

초경전 여아에서 운동의 기계적 스트레인과 칼슘섭취량에 따른 발꿈치뼈 골밀도의 분포

신은경, 김기숙, 김희영, 이인숙¹⁾, 정효지, 조성일
서울대학교 보건대학원 및 보건환경 연구소, 서울대학교 간호대학²⁾

Distribution of Calcaneal Bone Density According to the Mechanical Strain of Exercise and Calcium Intake in Premenarcheal Girls

Eun-Kyung Shin, Ki-Suk Kim, Hee-Young Kim, In-Sook Lee¹⁾, Hyo-jee Joung, Sung-Il Cho

School of Public Health and Institute of Health and Environment,
College of Nursing²⁾, Seoul National University

Objectives : The effects of exercise on bone density have been found to be inconsistent in previous studies. We conducted a cross-sectional study in premenarcheal girls to test two hypotheses to explain these inconsistencies. Firstly, "the intensity of mechanical strain, in terms of the ground reaction force(GRF), has more important effects on the bone mass at a weight-bearing site", and secondly, "calcium intake modifies the bone response to exercise".

Methods : The areal bone mineral density was measured at the Os calcis, using peripheral dual energy X-ray absorptiometry, in 91 premenarcheal girls aged between 9 and 12 years. The intensity of mechanical strain of exercise was assessed by a self-report questionnaire and scored by the GRF as multiples of body weight, irrespective of the frequency and duration of exercise. The energy and calcium intake were calculated from the 24-hour dietary recall. An analysis of covariance(ANCOVA) was used to determine the interaction and main effects of exercise and calcium on the bone density, after adjusting for age, weight,

height and energy intake.

Results : The difference in the bone density between moderate and low impact exercise was more pronounced in the high than low calcium intake group. The bone density for moderate impact exercise and high calcium intake was significantly higher than that for low impact exercise ($p=0.046$) and low calcium intake, after adjusting for age, weight, height and energy intake.

Conclusions : Our study suggests that the bone density at a weight-bearing site is positively related to the intensity of mechanical loading exercise, and the calcium intake may modify the bone response to exercise at the loaded site in premenarcheal girls.

J Prev Med Public Health 2005;38(3):291-297

Key words : Bone density, Calcaneus, Exercise, Strain, Calcium

서론

20세 이전에 거의 형성되는 최대 골량(peak bone mass)이 골다공증의 중요한 결정인자로 알려지면서 [1], 소아 및 청소년기의 골량 증진에 관심이 높아지고 있다. 특히 골량 증진에 가장 효과적인 시기는 초경 전, 혹은 성성숙이 일어나기 바로 전 단계로 알려져 있다. 또한 이 시기는 골크기도 같이 증가하므로 골량에 비해 다소 증가폭이 작기는 하나, 골밀도 역시 같은 방향의 증가폭을 보인다 [2]. 이에 따라 Anderson 등은 사춘기 전 여아를 골다공증

예방사업의 우선 대상으로 할 것을 강조하고 있다 [3].

최대 골량을 결정하는 요인으로, 유전적인 요인을 제외한 나머지 30-40% 가량은 환경 요인이 작용하는 것으로 보고 있다 [4]. 환경 요인은 생활 습관에 대한 교육 및 홍보로써 개선될 수 있기 때문에 골다공증 예방에 있어 가장 중요한 분야라 할 수 있다. 이에 따라 환경 요인, 특히 식이나 신체활동(physical activity)에 대한 연구들이 많이 진행되어, 운동 [5,6]이나 칼슘섭취 [7]가 골량을 증가시키는데 영향을 미친다는 결과가 발표되고 있다. 그러나 이

들이 골량 혹은 골밀도에 미치는 효과의 크기나 방향에 대해 연구마다 일치되지 않고 있어, 아직 뚜렷한 결론을 내지는 못하고 있다. 연구 결과가 엇갈리는 이유는 측정 골 부위나 측정 장비, 식이 섭취량이나 신체활동 측정 등 연구방법의 차이, 영양소 흡수율 등 개인별 차이, 유전-환경 혹은 환경 요인간의 교호 작용 등 다양한 가능성을 고려해 볼 수 있다. 이 중 본 연구는 다음 두 가지 사항을 중심으로 알아보 고자 한다.

첫째, 기계적 스트레인(mechanical strain) 강도에 따른 운동 효과이다. 골밀도와 운동의 관련성을 조사한 연구에서, 운동량 측정은 심박동수나 도보계(pedometer)등

접수: 2004년 10월 5일, 채택: 2005년 2월 19일

이 연구는 2002년 국립독성연구원 용역연구개발사업의 지원으로 수행되었음.

