무릎관절 해면뼈의 기계적 물성

*곽대순[1], 채경덕[2], 오택열[3], 김규로[4], 한승호[1]
[1] 가톨릭의대 해부학교실 · 응용해부연구소, [2] 강원대 삼척캠퍼스 메카트로닉스공학부,
[3] 경희대학교 테크노공학대학, [4]경기공업대학 메카트로닉스과

The Mechanical Properties of Trabecular Bone in Knee Joint

*Dai-Soon Kwak[1], Kyung-Duck Chae[2], Taek-Yul Oh[3],Gyu-Ro Kim[4], Seung-Ho Han[1]
[1] Catholic Institute for Applied Anatomy · Dept. of Anatomy, Catholic Univ.,[2] Dept. of Mechatronics Kangwon Univ.,
[3] Col. of Advanced Tech. Kyunghee Univ., [4]Dept. of Mechatronics Kyonggi Institute of Tech.
Key words : Strength of bone, Mechanical property, Knee joint, Femur, Tibia, Trabecular bone

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[1], 시험 대상뼈를 적출할 때 처리, 냉동과 해동의 반복[2] 등 여러 가지 조건에 의해 다른 결과를 나타낼 수 있다. 이 연구에서 시험 대상으로 선정한 무릎 관절은 우리 몸에서 가장 큰 충격과 하중을 받는 관절 부분으로 교통사고 등의 외상에 의한 손상과 퇴행성 질환에 의한 손상이 많이 발생하는 부분이며, 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. 무릎 관절의 퇴행성 질환에 의한 관절면 손상의 경우, 상대적으로 안쪽 관절면이 먼저 손상되는 경우가 많이 보고되고 있으므로, 안쪽관절융기와 가쪽관절융기의 강도 차이가 존재할것으로 생각되어 기증시신의 넙다리뼈(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 남자 4표본, 여자 7표본으로, 평균 연령은 남자 64세, 여자 80세이며, X선 촬영을 통해 계측한 무릎의 굽은 각도는 평균 177.7±1.8°를 나타내 정도의 차이는 있었지만 대부분 안굽이(vargus) 무릎을 나타냈다.

2.2 시험편 제작

선정된 시신으로부터 넙다리뼈와 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 넙다리뼈와 정강뼈에서 무릎관절 부분을 절단한 후, 다이어몬드 코어 드릴을 사용하여 원기둥 형태의 시험편을 제작하였다. 넙다리뼈 부분은 안쪽, 가쪽관절융기 부분에서 앞쪽, 중간, 뒤쪽에 각 1개의 시험편을 제작하였고, 정강뼈 부분은 안쪽, 가쪽 부분에서 각 1개의 시험편을 제작하여 한 개의 무릎에서 8개의 시험편을 넙다리뼈 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 E9에 준하여 실시하였다. 시험 환경은 온도 조절기능이 있는 순환 펌프를 사용하여 38℃ 생리식염수를 순환시켜 시험편이 식염수에 잠긴 상태를 유지하면서 시험을 수행하였다.

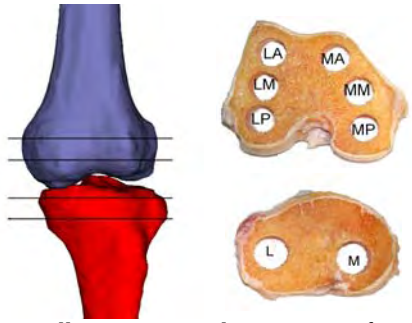
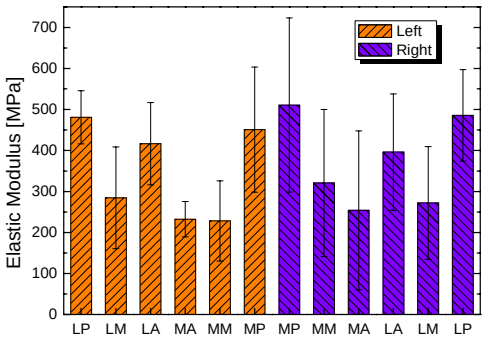


