

# 유한요소 해석법을 이용한 반월상 연골 절제술의 생체역학적 평가

배지용<sup>\*,\*\*</sup>, 박진홍<sup>\*</sup>, 송은규<sup>\*\*</sup>, 박상진<sup>\*\*</sup>, 전인수<sup>†</sup>

## Biomechanical evaluation of menisectomy using finite element method

Ji Yong Bae, Jin Hong Park, Eun Kyoo Song, Sang Jin Park, Insu Jeon

**Key Words :** biomechanics(생체역학), finite element analysis(유한요소해석), knee joint(무릎관절), menisci(반월상 연골), menisectomy(반월상 연골 절제술)

### Abstract

To analyze biomechanical effects of various types of menisectomy in the knee joint, the contact area and pressure distribution of intact the knee joint and the operated by various menisectomies were studied by using finite element method their results are compared with each other. In this study, the femur, the tibia, the articular cartilage and the menisci were three dimensionally reconstructed using MR Images of healthy knee joint in full extension of 26 years old male. Also, three dimensional finite element model of the knee joint was constructed including the models of ligaments and tendons on the reconstructed three dimensional model. Bones were considered to be rigid, articular cartilage and menisci were considered as homogeneous, isotropic and linearly elastic materials and ligaments and tendons were modeled as hyperelastic materials. Based on the results, the effects of various types of menisectomy on the knee joints are clearly elucidated.

### 1. 서 론

반월상 연골(menisci)은 체중 및 운동에 의한 하중 전달시 충격의 흡수 그리고 관절의 안정성(stability)과 윤활기능(lubrication)을 제공하는 조직이다. 반월상 연골이 손상되면 관절의 불안정성(instability)이 증가되며 많은 통증을 느낄 수 있다. 이에 대한 다양한 치료법으로서 반월상 연골을 절제하는 반월상 연골 절제술(menisectomy)이 현재 각광을 받고 있다.

본 연구에서는 대퇴골, 경골, 슬개골, 관절연골, 반월상 연골, 주요인대와 건을 포함한 무릎관절의 유한요소모델(Finite Element Model)을 제작하여, 정상인과 반월상 연골 절제술을 시행받은 환자의 접

촉면적(contact area)과 접촉응력(stress)을 각각 유한요소법(Finite Element Method)을 이용하여 비교분석하고 다양한 유형의 반월상 연골절제술에 대하여 생체역학적 영향을 평가하고자 하였다.

### 2. 대상 및 방법

#### 2.1 무릎관절의 재구축 및 유한요소 모델 제작

본 연구에서는 병변이 없는 26 살 남성의 왼쪽무릎관절을 완전히 신전 상태(full extension)일 때, 0.7mm 두께의 시상면(sagittal plane)으로 자기공명단층촬영장치(MRI)를 이용해 촬영하여 단층영상 데이터를 얻어내었다(Fig. 1). 얻어진 영상 데이터를 기반으로 3 차원 재구축 프로그램인 Mimics version 10.0 (Materialise., Belgium)을 이용하여 대퇴골과 경골, 슬개골, 관절연골, 반월상 연골을 재구축 하였고(Fig. 2), 유한요소모델링 프로그램인 Patran version 2005r2 (MSC Software., U.S.A)을 이용하여 힘줄과 건을