책임저자: 조성일(서울중로구 연건동 28, 전화: 02-740-8868, 팩스: 02-747-7062, E-mail: scho@snu.ac.kr)

기구를 사용하기도 하지만, 대부분은 편의상 혹은 장기간의 운동량을 측정하기 위해 설문을 이용하는 경우가 많다. 그동안 신체활동을 평가하는 설문 도구들이 많이 개발되어 왔는데, 이들 대부분은 주로 비만이나 심폐기능과 관련하여 에너지 대사량을 평가하는 목적으로 사용되고 있다. 그러나 골밀도와 관련하여서는 에너지 대사량보다 기계적 스트레인이 골형성에 직접적으로 관련 있는 것으로 알려지고 있다 [8]. 따라서 기존 설문에서 사용하는 지표로 골밀도에 대한 운동의 효과를 충분히 반영하기는 어렵다고 보인다. 이에 본 연구는 운동의 기계적 스트레인 강도가 골밀도에 미치는 영향을 알아봄으로써, 이것이 골밀도에 대한 운동의 노출지표로서 의의가 있는 지 살펴보고자 한다.

둘째, 칼슘 섭취와 운동과의 교호작용이다. 운동이나 칼슘 섭취 각각이 골밀도에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 있어왔으나, 이들의 교호작용을 분석한 연구는 많지 않았다. Specker 등 [9]은 메타분석을 통해, 대상자의 칼슘 섭취량에 따라 신체 활동이 골밀도에 미치는 영향이 다른 것으로 미루어 골밀도에 대한 신체 활동과 칼슘 섭취간의 교호작용을 제기하였다. 이들의 교호작용이 골량에 영향을 미친다면, 칼슘이나 운동이 연구마다 다른 효과를 보인 이유의 하나로 설명될 수 있을 것이다. 또한 골다공증 예방을 위한 기존의 운동지침이나 칼슘권장량에 중요하게 고려해야 할 부분이 될 수 있다. 이에 본 연구는 앞서 언급한 운동의 효과와 함께 칼슘 섭취량과의 교호작용이 골밀도에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

경기도 일개 초등학교 4, 5, 6학년 중, 사전에 조사 요청을 승낙한 학년별 2개 학급 여학생 142명에서 골밀도 검사를 실시하였다. 초경 전 여아를 연구 대상으로 하였으므로 이미 초경이 시작된 28명은 분석에서 제외하였다. 비정상 발육 상태인 대상자를 제외하기 위해, 연령별 신체발육 표

준치 [10]를 기준으로 각 연령별 체중과 신장이 상 하위 각 1 percentile에 속하는 8명도 제외하였다. 또한 식이섭취 및 운동관련 설문 문항에 응답이 미비한 15명을 제외시켰다. 흡연, 음주 및 골밀도에 영향을 줄 수 있는 약물 복용 혹은 만성 질병을 가진 제외 기준에는 해당자가 없었으므로, 최종 분석 대상자는 총 91명이었다.

2. 골밀도

골밀도 측정 부위는 우측 발꿈치뼈(Os calcis)로 하였다. 골밀도 측정기는 이중 에너지 X-선 흡수법 (Dual energy X-ray Absorptiometry, DXA)을 이용해, 발꿈치뼈나 요골 말단을 측정할 수 있는 기기를 사용하였다(PIXI®, Lunar Corp., Medison, WI). 이 기기는 대퇴 경부나 요추골 부위를 DXA 방식으로 측정할 골밀도에 대해 0.61~0.64 정도의 예측치를 가지며, 정밀도(CV%)는 1.2~1.6% 인 것으로 보고 있다 [11]. 관심 영역(region of interest, ROI)은 골밀도 측정기와 연결된 컴퓨터 소프트웨어(version 1.47.008)에 의해 자동으로 감지되도록 되어 있다. 관심 영역에서 엑스선이 투과된 골 무기질량(bone mineral content, BMC, grams)이 측정되며, 이를 투과 단면적(projected area, cm²)으로 나눈 면적 골밀도(areal bone mineral density, BMD, g/cm²)가 산출된다. 검사는 신발을 벗고 맨발 혹은 금속성 없는 양말을 신고 측정하였다.

3. 선별

일반 설문은 훈련된 설문원이 각 문항마다 대상자에게 설명을 해준 뒤 대상자가 직접 기재하도록 하였다. 식이 및 운동외의 골밀도 관련 환경 요인을 배제하기 위해 흡연력, 음주력, 약물 복용 여부 및 약물명, 과거 및 현재 질병력을 조사하였다. 성숙도 평가는 Tanner stage 5단계의 특징적인 그림과 설명 [12]을 보여주고, 설문원이 설명한 후 대상자 본인이 기재하였다.

식이조사는 1일 회상법을 이용하였다. 조사당일 하루 전날 섭취한 모든 식품의 종류와 양을 자가로 기록하게 한 다음, 훈련된 조사원과의 면접을 통해 확인조사하였다. 섭취한 식품의 양을 회상하는 데

도움이 되도록 실물크기의 식품모형과 사진을 이용하였다. 조사된 음식 및 식품의 종류와 양은 한국영양학회 식품성분표 7 차개정판 [13]을 토대로 DS24 프로그램을 이용하여 영양소별 섭취량을 환산하였다. 본 분석에서는 이중 총 열량과 칼슘의 섭취량을 사용하였다.