Fig. 1 Drilling position and specimen configuration

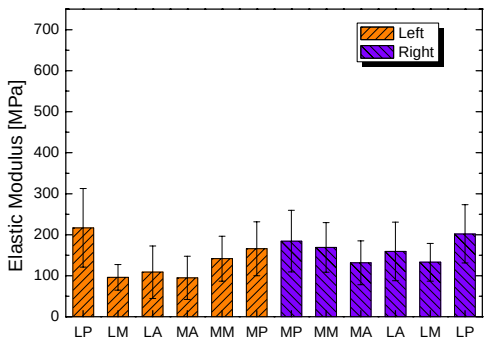
3. 시험결과

3.1 넙다리뼈 부분의 기계적 물성

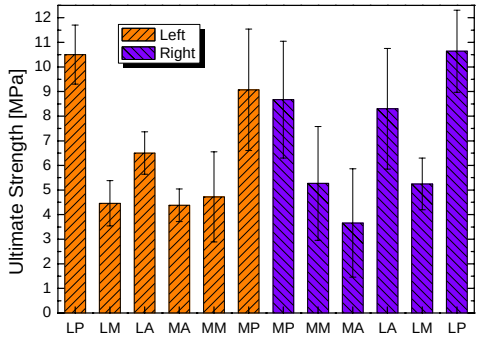
Fig. 2에 넙다리뼈 관절융기 부분 해면뼈의 탄성계수와 압축강도를 도시하였다. 남, 여 모두 차이는 있었지만 왼쪽과 오른쪽 시험 대상뼈는 안쪽, 가쪽 시험편 추출 위치별로 유사한 결과값을 나타냈다. 탄성계수의 경우 남자 361.11±159.41MPa, 여자 150.31 ±70.64MPa을 나타냈고, 압축강도는 남자 6.78±2.90MPa, 여자 2.87±1.41MPa을 나타내 남자가 약 2.4배 높은 결과를 나타냈다.



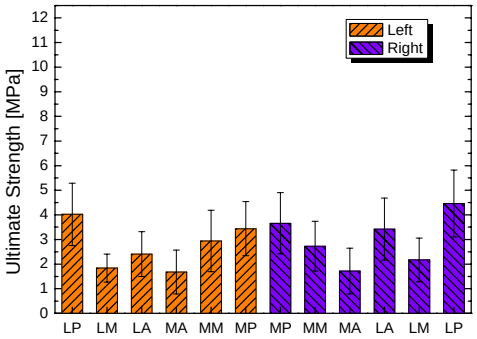
(a) Elastic modulus(male)



(b) Elastic modulus(female)

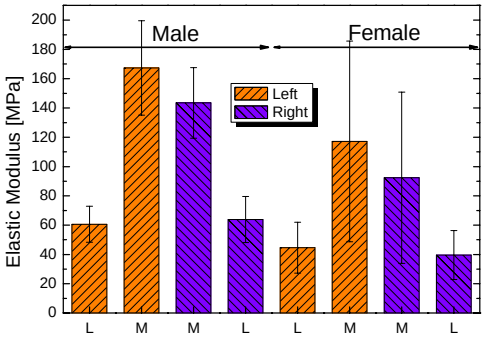


(c) Ultimate strength(male)

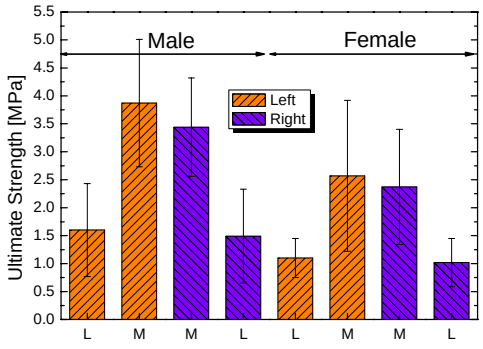


(d) Ultimate strength(female)

Fig. 2 Mechanical properties of trabecular bone in distal femur



(a) Elastic modulus



(b) Ultimate strength

Fig. 3 Mechanical properties of trabecular bone in proximal tibia

3.2 정강뼈 부분의 기계적 물성

Fig. 3에 압축시험을 수행하여 얻은 정강뼈 관절융기 부분 해면뼈의 탄성계수와 압축강도를 도시하였다. 왼쪽과 오른쪽 정강뼈는 안쪽, 가쪽 시험편 추출 위치별로 유사한 결과값을 나타냈다. 탄성계수의 경우 남자 108.82±52.88MPa, 여자 73.47 ±55.06MPa을 나타냈으며, 압축강도는 남자 2.60±1.38MPa, 여자 1.76±1.16MPa을 나타내 남자가 약 1.5배 높은 결과를 나타냈다.

