

## 무릎관절 해면뼈의 기계적 물성

### The Mechanical Properties of Trabecular Bone in Knee Joint

곽대순<sup>1</sup>, 오택열<sup>2</sup>, 한승호<sup>1,✉</sup>  
Dai-Soon Kwak<sup>1</sup>, Taek-Yul Oh<sup>2</sup> and Seung-Ho Han<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 가톨릭대학교 의과대학 해부학교실 / 응용해부연구소 (Department of Anatomy / Catholic Institute for Applied Anatomy, Catholic Univ.)  
<sup>2</sup> 경희대학교 테크노공학대학 (College of Advanced Technology, KyungHee Univ.)  
✉ Corresponding author: hsh@catholic.ac.kr, Tel: 02-2258-7262

Manuscript received: 2008.6.27 / Revised: 2009.2.2 / Accepted: 2009.3.18

*In this study, we performed the compressive strength test of trabecular bone in knee joint for measuring the elastic modulus and ultimate strength. The main knee joint is femorotibial articulation between the lateral and medial femorotibial condyle. In the case of osteoarthritis, some patients have only medial condylar osteoarthritis. We performed the mechanical test for comparison the difference of the each condylar strength. We used diamond core-drill and linear precision saw for making the specimens. Specimens were cored from both condyle in distal femur and proximal tibia in fresh cadaver (male 10, female 12), and tested by universal test machine with temperature control saline circulation system. Results of the test in distal femoral parts, averaged elastic modulus was 360.61±159.40MPa for male, 150.89±70.65MPa for female. Averaged ultimate strength was 6.79±2.91MPa for male, 2.89±1.31MPa for female. Male was 2.4 times stronger than female. In the proximal tibial parts, averaged elastic modulus was 108.80±52.88MPa for male, 73.45±55.06MPa for female. Averaged ultimate strength was 2.59±1.39MPa for male, 1.75±1.16MPa for female. Male was 1.5 times stronger than female. In the distal femoral condyle, medial condyle had more strength than lateral condyle at middle region. But lateral condyle had more strength than medial condyle at anterior & posterior regions ( $p<0.02$ ). In the proximal tibial condyle, medial condyle had more strength than lateral condyle. ( $p<0.01$ ).*

Key Words: Knee (무릎), Mechanical Property (기계적 물성), Bone Strength (뼈 강도), Trabecular Bone (해면뼈), Medial/Lateral Condyle (안쪽/가쪽 관절용기)

#### 1. 서론

사람의 뼈는 크게 해면뼈(trabecular bone)와 겉질뼈(cortical bone)로 구분할 수 있지만 각각의 조직에서도 균질하지 않은 성질로 인해 물성 시험에는 많은 변수가 존재한다. 또한 시험편 획득 방법에 있어 생체에서 획득하기 힘든 한계가 존재하므로 시신에서 적출된 재료를 대상으로 하는 경우가

많다. 시신에서 시험편을 추출하는 경우 부패 여부, 방부 처리 여부, 온도, 습도 등의 보관 조건<sup>1</sup> 시험대상뼈를 적출할 때 처리, 냉동과 해동의 반복<sup>2</sup> 등 여러 가지 조건에 의해 다른 결과를 나타낼 수 있다. 이 연구에서 시험 대상으로 선정된 무릎 관절은 우리 몸에서 큰 충격과 하중을 받는 관절 부분으로 교통사고 등의 외상에 의한 손상과 퇴행성 질환에 의한 손상이 많이 발생하는 부분이

며, 최근에는 손상이 발생한 무릎 관절을 인공관절로 치환하는 관절 치환술이 대중화되고 있다. 무릎관절은 안쪽관절융기(medial condyle)와 가쪽관절융기(lateral condyle)로 분리되어 있으며 그 사이에 십자인대(cruciate ligament)가 위치하고 있다. 안쪽/가쪽 관절면의 지지하중 분포는 안쪽 관절면이 보다 큰 하중을 지지하고 있다고 알려져 있으며,<sup>3</sup> 퇴행성 질환에 의한 관절면 손상의 경우, 상대적으로 안쪽 관절면이 먼저 손상되는 경우가 많이 보고되고 있다.<sup>4,5</sup> 뼈는 자극을 받는 부분에서 상대적으로 활발한 재생작용이 발생하는 것을 생각하면 안쪽관절융기와 가쪽관절융기의 강도 차이가 존재할 것으로 생각할 수 있다. 이에 대한 객관적 검증은 위해 기증시신의 넓다리뼈(femur)와 정강뼈(tibia) 관절융기 내부 해면뼈에서 위치별로 시험편을 추출하여 압축시험을 수행하여 무릎 관절 내부 해면뼈의 기계적 물성을 비교하였다.