운동에 대한 설문으로는 현재 하고 있는 운동의 종류, 빈도, 소요시간 및 기간을 조사하였다. 조사당일부터 1개월 이상 전부터, 주당 1회 이상, 1회 5분 이상이라도 현재 운동을 하고 있는 군과, 이에 해당하지 않는 비운동군으로 분류하였다. 각 운동은 Groothausen 등 [14]이 제안한 분류에 따라 4단계의 운동 강도로 나누었다. 이 방법은 문헌검색을 통해 조사된 각 운동의 지면반발력(ground reaction force)을 스트레인 점수로 분류한 것이다. 즉, 각 운동의 지면 반발력이 체중의 4배를 넘는 경우 3점, 2-4배는 2점, 1-2배는 1점, 그 이하는 지면에 대한 충격이 거의 없는 0점으로 분류된다. 여기서 지면반발력이란 지면에 닿을 때 체중이 지면에 가해진 힘만큼 우리 몸에 다시 전달되는 힘으로서, 운동 시 뼈에 작용하는 기계적 스트레인을 평가하는 척도로 사용된다. 이 분류에 따르면, 농구나 기계체조 등 점프 동작이 포함된 운동은 가장 높은 3점, 배드민턴이나 테니스 등 달리기나 회전동작이 포함된 운동은 2점, 조깅과 같은 체중부하 운동은 1점, 그 밖의 자전거 타기나 수영 등은 0점에 해당한다. 이 때, 개인별 운동 종류가 2가지 이상인 경우 지면반발력이 가장 큰 운동을 선택하였으며, 운동의 소요시간이나 빈도, 운동을 시작한 기간 등은 운동강도에 포함시키지 않았다. 이 방법은 네덜란드 연구 그룹(AGAHLs)이 신체활동의 기계적 요소를 파악하는 설문(MECHPA)에서 사용되고 있다 [15,16].

또한 조사시점으로부터 지난 1년 동안의 하루 평균 도보시간을 조사하였다. 이는 일상생활의 체중 부하 활동량을 반영하는 것으로, 스트레인 강도가 낮지만 일정한 강도가 유지되므로, 운동의 스트레인 강도에 대한 효과와 비교하기 위해 사용하였다. 이하 운동의 기계적 스트레인 강도

Table 1. Distribution of body size measurements, bone mineral density(BMD), daily energy and calcium intakes, and impact level of exercise and daily walking time (n=91)

Variables	Mean	SD [†]
Age(year)	11.0	0.9
Height(cm)	143.4	7.4
Weight(kg)	36.5	6.6
BMI(kg/m ²)	17.7	2.3
BMD(g/cm ²)	0.422	0.058
Energy(kcal)	1952.3	491.9
Calcium(mg)	653.0	258.4

Variables	N	%
Impact level of exercise [*]		
No exercise	29	31.9
Low	36	39.6
Moderate	26	28.6
Walking time(min)		
≤ 30	21	23.1
30 - 60	46	50.6
> 60	24	26.4

^{*} Classified by estimated mechanical strain from ground reaction force(see text)
[†] Standard deviation

는 운동강도(Impact level of exercise)로 기술한다.

4. 통계 분석

열량섭취량은 정규 분포를 위해 로그 치환하여 연속형변수로 사용하였다. 칼슘섭취량에 있어서는 체내 칼슘 균형의 역치 및 칼슘 섭취량의 변동을 고려하여 선형의 양-반응 관계보다는 섭취량의 중앙값

에서 이분한 두 집단의 차이를 조사 하였다. 즉 상위 이분위를 고칼슘섭취 (high calcium intake), 하위 이분위를 저칼슘섭취 (low calcium intake) 군으로 나누어 비교하였다.

일일 평균 도보 시간은 대상자 분포에 따라 30분 이하, 30-60분 이하, 60분 이상으로 나누었다. 운동에 있어서는 운동강도가 가장 높은 3점에 해당하는 대상자가 없었으므로, 운동을 하지 않는 비운동군(no exercise), 운동강도가 낮은 저강도(low)운동군, 중강도(moderate)운동군 등 세 가지 수준에서 비교하였다.

칼슘 섭취량, 도보시간, 운동강도에 따른 골밀도 평균을 각 수준에 따라 Duncan의 분산분석(ANOVA)으로 비교하였다. 또한 골밀도에 대한 영향을 줄 수 있는 것으로 알려진 연령, 체중 및 신장과 열량섭취량의 효과를 제어한 후, 칼슘 섭취량 및 운동강도 각각의 주요 효과(main effect) 및 칼슘 섭취량과 운동강도간의 교호작용을 분석하기 위해 SAS(version 8.1) 통계프로그램의 PROC GLM을 사용하여 공분산분석(ANCOVA)을 실시하였다. 각 운동강도와 칼슘 섭취량 수준에 따른 평균 골밀도의 차이를 검정하기 위해 LSMEANS를 사용하였다. 통계적 유의수준은 0.05로 하였다.

