

넓다리뼈 머리/목 부분 해면뼈의 기계적 물성

곽대순*(가톨릭대 응용해부연구소), 최광남, 김상국(한국과학기술정보연구원), 이상호, 김태중(한국과학기술정보연구원), 한승호(가톨릭대 응용해부연구소), 오택열(경희대 테크노공학대학)

Mechanical Properties of Trabecular Bone in Femoral Head & Neck

Dai-soon. Kwak*(Catholic Institute for Applied Anatomy), Kwang-Nam. Choi(KISTI), Sang-Kuk. Kim, Sang-Ho. Lee, Tae-Joong. Kim(KISTI) Seung-Ho. Han(Catholic Institute for Applied Anatomy), T.Y. Oh(Kyunghee UNIV)

ABSTRACT

We performed the mechanical test for obtaining properties of femoral head. Tested sample was male and 35 years old. We measured bone mineral density by dual X-ray absorption method(DEXA). Results of DEXA, he has normal condition of bone density. His BMD 1.159g/cm^2 and T-Score is 1.6. Tested femurs were harvested by surgical method from donated cadaver. We made 9 specimens in femoral head, 8 specimens in neck used by diamond core drill. Then we performed compressive test in saline solution at 38°C .

We obtained results that elastic modulus of femoral head was 0.439GPa , neck was 0.459GPa . Compressive strength of femoral head was 7.441MPa , neck was 7.095MPa . There was no significant difference of mechanical properties between left and right femoral head & neck. Invested local properties of femoral head have more strength superior and anterior side, femoral neck has more strength in superior and inferior side but other side except for superior has more weakness along the lateral side.

Key Words : Femur (넓다리뼈, 대퇴골), Bone test (골 물성 시험), Compressive Test (압축시험), Bone Strength(골 강도), Mechanical Property(기계적 물성)

1. 서론

인체 뼈에 대한 강도 시험은 오래전부터 다양한 부위에 다양한 방법으로 시도되고 있다. 인체의 뼈는 크게 해면뼈(trabecular bone)와 겉질뼈(cortical bone)로 구분할 수 있지만 각각의 조직에서도 균질하지 않은 성질로 인해 물성 시험에 많은 변수가 존재한다.

인체 뼈의 경우 시험편 획득 방법에 있어 생체에서 획득하기 힘든 한계가 존재하므로 시신에서 적출된 재료를 대상으로 하는 경우가 많다. 사체에서 시험편을 추출하는 경우 부패 여부, 방부 처리 여부¹⁾, 온도, 습도 등의 보관 조건²⁾, 시험 대상뼈를 적출할 때 처리^{3,4)}, 냉동과 해동의 반복⁵⁾ 등 여러 가지 조건

에 의해 다른 결과를 나타낼 수 있다.

이 연구에서 시험 대상 부분으로 선정된 넓다리뼈(femur) 머리/목(대퇴골두) 부분의 경우 무혈성 괴사에 의해 손상이 많이 발생하는 부분이며, 골다공증 발생시 골절의 위험이 매우 높은 곳으로 알려져 있다. 또한 사고에 의해 많이 발생하는 골절은 아니지만 교통량 증가 및 산업의 발달에 따라 대퇴골두 골절은 증가하는 추세를 보이고 있다⁶⁾.

이 연구에서는 넓다리뼈 머리, 목 부분의 국부적 강도를 파악하기 위하여 한국인 35세 성인 남자 기증 시신으로부터 좌우측 넓다리뼈를 외과적 방법으로 적출하고, 원기둥 형태의 시험편으로 제작하여 압축시험을 수행하였다. 시험편은 머리, 목 부분의 해부학적 좌표를 고려하여 머리부 9개, 목부분 8개

의 시험편을 제작하여 사용하였다. 제작된 시험편은 인체 내부 환경과 유사한 온도의 생리 식염수 환경에서 압축 시험을 실시하여 머리, 목 부분의 각 부분의 탄성계수와 압축강도를 측정하였다.

2. 재료 및 시험방법

2.1 시험대상

시험에 사용된 기증 시신은 사인이 뼈의 강도에 영향을 주지 않는 35세의 성인 남자 시신으로 선정하였다.

Table 1 Materials

Sex	Age	Height	Weight
Male	35	190cm	90kg

이중 에너지 X 선 흡수법(DEXA)을 사용하여 골 밀도를 측정한 결과 BMD 1.158g/cm², T-Score 1.6의 결과를 보여 골다공증 의심이 없는 정상 범위의 골 밀도를 나타냈다(Fig. 1).