**2. 재료 및 방법**

**2.1 시험대상**

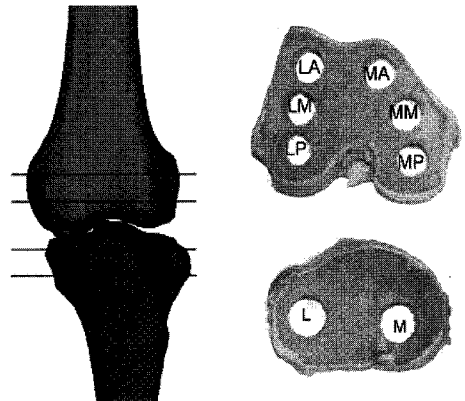
시험에 사용한 기증 시신은 남성 5 표본, 여성 6 표본으로 총 22 개의 무릎이 사용되었다. 평균 연령은 남자 68 세, 여자 75 세 이며, 앞뒤 방향(antero-posterior) X 선 촬영을 통해 측정한 무릎의 굽은 각도는 평균  $177.7 \pm 1.8^\circ$  를 나타내 정도의 차이는 있었지만 대부분 경미한 안굽이(vargus) 무릎을 나타냈다.

**2.2 시험편 제작**

선정된 시신으로부터 넓다리뼈와 정강뼈를 외과적 방법으로 적출하였다. 적출시 뼈의 물성변화에 영향을 줄 수 있는 화학적 처리는 하지 않았으며, 적출 즉시 시험편을 가공하여 압축시험을 수행하였다. 시험편의 제작(Fig. 1)은 적출된 넓다리뼈와 정강뼈에서 무릎관절 부분을 절단한 후, 다이아몬드 코어 드릴을 사용하여 원기둥 형태의 시험편을 제작하였다. 넓다리뼈 부분은 안쪽/가쪽관절융기 부분에서 앞쪽/중간/뒤쪽에 각 1 개의 시험편을 제작하였고, 정강뼈 부분은 안쪽/가쪽 부분에서 각 1 개의 시험편을 제작하여 한 개의 무릎에서 총 8 개의 시험편을 넓다리뼈 부분 직경 12mm, 정강뼈 부분 15mm 크기로 제작하였다.

**2.3 압축 시험**

제작된 시험편은 만능재료시험기(Instron 5567)를 사용하여 시험하였다. 시험방법은 시험편의 크기가 작고, 시험 대상 뼈의 하중 작용방향이 대부분 압축 방향임을 감안하여 압축시험을 수행하였다. 시험은 ASTM E9 에 준하여 실시하였다. 시험 환경은 온도 조절기능이 있는 순환 펌프를 사용하여 38°C 생리식염수를 순환시켜 시험편이 식염수에 잠긴 상태를 유지하면서 시험을 수행하였다



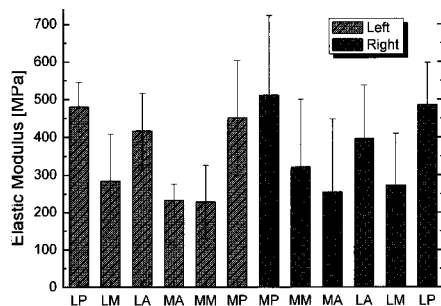
- L : lateral
- LA : lateral anterior
- LM : lateral middle
- LP : lateral posterior
- M : medial
- MA : medial anterior
- MM : medial middle
- MP : medial posterior

Fig. 1 Drilling position and specimen configuration

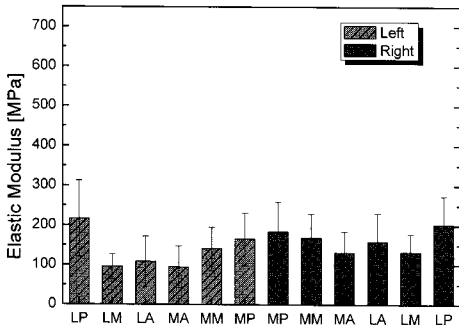
**3. 시험결과**

**3.1 넓다리뼈 부분의 기계적 물성**

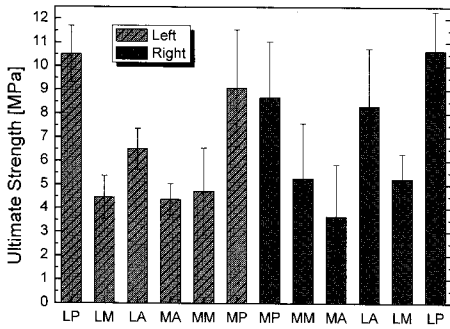
Fig. 2 에 넓다리뼈 관절융기 해면뼈의 탄성계수와 압축강도를 도시하였다. 남, 여 모두 정도의 차이는 있었지만 왼쪽과 오른쪽 무릎의 시험 대상뼈는 안쪽, 가쪽 시험편 추출 위치별로 유사한 결과값을 나타냈다.