Table 2. Crude and adjusted means for bone mineral density(BMD, g/cm²) by calcium intake

Calcium intake	Crude		Adjusted [*]	
	Mean	SE [†]	Mean	SE
Low	0.410	0.008	0.414	0.007
High	0.435	0.008	0.431	0.007

^{*} Adjusted for age, body weight, height and logarithm of energy
[†] Standard error

Table 3. Crude and adjusted means for bone mineral density(BMD, g/cm²) by impact level of exercise and daily walking time

	Crude		Adjusted [*]	
	Mean	SE [†]	Mean	SE
Impact level of exercise [†]				
No exercise	0.416	0.011	0.417	0.009
Low	0.418	0.010	0.417	0.008
Moderate	0.435	0.011	0.435	0.010
Walking time(min/day)				
≤ 30	0.420	0.013	0.424	0.010
30 - 60	0.421	0.009	0.419	0.007
> 60	0.426	0.012	0.426	0.010

^{*} Adjusted for age, body weight and height; [†] Standard error
[†] Classified by estimated mechanical strain from ground reaction force(see text)

결과

Table 1에서 연구 대상자의 연령, 신체 계측치, 골밀도와 열량 및 칼슘 섭취량의 평균 및 운동강도와 하루 평균 도보시간의 분포를 제시하였다. 골밀도 평균(±표준편차)은 0.422(±0.058) g/cm² 이었다. 운동 종류에 따라서는, 저강도운동을 하는 대상자가 가장 많았으며, 비운동군과 중강도운동을 하는 대상자는 비슷한 분포를 보였다. 하루 평균 도보시간은 30~60분 사이가 가장 많았다.

저강도운동군과 중강도운동군간의 운동의 빈도, 소요시간 및 기간에 차이가 있는지 보기 위해 Student's t-test로 비교하였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으며, 본 결과에는 포함시키지 않았다.

Table 2에서 칼슘섭취가 높은 군과 낮은 군의 골밀도를 비교하였다. 단순 비교에서는 고칼슘섭취군의 평균 골밀도가 통계적으로 유의하게 높았다 (p=0.04). 연령, 체중, 신장 및 열량섭취량을 보정한 후에도 고칼슘섭취군이 저칼슘섭취군보다 높은 골밀도를 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 (p=0.13).

Table 3에서 운동강도 및 평균 도보시간으로 나눈 각 집단의 골밀도를 비교하였다. 비운동군에 비해 저강도운동군 (p=0.92)에서 중강도운동군 (p=0.24)으로 갈수록 골밀도가 높았으며, 연령, 체중 및 신장을 보정한 후에도 비운동군에 비해 저강도운동군 (p=0.96)에서 중강도운동군 (p=0.18)으로 갈수록 골밀도가 높은 경향을 보였다. 그러나 각 단계 간에 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 평균 도보시간으로 나눈 경우에는 도보시간이 길수록 골밀도 평균이 높았으나, 연령과 체중을 보정한 후에는 일정한 경향을 보이지 않았다.

Figure 1은 연령, 체중, 신장 및 열량섭취량을 보정 후, 칼슘섭취량과 운동 강도에 따라 각 집단별 평균 골밀도의 차이를 비교하였다. 칼슘 섭취가 낮은 집단에서는, 비운동과 저강도운동군의 골밀도 차이(A-B)는 0.001 g/cm²로 거의 없었던 반면, 비운동군과 저강도운동군의 골밀도 차이(A-C)는 0.013 g/cm²로 (A-B)보다 컸다. 칼슘 섭

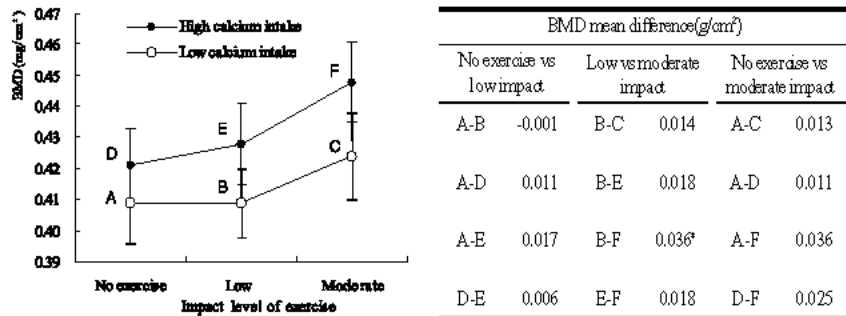


Figure 1. Adjusted mean difference for bone mineral density(BMD, g/cm²) between impact level of exercise in low and high calcium intake groups; (Adjusted for age, body weight, height and logarithm of energy)

*p<0.05

취가 높은 집단에서는, 비운동군과 중강도운동군의 골밀도 차이(D-F)는 0.025 g/cm² 로, 비운동군과 저강도운동군의 골밀도 차이(D-E)보다 컸다. 칼슘섭취가 낮은 군에 비해, 섭취가 높은 군이 운동강도에 따른 증가폭이 더 컸다.

운동강도와 칼슘 섭취량에 따라 두 집단씩 비교한 결과를 제시했다. 먼저, 저칼슘 비운동군(A)의 골밀도를 기준으로, 저칼슘 저강도운동과의 차이(A-B)와 고칼슘 비운동군과 차이(A-D)를 합한 값보다, 고칼슘 저강도운동과 차이(A-E)가 더 컸다. 두 번째는 저칼슘 저강도운동(B)을 기준으로, 저칼슘 중강도운동과의 차이(B-C)와 고칼슘 저강도운동과의 골밀도 차이(B-E)를 합한 것보다 고칼슘 중강도운동과의 차이(B-F)가 더 컸으며, 이 차이(B-F)는 통계적으로 유의하였다(p=0.046). 세 번째는 저칼슘 비운동(A)의 골밀도를 기준으로, 저칼슘 중강도운동과 차이(A-C)와 고칼슘 비운동 군과 차이(A-D)를 합한 값보다, 고칼슘 중강도운동과 차이(A-F)가 더 컸으나, 이 차이(A-F)가 통계적으로 유의하지는 않았다(p=0.066).