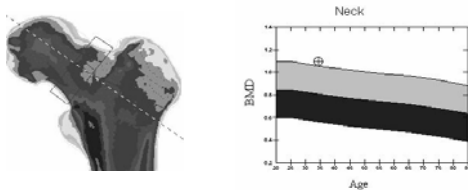


Fig. 1 Bone mineral density by DEXA

Table 2 Results of BMD test by DEXA

Region	Area [cm]	BMC [g]	BMD [g/cm ²]	T-Score
Neck	6.21	6.80	1.094	2.0
Troch	19.08	15.83	0.830	1.1
Inter	31.59	43.31	1.371	1.7
Total	56.89	65.94	1.159	1.6

2.2 시험편 제작

선정된 대상 시신으로부터 왼쪽, 오른쪽 넙다리뼈를 외과적 방법으로 적출하였다. 적출시 뼈의 물성변화에 영향을 줄 수 있는 화학적 처리는 하지 않았으며, 적출 즉시 시험편을 가공하여 시험하였다.

시험편은 다이아몬드 코어 드릴을 사용하여 원기둥 형태의 시험편으로 제작하였다(Fig. 2). 넙다리뼈 머리 부분에서 위치별로 9개의 시험편을 추출하였고, 목 부분은 머리(head)쪽 부분과 돌기(trochanter)쪽 부분으로 나누어 각 부분에서 방향별로 4개의 시험편을 추출하였다.

시험편의 크기는 시험시 시험기와 시험편의 접촉면에서 발생하는 마찰력이 시험결과에 영향을 주지 않도록 길이가 직경의 2배 전후⁷⁾에서 가능한 크게 제작하였다. 시험편의 제작 방향은 머리-목과 축 부분이 이루는 각도(neck angle)와 같은 방향으로 제작하였다.

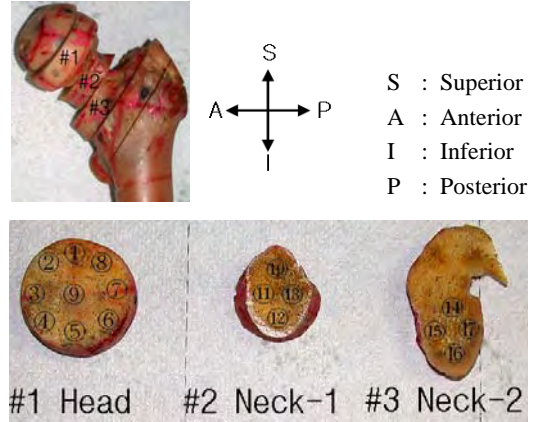


Fig. 2 Drilling position of femoral head

2.3 압축 시험

제작된 시험편은 만능재료시험기(Instron 5567) 장비를 사용하여 시험하였다. 시험방법은 시험편의 크기가 작고, 시험 대상 뼈의 하중 작용방향이 대부분 압축 방향임을 감안하여 압축시험을 수행하였다. 시험은 ASTM E9에 준하여 실시하였다.

시험 재료가 인체의 뼈임을 감안하여 시험 환경은 인체 내부와 유사한 환경을 구현하였다. 온도 조절기능이 있는 순환 펌프를 사용하여 38℃ 생리식염수를 순환시켜 시험편이 식염수에 잠긴 상태를 유지하면서 시험을 수행하였다.

3. 시험 결과

3.1 머리 부분의 압축 강도

넙다리뼈 머리 부분의 압축시험 결과 탄성계수는 평균 0.439GPa, 압축강도는 평균 7.441MPa를 나타냈다. 좌우측 넙다리뼈의 강도 차이는 오른쪽 넙다리뼈가 10% 미만의 약간 높은 값을 보이고 있다(Table 3).

Table 3 Mechanical properties of femoral head

Region	Elastic Modulus [GPa]	Compressive Strength[MPa]
Left	0.416	7.128
Right	0.461	7.753

넙다리뼈 머리 부분의 국부적인 탄성계수 값의

변화를 살펴보면 앞쪽(anterior) 방향이 약간 높은 값을 나타냈고, 아래쪽(inferior) 방향이 낮은 값을 나타냈다(Fig. 3).

