

원위 대퇴부의 미세구조 및 기계적 특성 The Microstructural and Mechanical Properties of Human Distal Femur

*김광균¹, #백명현², 원예연³, 이진웅¹

*K. K. Kim¹, #M. H. Baek(mct@ajou.ac.kr)², Y. Y. Won³, J. W. Lee³

¹건양대학교 정형외과학교실, ²아주대학교병원 의료기기임상시험센터, ³아주대학교 정형외과학교실

Key words : Osteoarthritis, Subcondral trabecular bone, Microstructural & Mechanical properties

1. 서론

원위 대퇴부는 퇴행성 무릎관절염(osteoarthritis), 골절 등에 의한 변형으로 정형외과 질환이 가장 많이 발생하는 부위 중 하나이다. 그러나 원위 대퇴부의 미세구조 및 기계적 특성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 특히, 최근 무릎 인공관절 치환수술(total knee arthroplasty)의 발달로 다양한 치환물이 보급되고 있으며, 새로운 물성과 다양한 디자인의 제품이 개발되고 있다. 이에 저자들은 원위 대퇴부 연골 하 해면뼈의(subcondral trabecular bone of the distal femur) 미세구조 및 기계적 특성을 분석하기 위해서 퇴행성 무릎관절염이 있는 것과 없는 카데바(cadaver)를 이용하여 비교 분석하여 무릎인공관절 치환수술법에 기초데이터를 제공하고자 하였다.

2. 대상 및 방법

해면뼈 샘플은 건양대학교병원 해부학실습실에서 카데바 8 구(male 5, female 3)를 사용하였다. 카데바 중 5 구는 퇴행성 무릎관절염이 없었으며(Non-OA 군), 3 구는 심한 퇴행성 무릎관절염(OA 군, severe osteoarthritis)이 있었다.

연골하 해면뼈 샘플을 채취하기 위해서 OA 군과 Non-OA 군 모두 동일한 위치의 원위 대퇴부 내과(medial condyle)에서 그림. 1 과 같이 원통형 해면뼈 샘플을 제작하였다.

해면뼈 샘플은 원통형 톱(Trephine, Arthrex® Φ 11 mm)을 이용하여 직경이 약 10 mm인 원통형으로 제작되었다.

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

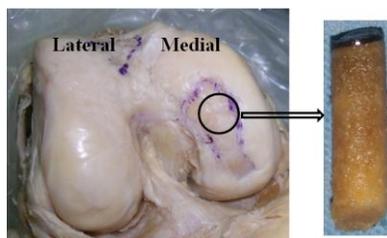


Fig. 1 The shape of the medial condyle with OA (Lt) and a cored bone sample (Rt).

2.1 미세단층촬영

적출된 해면뼈 샘플은 미세단층촬영기(micro-CT, Skyscan-1076, SKYSCAN, Belgium)에 의해서 촬영되었으며, 해상도(spatial resolution)는 24.9 μm였다. 촬영된 영상은 NRecon® (SKYSCAN, Belgium) 소프트웨어를 이용하여 그림. 2 와 같이 2 차원 영상을 재구성하였다.

형태학적 지수(morphometric indices)는 CTAn® (SKYSCAN, Belgium) 소프트웨어를 이용하여 표 1 과 같이 구하였다.

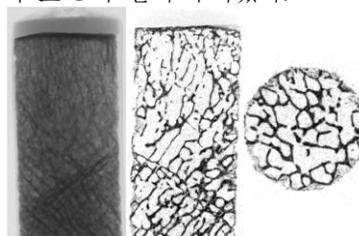


Fig. 2 Micro-images taken from a micro-CT scan (Rt: x-ray transmission image, middle: sagittal image and Lt: cross section image).

2. 유한요소모델의 생성 및 강도분석

미세영상을 BIONIX® 소프트웨어 (Cantibio, Korea)에 적용하여 정육방형모델 (hexahedral mesh model)을 재건하였다. 요소의 크기는 75 μm였으며, 모델의 크기는 직경 6.95 mm 그리고 높이가 7.55 mm로 재건하였다 (그림. 3).