고찰

운동의 기계적 스트레인강도와 골밀도의 관련성

운동을 하지 않는 군과 저강도 운동의 골밀도는 별 차이가 없었으나, 이들에 비해 중강도 운동의 골밀도는 비교적 높은 경향을 나타냈다. 이러한 운동의 스트레인강도와 골밀도의 관련성을 설명하기 위해서, 기존의 연구들을 살펴볼 필요가 있다.

우선, 운동이 뼈에 영향을 주는 기전은 다음과 같다. 기계적인 자극은 뼈의 순간적인 변형(strain)을 일으킨다. 이때의 스트레인과 뼈의 적응반응에 대해 Frost 등은 'mechanostat theory' 이라는 이론을 제시하였다 [17]. 즉 생리적 범위내의 스트레인에서는 일정하게 골량을 유지하지만, 스트레인이 증가하게 되면 골생성이 늘어나면서 골량이 증가한다. 반대로 생리적 최소 유효 스트레인(minimal effective strain) 이하로 떨어지면 골재흡수가 골생성보다 증가하게 되면서 골량이 감소한다는 것이다.

그렇다면 운동으로 발생하는 스트레인의 크기로만 뼈에 미치는 운동의 효과를 평가할 수 있는가? 실제 골 모델링에서는 스트레인의 크기뿐 아니라 스트레인의 양상도 고려해야 한다. 예를 들면 변화속도가 빠른 동적 스트레인은 골의 적응과정에 영향을 주지만, 정적이거나 느린 스트레인에는 골 적응과정이 작동하지 않는다 [18].

한편, 운동의 스트레인 크기나 순간적 변화속도에 비해 스트레인 작용기간은 골형성 과정에서 중요하게 작용하지 않을 것으로 생각되고 있다. 한 추적 조사 연구 [15]에 따르면, 사춘기 초기에 했던 운동종목에 따라 성인이 되었을 때 골밀도의 차이를 보였지만, 운동에 소요한 시간은 유의하지 않았다. 발꿈치뼈에 대한 연구 [19]에서도 운동의 자극 횟수보다는 자극 강도가 골량에 큰 영향을 보였다. 기계적 자극을 감지하고 반응하는 골세포가 기계적 자극에 곧 탈감각화 된다는 동물실험결과 [20]도 이러한 가설을 지지하는 소견으로

볼수 있다.

본 연구에서도 운동의 스트레인 강도와 대비되는 변수로서, 일일도보시간에 따른 골밀도 변화도 같이 관찰하였다. 도보는 스트레인 강도가 적은 체중 부하 운동으로, 일상생활에서의 활동량을 반영한다. 누구나 비슷한 강도로 노출되지만 걷는 시간은 사람마다 차이가 있으므로, 노출 기간에 따른 골밀도와의 양-반응관계를 볼수 있다. 분석 결과, 걷는 시간에 대해서는 골밀도와 일정한 경향을 보이지 않았다. 다른 연구에서 도보계로 하루 동안 걷는 걸음걸이 수를 분석한 경우에도, 도보량과 발꿈치뼈 골밀도의 관련성은 보이지 않았다 [21]. 이는 스트레인 강도에 따른 골밀도 효과와 달리, 운동기간은 골밀도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 초음파로 발꿈치뼈 골밀도를 분석한 연구에서는 하루 만이천보까지는 도보량에 따라 골밀도가 증가한다는 연구결과도 있다 [22]. 위의 연구들은 성인이 대상으로, 성장기와는 스트레인 강도나 기간에 따른 골의 적응반응이 일어나는 범위가 차이날 수 있다. 따라서 오래 걸을수록 골밀도가 증가하는지는 아직 뚜렷한 결론을 내기 어려워 보인다.

또 하나 운동의 효과를 평가할 때 고려할 점은, 측정 골 부위를 자극하는 운동인가 하는 것이다. 체조선수의 경우, 체중 부하(weight-bearing) 부위인 대퇴골의 골밀도는 높은 반면 두개골의 골밀도는 비교군과 차이가 없었으며 [23], 테니스 선수는 주로 사용하는 팔이 반대쪽 팔보다 높은 골밀도를 보였다 [24]. 또한 운동으로 소모되는

에너지대사량이 비슷하다 하더라도, 체중 부하를 받는 운동인 체조가 수영에 비해 요추와 대퇴경부의 골밀도가 높았다 [25]. 이처럼 어느 부위의 근육이나 뼈가 자극 받는지에 따라, 측정 부위에서 운동 효과는 차이가 날 수 있다. 따라서 대퇴골이나 요추, 발꿈치뼈 등의 부위는 체중 부하 운동일수록 골밀도에 대한 운동 효과가 클 것으로 보인다.

