

해면뼈 강도 Trabecular Bone Strength

*백명현¹, #김광균²

*M. H. Baek¹, #K. K. Kim(ajouos@hanmail.ac.kr)²

¹BK 메디텍(주) 기술연구소, ²건양대학교 의과대학 정형외과학교실

Key words : Bone Strength, Osteoporosis, Cortical Bone, Trabecular Bone

1. 서론

골다공증은 뼈 구조의 퇴화와 함께 뼈 강도(bone strength)가 낮아져 작은 충격에도 쉽게 골절을 일으키는 골격계 질환(skeletal disease)이다. 임상에서는 골다공증을 진단하기 위해서 골밀도(BMD, bone mineral density) 분석에 의존하고 있다. 그러나 BMD는 뼈 강도를 40~70%만 반영하므로 골질까지 분석해야 보다 정확한 예측이 가능하다고 보고되어 있다¹.

뼈 강도(bone strength)는 골질(bone quality)과 골량(bone quantity)으로 구성된다. 골질에는 뼈의 미세구조, 골회전율, 손상축적 및 미세골절 그리고 무기질화 등이 포함되며, 골량은 골밀도(BMD, bone mineral density)가 포함된다.

뼈는 크게 치밀뼈와 해면뼈 (cortical and trabecular bone)로 나뉘며, 외부의 자극 (external stimuli)에 반응하여 형성과 재형성 (modeling and remodeling)을 반복하며 성장 및 퇴화한다. 성장판 (growth plate)의 활동을 멈추는 20세 이후에는 치밀뼈의 골회전율 (bone turnover)은 큰 차이가 없는 반면, 해면뼈는 퇴화되는 방향으로 증가하게 된다. 특히 폐경기 (menopause) 이후의 여성은 골회전율이 급격히 증가하여 골다공증(osteoporosis)이 쉽게 유발된다. 골다공증은 그 자체만으로는 환자에게 고통을 주지 않지만, 약화된 뼈 강도로 인해서 작은 충격 또는 일상생활에서 골절이 쉽게 야기되기 때문에 이는 사회·경제적 문제로 이어진다. 세계적인 평균수명의 증가로 인해서 골다공증 환자는 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

따라서 보다 정확한 뼈 강도의 예측은

정확한 골다공증의 진단 및 치료 그리고 효과적인 의약품 개발에 도움을 주어 골절 유병율을 낮추는데 기여할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 해면뼈 강도를 직접 평가할 수 있는 방법을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

해면뼈 강도를 비교하기 위해서 20대 1구(남성 20세)와 50대 2구(남녀 51세)의 대퇴골두를 이용하였다. 해면뼈 샘플은 양쪽 대퇴골두 으뜸 압박 골소주 (primary compressive trabecular)에서 원통형 톱(trephine)을 이용하여 상·하(supero-inferior) 방향으로 6개의 샘플이 적출되었다. 적출된 샘플은 지름은 약 10mm였다(Fig. 1).

본 연구는 건양대학교병원 연구윤리심의 위원회에서 심의 및 승인을 얻은 후 진행되었다.



Fig. 1 Human proximal femur and cored bone sample of primary compressive trabeculae

2.1 미세단층촬영

적출된 샘플은 미세단층촬영기(micro-CT, SkyScan-1076, Belgium)에 의해서 해상도 24.9 μm로 촬영된 후(Fig. 2), NRecon (SKYSCAN, Belgium) 프로그램을 이용하여 Fig. 2(Rt)와 같이 2차원 영상을 재건하였다. 골체적비

(BV/TV, percent bone volume)는 CTAn(SKYSCAN, Belgium) 프로그램을 이용하여 구하였다.

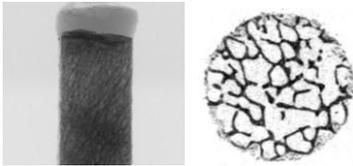


Fig. 2 Micro-images (Lt: x-ray transmission image, Rt: Cross-section image)

2.2 유한요소모델 생성 및 강도 분석

유한요소모델은 micro-CT 에 의해서 촬영된 미세영상을 BIONIX 소프트웨어(CANTIBio, Korea)에 적용하여 정육방형모델 (hexahedral mesh model)을 재건하였다. 요소의 크기는 75 μm 였으며, 유한요소모델의 크기는 직경 6.95 mm 그리고 높이 7.55 mm 로 재건하였다.

해면뼈 강도는 ANSYS 소프트웨어(ANSYS, Inc)를 이용하여 계산되었으며, 해면뼈의 영률(tissue modulus)은 선행연구에서 분석된 값 5.17 GPa을 적용하였다².

3. 결과

20 대 남성과 50 대 남·녀의 해면뼈 강도와 BV/TV 를 계산하여 Table 1 and 2 에 나타내었다.

해면뼈 강도는 M/20 샘플이 M/51 과 F/51 샘플에 비해서 3 배 높게 분석되었다. 그리고 BV/TV 는 M/20 이 M/51 과 F/51 샘플에 비해서 약 1.48 그리고 1.57 배가 높게 분석되었다.

Table 1 Trabecular bone strength of primary compressive trabeculae

Strength(MPa)	M/20	M/51	F/51
Average	187.741	61.585	61.266
STDEV	13.006	11.094	16.744

Table 2 Percent bone volume (BV/TV) of primary compressive trabeculae

BV/TV(%)	M/20	M/51	F/51
Average	31.819	21.513	20.280

STDEV	0.648	2.489	1.891
-------	-------	-------	-------

M: male, F: female and STDEV: standard deviation.

4. 결론

NIH 의 정의에 의하면 BMD 분석은 중첩(overlap)되는 구간이 많아 보다 정확한 뼈 강도를 분석하기 위해서는 BMD 외에도 골질의 분석이 수반되어야 한다고 보고하였다¹. 본 연구에서는 뼈 강도를 직접 평가하기 위해서 미세영상을 이용하여 유한요소해석(FEA, finite element analysis)을 수행하였다. FEA 의 결과는 해면뼈의 미세구조를 대변하는 BV/TV 의 결과 보다 확연한 차이를 보였다. 이는 FE 모델이 해면뼈의 밀도(density)뿐만 아니라 미세구조와 방향성(degree of anisotropy)까지 반영하기 때문에 보다 정확한 값을 갖는다고 사료된다.

따라서 임상에 사용되는 micro-MRI³ 와 high-resolution CT⁴ 장비에 의해서 촬영된 영상을 FEA 에 적용한다면 환자의 해면뼈 강도가 분석 가능할 것으로 예상된다.

후기

이 논문은 2010 년도 건양대학교 명곡 학술연구비의 지원에 이루어진 것임.

참고문헌

1. NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. JAMA, 285, 785-795, 2001.
2. 백명현, 원예연, 최문권, 김영은, “해면뼈의 구조적 특성과 기계적 강도의 상관관계,” 대한골다공증학회지, 7, 84-95, 2009.
3. Magland, JF., Wald, MJ., and Wehrli, FW., “Spin-echo micro-MRI of trabecular bone using improved 3D fast large-angle spin-echo (FLASE),” MAGNET RESON MED, 61, 1114-1121, 2009.
4. Scherf, H., and Tilgner, R., “A new high-resolution CT segmentation method for trabecular bone architectural analysis,” AM J PHYS ANTHROPOL, 140, 39-51, 2009