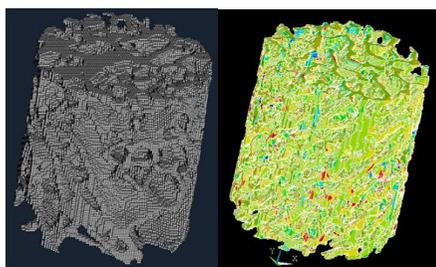


Fig. 3 A 8 node hexa-hedron mesh model (Lt) & the distribution of stress (Rt) in the distal femur.

유한요소해석은 유한요소모델의 하부를 구속하고 상부에 변형률 (strain)을 가하였다. 모델의 변형률과 영률 (tissue modulus)은 사람 종골 (calcaneus)을 대상으로 한 선행연구의 압축실험 결과 값 5.29%와 5.17 GPa 을 적용하였다¹.

기계적 특성은 Ansys® 10.0 (Ansys Inc.)을 이용하여 항복 응력 (yield stress)을 구하였다.

3. 결과

미세구조적 특성과 기계적 특성의 값들은 표 1에 정리하였다.

OA 군은 Non-OA 군에 비해서 형태학적 지수인 골소주 두께(Tb.Th)는 얇고, 골소주 간격(Tb.Sp)은 넓고, 골체적비 (BV/TV)는 낮고, 구조모델지수 (SMI)는 높게 분석되어 상대적으로 막대구조에 가까웠다. 그리고 기계적 특성인 항복응력은 낮게 분석되었다.

Table 1 Bone morphometry indices and yield stress in subcondral trabecular bone of distal femur.

	<i>Tb.Th</i> (mm)	<i>Tb.Sp</i> (mm)	<i>BV/TV</i> (%)	<i>SMI</i> (-)	<i>Yield</i> <i>Stress(MPa)</i>
<i>Non-OA</i>	0.263	0.619	32.099	0.666	9.518
<i>OA</i>	0.242	2.088	29.792	0.784	8.902

4. 결론

퇴행성 관절염은 골다공증과 함께 노인성 질환으로 분류되며, 노화로 인한 연골의 변성변화 또는 외부의 충격으로 인하여 연골이 손상되어 그 기능을 수행하지 못하게 되며, 결국에는 연골이 마모되어 관절 면에 위치한 뼈가 서로 맞닿아 통증을 유발하고 원활한 보행을 제한하게 한다.

모든 관절에는 연골(cartilage)이 존재하며, 이는 뼈와 뼈 사이의 효율적인 윤활 작용으로 보행 및 원활한 활동을 가능하게 하며, 외부의 충격을 흡수하여 뼈를 보호하는 기능을 한다.

본 연구에서 OA 군은 Non-OA 군에 비해서 상대적으로 구조적 특성이 퇴화하는 구조로 그리고 기계적 강도는 낮게 분석되었다.

본 연구의 결과는 김 등²의 선행연구에서 무릎인공관절 치환술시 원위대퇴부와 근위 경골부의 골절제의 정도가 절제면에 미치는 골 강도 및 연골 하 해면뼈가 임플란트의 삽입 시 지지할 수 있는 강도 등에 정보를 제공할 수 있으며, 연골 하 해면뼈의 구조 및 뼈 강도가 퇴화되고 낮기 때문에 골 절제술 시 최대한 뼈를 보존하는 것이 임플란트의 수명에 도움을 줄 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 백명현, 원예연, 최문권, 김영은, “해면뼈의 구조적 특성과 기계적 강도의 상관관계,” 대한골다공증학회지, 7, 84-95, 2009.
2. 김광균, 원예연, 백명현, 최문권, 권순행, 이주홍, 김용범, “경골 골절제의 정도가 절제면의 골 강도에 미치는 영향: 유한 요소 해석을 이용한 연구,”대한정형외과학회지, 44(5), 507-513, 2009