이상의 사실을 근거로, 본 연구는 운동의 지면반발력(ground reaction force)을 범주화한 스트레인 강도를 운동의 측정도구로 이용하였다. 최근에 지면반발력을 이용해 골밀도에 대한 운동의 효과를 분석한 연구들이 나오고 있다. 신체활동량을 에너지대사량으로 환산한 경우와 지면반발력으로 환산한 경우를 비교한 경우, 지면반발력으로 환산한 변수만이 요추 골밀도와 양의 선형관계를 보였다 [16,26]. 또 다른 연구에서도 지면반발력이 큰 체조 선수의 골밀도가 육상선수보다 [27], 배드민턴 선수가 아이스하키 선수보다 [28], 에너지대사량이 비슷하거나 오히려 낮은데도 불구하고 골밀도가 더 높았다. 이는 각 운동의 지면반발력이 운동 지표로 중요함을 보여주는 것으로, 특히 체중부하 부위 골밀도에 있어, 비만 등의 연구와 달리 에너지 소비량만으로 운동과 골밀도의 관련성을 분석한다면 자칫 운동의 효과가 희석되거나 잘못된 방향의 결과를 도출할 수 있다. 따라서 각 운동의 지면반발력은 골밀도와 운동의 관련성 연구에 반드시 고려해야 할 항목으로 생각된다.

운동의 기계적 스트레인강도와 칼슘섭취의 교호작용

칼슘섭취와 운동 강도가 모두 낮은 군에 비해, 칼슘섭취가 높고 강도가 높은 운동을 하는 군이 유의하게 골밀도가 높았다. 그러나 칼슘섭취량만 높은 군 혹은 운동강도만 높은 군에서는 골밀도 평균치가 유의하게 높지 않았다. 이는 칼슘섭취와 운동강도간의 생물학적 교호작용에 의해 골밀도의 증가가 이루어지고 있을 가능성을 의미한다. 그러나, 칼슘섭취, 운동강도 및 그 두가지의 교호작용을 포함하는 회귀모형에서는 교호작용이 통계적으로 유

의한 수준에 이르지 않았다. 이와 같은 모형에서 교호작용에 대한 유의성 검정의 의미는 칼슘섭취와 운동강도가 동시에 높은 경우에 각각의 효과를 단순히 합한 것 이상으로 골밀도 증가가 일어나고 있는지를 검정하는 것으로서, 교호작용이 크지 않다면 이러한 검정방법으로는 유의하지 않은 것으로 나타날 수 있다. 이러한 통계적 교호작용의 검정 방법과는 별도로, 칼슘섭취와 운동강도의 생물학적 교호작용 가능성을 검토할 필요가 있다.

뼈의 형성(modeling) 및 재형성(remodeling) 과정에는 성장 호르몬, 성호르몬 및 섭취한 영양소 등 대사(metabolic) 요인과 함께, 기계적(mechanical) 자극이 중요하게 작용한다. 이들은 서로 독립적으로 작용하는 것이 아니라 복잡한 과정을 통해 서로 긴밀하게 상호작용하고 있다. Specker [9]는 메타분석에서 지금까지 칼슘이나 운동이 골밀도에 미치는 연구 결과들이 일치되지 않는 원인으로 칼슘과 운동간 교호작용 가능성을 제기했다. 또한 그의 최근 실험연구에서도 같은 결과를 보였다. 즉, 운동이 뼈 둘레 증가에 있어서는 독립적으로 작용하지만, 골량 증가에는 일정수준 이상의 칼슘을 섭취한 경우에만 운동 효과가 나타나는 것으로 미루어, 운동이 뼈에 미치는 효과에 있어 칼슘이 영향을 미치는 것으로 설명된다 [29].

칼슘이 골다공증을 예방하고 성장기에 골량 증진에 도움이 된다는 것은 이미 널리 알려져 있다. 본 연구 결과에서도 칼슘섭취량이 많을수록 골밀도가 높았다. 칼슘섭취의 주요 공급원인 우유를 먹은 경우 골성장을 증진시키는 insulin-like growth factor I (IGF-I)이 증가되며 [30], 칼슘보충제(calcium carbonate)투여 시, 골교체율을 감소시켜 골소실을 억제하는 등 [31], 칼슘은 여러 가지 기전을 통해 골량 증가에 영향을 준다. 사춘기 전 몇 년간은 골량 증가에 가장 중요한 시기이므로, 이 시기의 적절한 칼슘섭취량을 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다 [32]. 나라마다 칼슘 권장량을 정하고 있다. 미국 Institute of Medicine (IOM)의 Food and Nutrition Board는 9-13세의 일일 칼슘권장량을 1300 mg로 정하고

있으며 [33]. 우리나라도 한국 영양학회가 2000년 개정된 7차 영양권장량에서 10-12세의 일일 칼슘 섭취량을 800 mg으로 정하고 있다 [13].

일단은 칼슘섭취와 운동의 교호작용에 대한 좀 더 많은 연구가 필요하겠으나, 명확한 칼슘 권장량이나 운동지침 설정을 위해서 교호작용이 가장 효과적으로 일어나는 조건에 대한 연구들이 뒤따라야 할 것으로 본다.