† 회원, 전남대학교 기계시스템공학부

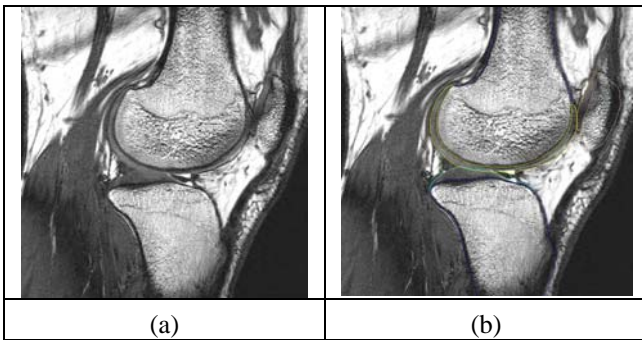
E-mail : i\_jeon@chonnam.ac.kr

TEL : (062)530-1688 FAX : (062)530-1689

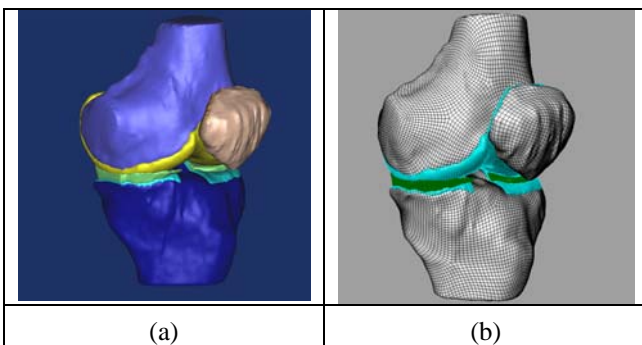
\* 전남대학교 기계공학과

\*\* 화순전남대학교병원 관절센터

포함하여 유한요소모델로 제작하였다. 각 뼈는 강체로 가정하였으며 관절연골과 반월상 연골은 균질재료(homogeneous), 등방성재료(isotropic)로서 선형탄성(elastic) 거동을 보이는 것으로 가정하였다. 인대와 건의 경우 초탄성(hyperelastic) 거동을 나타내는 재료로 모델링 하였다.. 각 모델의 물성치(material property) <sup>(1), (2), (3)</sup> 는 을 참고하여 고려하였다.



**Fig. 1** (a) 무릎관절에 대한 단층영상  
(b) 3 차원 재구축을 위한 이진화의 준비



**Fig. 2** (a) 무릎관절에 대한 3 차원 재구축 모델  
(b) 무릎관절에 대한 3 차원 기하학적 모델

## 2.2 반월상 연골 절제술 후의 모델의 제작과 유한요소모델 제작

정상인의 반월상 연골을 정형외과 전문의에 의하여 작성된 수술 계획에 따라 3 차원 CAD 프로그램인 Rhino version 3.0 (McNeel., U.S.A)을 이용하여, 부분 연골 절제술(partial meniscectomy) 후, 아전 절제술, 전절제술(total meniscectomy) 후의 반월상 연골을 각각 가상수술 하여 제작하였다.

## 2.3 하중 및 구속조건

본 연구에서의 하중조건(Load condition)은 보행시 완전한 신전상태에서의 무릎관절에 작용하는 축 하중 값 1150N 을 대퇴골 윗 면에 적용하였다 <sup>(4)</sup>. 각 모델 사이의 마찰계수(coefficient of friction)

는 윤활액(synovial fluid)에 의해 관절 운동이 잘 된다는 것을 고려하여 0 으로 가정하였고, 경골 원위부(distal)를 구속하였으며, 회전과 병진 모두 제한하였다 <sup>(5)</sup>.

## 3. 결 과

위와 같은 방법에 의하여 제작된 유한요소모델은 약 120,000 개의 절점(node)과 570,000 개의 요소(element)가 사용되었다.

## 4. 향 후 계 획

본 연구의 향후 계획으로 제작된 모델을 ABAQUS (Standard 6.5, ABAQUS Inc, U.S.A)를 사용하여 정적(static) 해석한 후, 얻어진 결과를 바탕으로 각 수술을 시행후의 접촉면적과 접촉응력의 변화를 분석하여 반월상 연골 절제술의 생체역학적 영향을 평가한다. 나아가 다음 연구에서는 다양한 유형의 반월상 연골 손상을 연구하여 각 환자에게 맞는 수술법을 제시 하는 게 이 연구의 최종목표이다.

## 참고문헌

- (1) W. mesfar, A. Shirazi-Adl., 2005, "Biomechanics of the knee joint in flexion under various quadriceps forces", *The Knee*, Vol. 12 (2005), pp. 424~434.
- (2) Beaupre, G.S, D.R Cartner., 1992, "Finite element analysis in biomechanics", *Biomechanics; Structures and Systems; A Practical Approach*. A. A. Biewener (Ed.). New York: Oxford University Press , pp. 149~174.
- (3) M. Z. Bendjaballah, A. Shirazi-Adl, D J Zukor., 1997, "Finite element analysis of human knee joint in varus-valgus", *Clinical Biomechanics*, Vol. 12(1997), No. 3, pp. 139~148,
- (4) Sathasivam. S, Walker. P.S., 1997. "A computer model with surface friction for the prediction of total knee kinematics", *J. Biomech*, vol. 30, pp. 177~184.
- (5) A. Jilani, A. Shirazi-Adl, M. Z. Bendjaballah., 1997, "Biomechanics of human tibio-femoral joint in axial rotation", *The Knee*, Vol. 4 (1997), pp. 203~213.