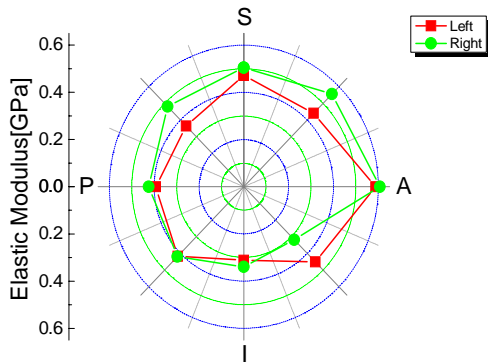


Fig. 3 Elastic modulus of femoral head

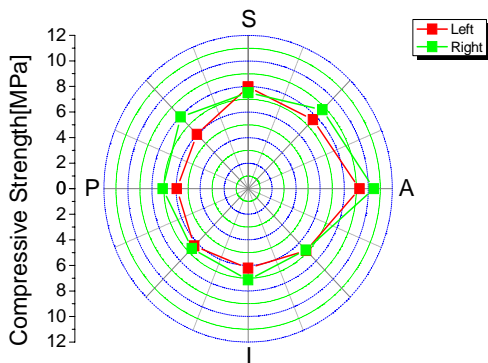


Fig. 4 Compressive strength of femoral head

압축 강도의 국부적인 변화를 Fig. 4에 도시하였다. 탄성계수의 변화와 유사하게 앞쪽 방향에서 높은 강도를 보였고 앞쪽을 제외한 다른 방향의 강도는 비슷한 결과를 나타냈다. 탄성계수와 압축강도의 국부적인 분포는 좌, 우측 넙다리뼈에서 동일한 경향을 보였다(Fig. 3, 4). 이는 엉덩 관절의 운동시 넙다리뼈 머리 부분의 앞쪽과 위쪽이 체중 등의 하중을 많이 지지하는 현상과 관련이 있는 것으로 판단된다.

3.2 목 부분의 압축 강도

넙다리뼈 목 부분은 머리쪽 부분의 Neck-1, 돌기쪽의 Neck-2 부분으로 분리하여 시험편을 제작하고 압축시험을 수행하였다. 목 부분의 탄성계수는 평균 0.459GPa, 압축강도는 평균 7.095MPa 을 나타내 머리 부분이 목 부분보다 약 5% 높은 강도를 보였다 (Table 3, 4). 머리쪽 부분(Neck-1)의 결과가 돌기쪽(Neck-2) 부분의 결과보다 약 37% 높은 강도를 나타냈다.

Table 4 Mechanical properties of femoral neck

Region	Elastic Modulus [GPa]	Compressive Strength [MPa]
Neck-1 L	0.590	8.583
Neck-1 R	0.519	8.805
Neck-2 L	0.360	5.444
Neck-2 R	0.367	5.546

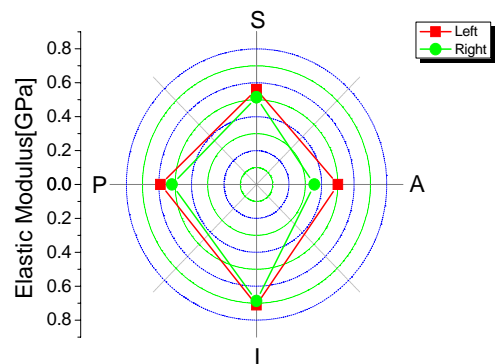


Fig. 5 Elastic modulus of femoral neck-1

넙다리뼈 목 부분의 국부적인 탄성계수 값의 변화를 살펴보면 머리쪽에 가까운 목 부분에서는 몸 아래쪽 방향의 탄성계수가 약간 크게 나타나지만 전체적으로 0.6GPa 정도의 비슷한 값을 나타냈다(Fig. 5). 돌기 부분에 가까운 목 부분에서는 몸 위쪽 방향의 탄성계수는 증가하고, 그 외 다른 부분의 탄성계수 값은 급격히 낮아지는 현상을 보이고 있다(Fig. 6). 이는 목 부분 아래로 작은 돌기 부분(less trochanter)은 걸질뼈의 밀도가 낮고 조직이 성글며, 골수가 존재하기 시작하는 부분이기 때문으로 판단된다.