본 연구의 제한점으로는 운동의 스트레인 강도나 칼슘 섭취량이 동시에 높은 군에서, 두 가지 모두 낮은 군에 비해 골밀도가 유의하게 증가되는 것을 볼 수 있었지만, 운동이나 칼슘 한 가지만으로는 유의한 효과를 관찰할 수 없었다. 이에 대한 설명으로는 몇 가지 연구 제한점에 의해 운동이나 칼슘섭취의 효과가 낮게 평가되었기 때문일 것으로 보인다.

우선 대상자의 신체활동의 일부본인 운동과 도보로 전체 신체활동을 반영한다고 보기는 어렵다. 또 다른 제한점으로 가장 높은 단계의 스트레인 강도(high-impact)가 포함되지 않았기 때문에, 스트레인 강도에 따른 효과가 다소 축소되었을 가능성이 있다. 골밀도에 대해 칼슘섭취량의 효과가 유의하게 높지 않았던 이유는 발꿈치뼈의 특성도 고려해 볼 수 있다. 발꿈치뼈는 체중 부하에 대한 영향을 잘 반영하는 것으로 알려져 있으며 [34], 골다공증성 골절이 많이 발생하는 대퇴 경부나 척추의 골밀도와 상관관계가 높은 것으로 알려져 있어 [35], 운동과 골밀도의 관련성 파악에는 적절한 부위로 생각된다. 그러나 대부분 해면골로 이루어져 있기 때문에, 칼슘섭취에 대한 영향이 큰 피질골에 비해서는 칼슘과의 관련성이 약했을 가능성도 있다.

칼슘섭취량을 측정하는 방법으로 1일 회상법을 이용하였는데, 이 방법은 식품 빈도조사에 비해 식품 종류와 식이섭취량을 정확하게 조사할 수 있는 장점이 있는 반면, 일간 식이섭취 변동이 큰 경우 각 대상자의 일상적인 식이섭취를 충분히 반영하기 어려운 단점도 가지고 있다. 따라서 일간 변동을 줄이기 위해서는 몇 차례 반복

조사가 필요할 것이다 [36]. 그 외에도 칼슘섭취량을 이분위로 구분했기 때문에 좀 더 극단적인 섭취량 비교보다 집단간 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았을 수 있다. 이와 같은 제한점을 극복할 수 있는 연구가 향후에 이루어지면, 운동이나 칼슘 섭취 각각의 효과를 보다 정확히 평가할 수 있으리라고 생각된다.

결론

칼슘섭취가 낮으면서 낮은 강도의 운동을 하는 군에 비해, 칼슘섭취가 높고 강도가 높은 운동을 하는 군이 유의하게 골밀도가 높았다. 그러나 칼슘섭취량만 높은 군 혹은 운동강도만 높은 군에서는 골밀도 평균치가 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 성장기 골량 증진을 위해서는 칼슘 섭취와 함께 스트레인 강도가 높은 운동을 병행하는 것이 효과적일 것으로 생각된다.