3.3 안쪽, 가쪽 부분의 물성 비교

무릎 관절의 안쪽, 가쪽 해면뼈의 기계적 물성을 비교하기 위해 시험을 통해 얻은 결과를 Table 1에 정리하였다. 넙다리뼈 관절융기 부분 해면뼈는 평균적으로 앞쪽과 뒤쪽 부분의 경우 가쪽 관절 융기 부분이 큰 값을 나타냈고, 중앙 부분의 경우 안쪽 부분이 큰 값을 나타냈지만, 유의 수준 0.05에서 통계적으로 분석한 결과 여자 넙다리뼈의 중앙 부분을 제외한 다른 부분은 안쪽, 가쪽의 차이가 없는 것으로 나타났다. 정강뼈 부분의 경우 남, 녀 모두 안쪽 부분이 높은 값을 나타냈다.

4. 결론

한국인 무릎관절 해면뼈의 기계적 물성값의 차이를 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 무릎관절 넙다리뼈 해면뼈 부분의 탄성계수는 남자 361.11±159.41MPa, 여자 150.31±70.64MPa을 나타냈으며, 압축강도는 남자 6.78±2.90MPa, 여자 2.87±1.41MPa을 나타내 남자가 약 2.4배 높은 결과를 나타냈다.

2. 정강뼈 해면뼈 부분의 탄성계수는 남자 108.82±52.88MPa, 여자 73.47±55.06MPa을 나타냈으며, 압축강도는 남자 2.60±1.38 MPa, 여자 1.76±1.16MPa을 나타내 남자가 약 1.5배 높은 결과를 나타냈다.

3. 통계적 방법을 사용하여 분석한 결과 넙다리뼈 중앙 부분은 안쪽 부분이 높은 강도값을 나타냈고, 앞쪽과 뒤쪽 부분은 가쪽 부분이 높은 강도값을 나타냈다. 정강뼈 부분은 남, 녀 모두 안쪽 부분이 높은 강도값을 나타냈다.

Table 1 Statistical analysis

Bone	Sex	Location	Elastic Modulus[MPa]		P
			Lateral	Medial	Value*
Femur	F	Anterior	134.0 ±70.3	113.2±54.5	0.19408
		Middle	114.6 ±42.1	155.4±57.2	**0.02053**
		Posterior	209.6±81.3	175.1±68.4	0.11767
		Average	152.7±77.1	147.9±64.4	0.37793
	M	Anterior	406.3±114.2	243.3±130.5	**0.02394**
		Middle	278.4±121.6	274.6±142.6	0.47704
		Posterior	483.3± 84.5	480.8±174.1	0.48601
		Average	389.3±134.5	332.9±179.4	0.11179
Tibia	F	Middle	42.1±16.6	104.8±62.5	**0.00062**
	M		62.2±13.2	155.4±29.3	**<0.00001**

Bone	Sex	Location	Ultimate Strength[MPa]		P
			Lateral	Medial	Value*
Femur	F	Anterior	2.91±1.26	1.70±0.95	**0.00379**
		Middle	2.01±0.79	2.83±1.18	**0.01989**
		Posterior	4.24±1.38	3.55±1.22	0.08597
		Average	3.05±1.47	2.69±1.34	0.12123
	M	Anterior	7.40±1.95	4.02±1.56	**0.00092**
		Middle	4.86±1.01	4.99±1.95	0.43194
		Posterior	10.57±1.35	8.87±2.25	**0.04408**
		Average	7.61±2.78	5.96±2.83	**0.02386**
Tibia	F	Middle	1.06±0.41	2.47±1.25	**0.00023**
	M		1.54±0.78	3.66±0.97	**0.00014**

* Significance level(α) : 0.05

참고문헌

1. Roe, S.C, Pijanowski, G.J., and Johnson, A.L., "Biomechanical properties of canine cortical bone allografts-12 years' experience", Clin. Orthop., Vol. 197, No. 44, 1985

2. Linde, F. and Sorensen, H.C., "The effect of different stroage methods on the mechanical properties of trabecular bone", J. Biomechancs, Vol. 26, No. 1249, 1993