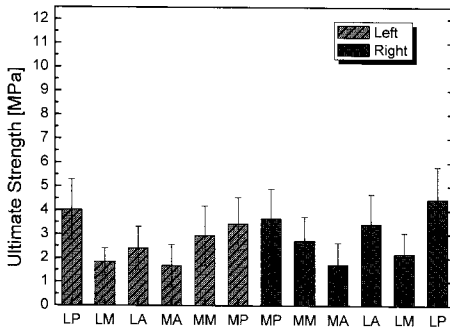
(a) Elastic modulus (male)



(b) Elastic modulus (female)



(c) Ultimate strength (male)



(d) Ultimate strength (female)

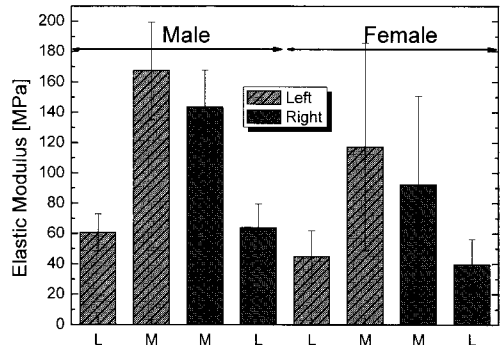
Fig. 2 Mechanical properties of trabecular bone in distal femur

먼쪽 넓다리뼈 부분 해면뼈의 시험결과 탄성계수는 남성  $360.61 \pm 159.40 \text{MPa}$ , 여성  $150.89 \pm 70.65 \text{MPa}$  을 나타냈고, 압축강도는 남성  $6.79 \pm 2.91 \text{MPa}$ , 여성  $2.89 \pm 1.31 \text{MPa}$  을 나타내 남성이 약 2.4 배 높은 결과를 나타냈다.

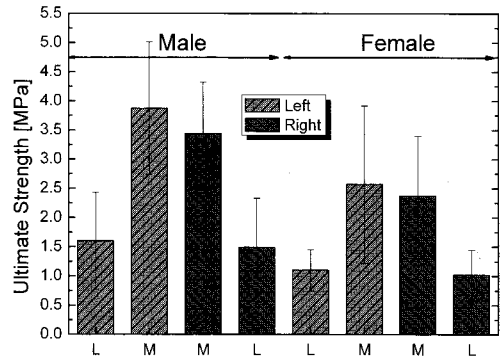
### 3.2 정강뼈 부분의 기계적 물성

Fig. 3 에 압축시험을 수행하여 얻은 정강뼈 관절용기 해면뼈의 탄성계수와 압축강도를 도시하였

다. 왼쪽과 오른쪽 정강뼈는 안쪽, 가쪽 시험편 추출 위치별로 유사한 결과값을 나타냈다. 탄성계수의 경우 남성  $108.80 \pm 52.88 \text{MPa}$ , 여성  $73.45 \pm 55.06 \text{MPa}$  을 나타냈으며, 압축강도는 남성  $2.59 \pm 1.39 \text{MPa}$ , 여성  $1.75 \pm 1.16 \text{MPa}$  을 나타내 남성이 약 1.5 배 높은 결과를 나타냈다



(a) Elastic modulus



(b) Ultimate strength

Fig. 3 Mechanical properties of trabecular bone in proximal tibia

### 3.3 안쪽, 가쪽 부분의 물성 비교

무릎 관절의 안쪽, 가쪽 해면뼈의 기계적 물성을 비교하기 위해 시험을 통해 얻은 결과를 Table 1 에 정리하였다. 넓다리뼈 관절용기 해면뼈는 평균적으로 앞쪽과 뒤쪽 부분에서 가쪽관절용기 부분이 큰 값을 나타냈고, 중앙 부분에서는 안쪽 부분이 큰 값을 나타냈지만, 통계적으로 분석한 결과 여성 넓다리뼈의 중앙 부분을 제외한 다른 부분에서 안쪽, 가쪽의 차이가 없는 것으로 나타났다. 정강뼈 부분의 경우 남, 녀 모두 안쪽 부분이 높은 값을 나타냈다.