참고 문헌

- Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. NIH Consensus Statement 2000 March 27-29;17(1): 1-36
- Sabatier JP, Guaydier-Souquieres G, Bernmalek A, Marcelli C. Evolution of lumbar bone mineral content during adolescence and adulthood: A longitudinal study in 395 healthy females 10-24 years of age and 206 premenopausal women. *Osteoporos Int* 1999; 9(6): 476-482
- Anderson JJ, Metz JA. Contributions of dietary calcium and physical activity to primary prevention of osteoporosis in females. *J Am Coll Nutr* 1993; 12(4): 378-383
- Prentice A. The relative contribution of diet and genotype to bone development. *Proc Nutr Soc* 2001; 60: 1-8
- Heinonen A, Sievanen H, Kannus P, Oja P, Pasanen M, Vuori I. High-impact exercise and bones of growing girls: A 9-month controlled trial. *Osteoporos Int* 2000; 11(12): 1010-1017
- Kannus P, Haapasalo H, Sankelo M, Sievanen H, Pasanen M, Heinonen A, Oja P, Vuori I. Effect of starting age of physical activity on bone mass in the dominant arm of tennis and squash players. *Ann Intern Med* 1995; 123(1): 27-31
- Johnston CC Jr, Miller JZ, Slemenda CW, Reister TK, Hui S, Christian JC, Peacock M. Calcium supplementation and increases in bone mineral density in children. *N Engl J Med* 1992; 327(2): 82-87
- Ehrlich PJ, Lanyon LE. Mechanical strain and bone cell function: A review. *Osteoporos Int* 2002; 13(9): 688-700
- Specker BL. Evidence for an interaction between calcium intake and physical activity on changes in bone mineral density. *J Bone Miner Res* 1996; 11(10): 1539-1544
- 대한 소아과학회 보건통계위원회. 1998년 한국 소아 및 청소년 신체 발육 표준치. 대한 소아과학회; 1998
- Hakulinen MA, Saarakkala S, Toyras J, Kroger H, Jurvelin JS. Dual energy x-ray laser measurement of calcaneal bone mineral density. *Phys Med Biol* 2003; 48(12): 1741-1752
- Marshall WA, Tanner JM. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child* 1969; 44(235): 291-303
- 한국인 영양 권장량 제7차 개정. 사단법인 한국영양학회; 2000
- Groothausen J, Siemer H, Kemper HCG, Twisk JWR, Welten DC. Influence of peak strain on lumbar bone mineral density: An analysis of 15-year physical activity in young males and females. *Pediatr Exerc Sci* 1997; 9: 159-173
- Van Langendonck L, Lefevre J, Claessens AL, Thomis M, Philippaerts R, Delvaux K, Lysens R, Renson R, Varreusel B, Vanden Eynde B, Dequeker J, Beunen G. Influence of participation in high-impact sports during adolescence and adulthood on bone mineral density in middle-aged men: a 27-year follow-up study. *Am J Epidemiol* 2003; 158(6): 525-533
- Kemper HC, Bakker I, Twisk JW, van Mechelen W. Validation of a physical activity questionnaire to measure the effect of mechanical strain on bone mass. *Bone* 2002; 30(5): 799-804
- Ferretti J, Schiessl H, Frost H. On New Opportunities for Absorptiometry. *J Clin Densitom* 1998; 1(1): 41-53
- Vuori IM. Dose-response of physical activity and low back pain, osteoarthritis, and osteoporosis. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(Suppl): S551-586
- Whalen RT, Carter DR, Steele CR. Influence of physical activity on the regulation of bone density. *J Biomech* 1988; 21(10): 825-837
- Robling AG, Hinant FM, Burr DB, Turner CH. Shorter, more frequent mechanical loading sessions enhance bone mass. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(2): 196-202
- Hutchinson TM, Whalen RT, Cleek TM, Vogel JM, Arnaud SB. Factors in daily physical activity related to calcaneal mineral density in men. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(5): 745-750
- Kitagawa J, Omasu F, Nakahara Y. Effect of daily walking steps on ultrasound parameters of the calcaneus in elderly Japanese women. *Osteoporos Int* 2003; 14(3): 219-224
- Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E. Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J Bone Miner Res* 1998; 13(3): 500-507
- Kannus P, Haapasalo H, Sankelo M, Sievanen H, Pasanen M, Heinonen A, Oja P, Vuori I. Effect of starting age of physical activity on bone mass in the dominant arm of tennis and squash players. *Ann Intern Med* 1995; 123(1): 27-31
- Taaffe DR, Snow-Harter C, Connolly DA, Robinson TL, Brown MD, Marcus R. Differential effects of swimming versus weight-bearing activity on bone mineral status of eumenorrheic athletes. *J Bone Miner Res* 1995; 10(4): 586-593
- Bakker I, Twisk JW, Van Mechelen W, Roos JC, Kemper HC. Ten-year longitudinal relationship between physical activity and lumbar bone mass in (young) adults. *J Bone Miner Res* 2003; 18(2): 325-332
- Robinson TL, Snow-Harter C, Taaffe DR, Gillis D, Shaw J, Marcus R. Gymnasts exhibit higher bone mass than runners despite similar prevalence of amenorrhea and oligomenorrhea. *J Bone Miner Res* 1995; 10(1): 26-35
- Nordstrom P, Pettersson U, Lorentzon R. Type of physical activity, muscle strength, and pubertal stage as determinants of bone mineral density and bone area in adolescent boys. *J Bone Miner Res* 1998; 13(7): 1141-1148
- Specker B, Binkley T. Randomized trial of physical activity and calcium supplementation on bone mineral content in 3- to 5-year-old children. *J Bone Miner Res* 2003; 18(5): 885-892
- Cadogan J, Eastell R, Jones N, Barker ME. Milk intake and bone mineral acquisition in adolescent girls: randomised, controlled intervention trial. *BMJ* 1997; 315(7118): 1255-1260
- Dibba B, Prentice A, Ceasay M, Stirling DM, Cole TJ, Poskitt EM. Effect of calcium supplementation on bone mineral accretion in Gambian children accustomed to a low-calcium diet. *Am J Clin Nutr* 2000; 71(2): 544-549
- Johnston CC Jr, Miller JZ, Slemenda CW,

- Reister TK, Hui S, Christian JC, Peacock M. Calcium supplementation and increases in bone mineral density in children. *NEngl J Med* 1992; 327(2): 82-87
33. Institute of Medicine, Food and nutrition board. dietary reference intakes: calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride. Washington, DC: National Academy Press, 1997
34. Taaffe DR, Suominen H, Ollikainen S, Cheng S. Calcaneal bone mineral and ultrasound attenuation in male athletes exposed to weight-bearing and nonweight-bearing activity. A cross-sectional report. *J Sports Med Phys Fitness* 2001; 41(2): 243-249
35. Fordham JN, Chinn DJ, Kumar N. Identification of women with reduced bone density at the lumbar spine and femoral neck using BMD at the os calcis. *Osteoporos Int* 2000; 11(9): 797-802
36. Willet W. Nutritional epidemiology, 2nd ed. New York: Oxford Univ. Press; 1998. p.51-52