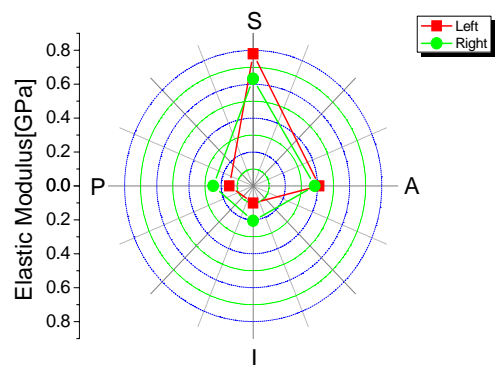


Fig. 6 Elastic modulus of femoral neck-2

넙다리뼈 목 부분의 국부적인 압축강도 값의 변화를 살펴보면 머리쪽에 가까운 목 부분에서는 몸 아래쪽 방향과 뒤쪽 방향의 압축강도가 약간 크게

나타났다(Fig. 7). 낮은 강도를 나타낸 앞쪽과 위쪽의 경우 돌기 부분에 가까운 목 부분에서도 강도값 저하가 나타나지 않았다. 높은 강도를 나타낸 머리쪽 목 부분의 뒤쪽, 앞쪽의 경우 돌기쪽 목 부분에서 강도값 저하 현상이 크게 발생하였다(Fig. 8).

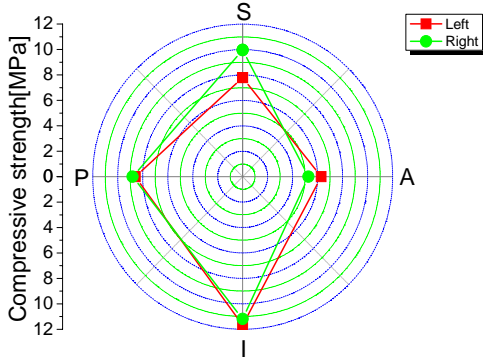


Fig. 7 Compressive strength of femoral neck-1

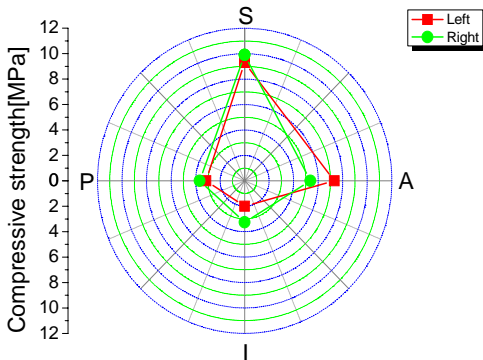


Fig. 8 Compressive strength of femoral neck-2

4. 결론

한국인 성인 남자 넓다리뼈 머리, 목 부분의 국부적 압축 강도를 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 넓다리뼈 머리 부분의 탄성계수는 평균 0.439GPa, 압축강도는 평균 7.441MPa 을 나타냈으며, 좌우측 10% 미만의 강도 차이를 보였다.

2. 넓다리뼈 머리 부분의 탄성계수와 압축강도의 국부적인 값은 앞쪽 방향에서 높은 강도를 보였고 앞쪽을 제외한 다른 방향의 강도는 비슷한 결과를 보였다.

3. 목 부분의 탄성계수는 평균 0.459GPa, 압축강도는 평균 7.095MPa 을 나타내 머리 부분이 목 부분보다 약 5% 높은 강도를 나타냈다.

4. 머리쪽 목 부분의 강도가 돌기쪽 목 부분 보다 약 37% 높은 결과를 보였고, 목 부분의 탄성계수와 압축 강도는 머리쪽 목 부분에서는 아래쪽, 뒤쪽이 높은 강도를 보였으나 돌기쪽 머리 부분에서는 강도값 저하 현상이 크게 발생하였다.

후기

본 연구는 정보통신부에서 후원하고 한국과학기술정보연구원에서 주관하는 2005년 지식정보사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Currey J.D., Brear K., Zioupos P. and Reilly, G.C., "Effect of formaldehyde fixation on some mechanical properties of bovine bone", *Biomaterials*, No. 16, pp. 1267, 1995
2. 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
3. Knaepler, H., Haas, H. and Puschel, H.U., "Biomechanical properties of heat and irradiation treated spongiosa", *Unfallchirurgie*, No. 17, Vol. 194, 1991
4. Smith, C.W., "The mechanical properties of biological materials stored by tissue banks", Ph.D thesis, University of Leeds. U.K, 1995
5. Linde, F. and Sorensen, H.C., "The effect of different storage methods on the mechanical properties of trabecular bone", *J. Biomechanics*, Vol. 26, No. 1249, 1993
6. Brumback RJ, Kenzora JE, Levitt LE, et al, "Fracture of the Femoral Head", *Proceeding of fourteen open scientific meeting of the hip society*, pp. 181-206, 1986
7. Keaveny, T.M., Borchers, R.E., Gibson, L.J. and Hayes, W.C., "Theoretical analysis of the experimental artifact in trabecular bone compressive modulus", *J. Biomechanics*, 26, 599, 1993