이 골용출을 억제시키는데 도움이 되는 것으로 생각된다.

요약 및 결론

본 연구는 본 연구자가 고안한 erect bipedal stance exercise 장치를 이용하여 저항운동이 흰쥐의 골대사와 골질량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수컷 Sprague Dawley를 이용하여 13주간 실험을 하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

식이섭취량은 각 실험군들에서 비슷한 수준을 나타냈으나 실험 종료 시 체중과 체중 증가량은 control군이 exercise군에 비해 유의적으로 높았다.

골질량은 앞다리의 경우 control군이 exercise군보다 다소 높았으나 뒷다리의 경우 exercise군이 control군보다 약간 높았으며 뼈의 길이는 ulna를 제외한 나머지 부위가 exercise군에 비하여 control군이 유의적으로 길었다. Femur과 tibia의 체중 당으로 환산한 골질량과 강도는 exercise군이 control군에 비하여 유의적으로 높았으며 femur과 tibia의 회분 함량 및 칼슘과 인의 함량도 exercise군이 유의적으로 높았다.

골형성의 biomarker인 osteocalcin 농도는 exercise군이 control군에 비하여 유의적으로 높았으며 B-ALP활성도는 control군에 비하여 다소 높게 나타났다. 반면에 골용출의 biomarker인 뇨중 DPD농도는 exercise군에서 유의적으로 낮았다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 본 실험에서 이용한 erect bipedal stance exercise 장치가 흰쥐에게 있어서 저항운동의 효과를 가지고 있음을 확인하였고 이는 골격형성에 유익한 효과를 주는 것으로 관찰되었다. 즉, erect bipedal stance exercise가 골형성의 biomarker인 osteocalcin과 B-ALP 활성을 증가시킬 수 있으며 골용출의 biomarker인 DPD농도를 억제시킴으로써 골형성을 증진시키는 것으로 생각되고 특히 femur과 tibia형성에 보다 효과적이라 생각된다.

Literature cited

- 1) Dacy P, Amling M, Takeda S, Priemel M. Leptin inhibits bone formation through a hypothalamic relay: a central control of bone mass. *Cell* 100: 197-207, 2000
- 2) Hansson T, Ross B. Age change in the bone mineral density of lumbar spine in normal women. *Calcif Tissue Int* 38: 328-332, 1984
- 3) Liang CT, Barnes J, Seedor JG, Quartuccio HA, Bolander M, Jeffrey JJ, Rodam GA. Impaired bone activity in aged rats: alterations at the cellular and molecular levels. *Bone* 13: 435-441, 1992
- 4) Inoue K, Ohguchi H, Yoshikawa T, Okumura M, Sempuku T, Tamai S, Dohi Y. The effect of aging on bone formation in porous hydroxyapatite: biochemical and histological analysis. *J Bone Miner Res* 12: 989-994, 1997
- 5) Consensus Development Conference: Diagnosis, prophylaxis and treatment of osteoporosis: a review. *Am J Med* Jun 94(6): 646-650, 1993
- 6) Petra JM, Lips P. Long term effect of calcium supplementation-reduces in perimenopausal women. *J Bone Miner Res* (suppl): 963-970, 1994
- 7) Yoo HJ. Nutritional problems in the elderly patients. *Korean J Nutrition* 27(6): 666-674, 1994
- 8) Aloia JF, Cohn SH, Ostuni JA, Ellis K. Prevention of evaluational bone loss by exercise. *Annals of Internal Medicine* 89: 356-358, 1978
- 9) Lee HJ, Kim MJ. The effect of nutrient intake and energy expenditure on bone mineral density of Korean women in Taegu. *Korean J Nutrition* 29(6): 622-633, 1996
- 10) Sandler RB, Slemenda C, Laporte RE. Postmenopausal bonedensity and milk consumption in children and adolescence. *Am J Clin Nutr* 42: 270-274 1985
- 11) Karlsson M, Johnell O, Obrant K. Bone mineral density in weight lifter. *Calcif Tissue Int* 52: 212-215, 1993
- 12) Wolman R, Faulmann L, Clark P, Hesp R, Harries M. Different training patterns and bone mineral density of the femoral shaft in elite female athletes. *Annals of Rheumatic Diseases* 50: 487-489, 1991
- 13) Layne JE, Nelson ME. The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Med Sci Sports Exerc* 31(1): 25-30, 1999
- 14) Forst HM. Erect bipedal stance exercise partially prevents orchidectomy-induced bone loss in the lumbar vertebrae of rats. *Bone* 27(5): 667-675, 2000
- 15) Hong H, Lee JH, Chung DC, So JM, Ryoichi N, Choi EC, Hwang GH, Ahn EH, Maeng WJ. Influence of various types of exercise on bone formation and resorption in rats. *Korean J Nutrition* 34(4): 541-546, 2001
- 16) Westerland KC, Fluckey JD, Gordon SE, Kraemer WJ, Farrell PA, Turner RT. Effect of resistance exercise training on cortical and cancellous bone in mature male rats. *J Appl Physiol*, pp. 459-464, 1998
- 17) Jennifer EL, Miriam EN. The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Med Sci Sports Exerc* 31(1): 25-30, 1999
- 18) Darby LA, Pohlman RL, Lechner AJ. Increased bone calcium following endurance exercise in the mature female rat. *Laboratory Animal Science* 35(4): 382-386, 1985
- 19) Fujimura R, Ashizawa N, Watanabe M, Mukai N, Amagai H, Fukubayashi T, Hayashi K, Tokuyama K, 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(4): 656-662, 1997
- 20) Vergaehge J, Thomsen TS, Bree R, Herck E, Mosekilde LI. Effects of exercise and disuse on bone remodeling, bone mass, and biomechanical competence in spontaneously diabetic female rats. *Bone* 27(2): 249-256, 2000
- 21) Chambers TJ, Evans M, Gardner TN, Turner SA, Chow JW. Induction of bone formation in rat tail vertebrae by mechanical loading. *Bone Miner* 20: 167-178, 1993
- 22) Hillam RA, Skerry TM. Inhibition of bone resorption and stimulation of formation by mechanical loading of the modeling rat ulna in vivo. *J Bone Miner Res* 10: 683-689, 1995