Table 1 Comparison and statistical analysis

Bone	Sex	Location	Elastic Modulus[MPa]		P*
			Lateral	Medial	
Femur	F	Anterior	134.2± 70.1	113.8± 54.5	0.19
		Middle	114.3± 41.1	156.4± 58.2	0.02
		Posterior	209.2± 80.3	178.1± 68.4	0.12
		Average	152.6± 76.7	149.4± 64.4	0.38
	M	Anterior	404.3±114.5	243.3±130.5	0.02
		Middle	276.4±121.2	274.6±142.6	0.48
		Posterior	483.2± 84.5	481.8±174.1	0.49
		Average	388.0±134.3	333.2±179.4	0.12
Tibia	F	Middle	42.1± 16.5	104.8± 62.2	<0.01
	M		62.2± 13.2	155.4± 29.3	<0.01

Bone	Sex	Location	Ultimate Strength[MPa]		P*
			Lateral	Medial	
Femur	F	Anterior	2.91±1.26	1.70±0.95	<0.01
		Middle	2.01±0.79	2.83±1.18	0.02
		Posterior	4.34±1.38	3.55±1.22	0.09
		Average	3.09±1.48	2.69±1.34	0.12
	M	Anterior	7.40±1.95	4.02±1.56	<0.01
		Middle	4.85±1.01	4.98±1.95	0.43
		Posterior	10.57±1.35	8.87±2.25	0.04
		Average	7.61±2.78	5.96±2.85	0.02
Tibia	F	Middle	1.07±0.41	2.43±1.25	<0.01
	M		1.53±0.78	3.65±0.97	<0.01

\* Significance level( $\alpha$ ) : 0.05

#### 4. 결론 및 고찰

기증시신에서 적출된 무릎관절의 먼쪽 넓다리뼈와 몸쪽 정강뼈의 해면뼈 부분에서 176 개의 시험편을 적출하여 기계적 물성 시험을 수행한 결과 다음과 같은 값을 얻을 수 있었다. 넓다리뼈 해면뼈 부분의 탄성계수는 남성 360.61±159.40 MPa, 여성 150.89±70.65 MPa 을 나타냈으며, 압축강도는 남성 6.79±2.91 MPa, 여성 2.89±1.31 MPa 을 나타내 남성에서 약 2.4 배 높은 결과를 나타냈다. 정강뼈 해면뼈 부분의 탄성계수는 남성 108.80±52.88 MPa, 여성 73.45±55.06 MPa 을 나타냈으며, 압축강도는 남성 2.59±1.39 MPa, 여성 1.75±1.16 MPa 을 나타내 남성에서 약 1.5 배 높은 결과를 나

타냈다.

무릎관절을 구성하는 관절용기 해면뼈 부분의 국부적 강도를 비교한 결과 넓다리뼈 중앙 부분은 안쪽 부분이 강도가 높고, 앞쪽과 뒤쪽 부분은 가쪽 부분이 강도가 높은 경향을 나타냈다. 정강뼈 부분은 남, 녀 모두 안쪽 부분이 높은 강도값을 나타내 무릎관절을 구성하는 각각의 관절용기 부분의 해면뼈는 국부적으로 강도차이가 존재하는 것을 알 수 있었다. 특히 정강뼈는 안쪽 관절용기 부분의 해면뼈가 약 2.3 배 높은 강도값을 보였으며 이는 통계적으로 남/여 모두에서 유의한 결과를 나타냈다.

이 연구에서 얻어진 시험 결과는 22 개 표본으로부터 적출된 시험편을 사용한 결과임으로, 한국인 무릎관절 해면뼈의 기계적 물성을 대표하기에는 제한사항이 있을 수 있다. 그렇지만 시험결과 왼쪽/오른쪽 무릎의 시험 결과값이 유사하고, 각 표본에서 얻어진 시험 결과의 편차가 작고, 생체역학 시험을 수행할 수 있는 신선시신(fresh cadaver)의 활용이 극히 제한적인 국내 환경을 생각하면 충분히 의미 있는 값으로 활용될 수 있으리라 생각된다.

#### 후 기

이 논문은 2007 년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-314-E00002).

#### 참고문헌

1. Roe, S. C., Pijanowski, G. J. and Johnson, A. L., "Biomechanical properties of canine cortical bone allografts : effects of preparation and storage," Am. J. Vet. Res., Vol. 49, No. 6, pp. 873-877, 1985.
2. Linde, F. and Sorensen, H. C., "The effect of different stroage methods on the mechanical properties of trabecular bone," J. Biomechanics, Vol. 26, No. 1249, pp. 1249-1252, 1993.
3. Johnson, F., Leitl, S. and Waugh, W., "The distribution of load across the knee : A comparison of static and dynamic measurements," J. Bone and Joint Surgery, Vol. 62, No. 3, pp. 346-349, 1980.
4. Carr, A., Keyes, G., Miller, R., O'Connor, J. and Goodfellow, J., "Medial uni-compartmental arthro-

plasty. A survival study of the Oxford meniscal knee," Clin. Orthop. Relat. Res., No. 295, pp. 205-213, 1993.

5. Keyes, G. W., Carr, A. J., Miller, R. K. and Goodfellow, J. W., "The radiographic classification of medial gonarthrosis : correlation with operation methods in 200 knees," Acta Orthop. Scand., Vol. 63, No. 5, pp. 497-501, 1992.