

슬관절 재전치환술용 경골삽입물 형상이 접촉압력 분포에 미치는 영향

김윤혁*(경희대학교 테크노공학대학), 구교민(경희대학교 테크노공학대학),
권오수(가톨릭의대 의정부성모병원 정형외과)

Effect of stem design on contact pressure distribution of end-of-stem in revision TKR

Y. H. Kim(School of Adv. Tech., KHU) , K. M. Koo(School of Adv. Tech., KHU), and
O. S. Kwon(Dept. of Orthop. Uijeongbu St.Mary's Hospital, Cathloic Univ.)

ABSTRACT

In this study, the effect of stem-end design on contact pressure and stress distribution in revision TKR was investigated using finite element method. The finite element model of tibia, including the cortical bone, the cancellous bone and canal, was developed based on CT images. The stem models with various stem lengths, diameters and frictional coefficients, and press-fit effects were considered. The results showed that the longer stem length, the stronger press-fit, the bigger stem diameter, and the higher frictional coefficient increased both peak contact pressure and the highest Von-Mises stress values. We hypothesized that peak contact pressure and Von-Mises stress distribution around the stem, may be related to the stem end pain. The results of this study will be useful to design the stem end and reduce the end-of-stem pain in revision TKR.

Key Words : Revision TKR(슬관절 재치환술), Finite element analysis(유한요소 해석), Prosthesis(인공 삽입물), Design parameter(설계 인자)

1. 서론

슬관절 재치환술은 심한 골결손, 삽입물의 해리(loosening), 경골부 삽입물의 파손, 감염 등의 이유로 기존에 있던 경골삽입물을 새로운 경골 삽입물로 대체하는 수술이다. 본 연구에서는 슬관절 재치환술에 사용하는 경골삽입물의 주대(stem) 길이, 주대 직경, slot의 유무 등의 형상이 주대 말단 부위의 경골의 접촉압력과 응력의 변화에 미치는 영향을 유한요소 해석 방법을 이용하여 조사하였다.

가정하였다(그림 1).

피질골은 17 GPa의 탄성계수, 0.36의 포아송비, 175 MPa의 항복응력인 유한요소로 개발되었고, 해면골은 탄성계수 300 MPa, 포아송비 0.3, 항복강도 5 MPa인 모델로 각각 개발되었다.

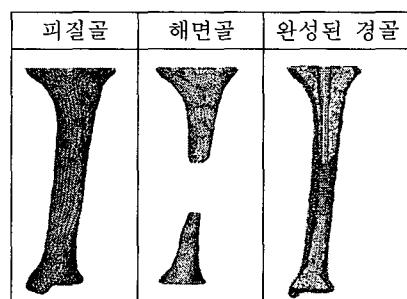


Fig. 1 Finite element model of tibia

2. 재료 및 방법

1) 경골의 유한요소 해석 모델 개발

본 연구에서는 경골에 병변이 없는 26세 남성의 왼쪽 경골을 대상으로 유한요소 해석 시뮬레이션을 수행하였다. 경골의 유한요소 모델링을 위해서 1mm 간격으로 촬영된 경골 CT 이미지를 적층하여 형상 모델을 개발하였다.

유한요소 해석용 경골 모델은 피질골과 해면골로 구분되어 개발되었다. CT 이미지의 명암차이를 이용하여 피질골의 윤곽선과 해면골의 윤곽선을 구분하였다. 이때, 피질골의 안쪽면은 해면골의 바깥쪽면과 일치하도록 하였다. 각각의 요소는 서로 다른 물성치를 가지도록 모델링된 후, 피질골의 안쪽면과 해면골의 바깥면을 완전히 접합시켰다. 또한 겉질뼈와 해면골이 존재하지 않는 경골부 canal은 CT 이미지를 토대로 10mm의 일정한 지름을 가지는 실린더로

2) 경골삽입물의 유한요소 해석 모델 개발

연구에 사용된 경골삽입물은 Wright Medical Technologies사의 직경 10mm, 길이 140mm의 주대를 가지는 모델을 기준으로 주대의 길이, 직경, 슬롯 유무를 변화시켰다(그림 2).

경골삽입물의 모델링을 위해서는 3차원 CAD 프로그램인 CATIA version 5.1(Dassault Systems., USA)을 이용하였고, 유한요소 해석 모델러 프로그램인 FEMAP(V 8.20, Electronic Data Systems Corp., USA)

을 이용하여 유한요소 해석용 모델을 개발하였으며, 유한요소 해석 소프트웨어로 ABAQUS version 6.5 (ABAQUS Inc., USA)를 사용하였다.

경골 삽입물은 동일한 tray에 각기 다른 직경 (10mm, 12mm), 길이(115mm, 90mm, 70mm), slot의 유무 등 다른 형상의 주대를 적용하여 다양한 경골삽입물을 개발하였다(그림 2). 경골삽입물은 Titanium 의 물성치를 적용하였다.

경골삽입물	길이(mm)	직경(mm)	slot 유무
			
Wright Medical Technologies	70	90	115
	10	12	
	유	무	

Fig. 2 3D CAD model of implant for Revision TKR with various stem-end design parameters

3) 경골과 경골삽입물 정렬 및 경골 근위부 절단

Z축과 경골의 종축을 일치시킨 후 경골삽입물이 경골에 삽입되었을 때 경골삽입물이 경골에서 돌출되지 않도록 경골을 전후방면의 시계방향으로 4도, 장축의 시계방향으로 4.1도를 회전시켰다. 경골삽입물과 경골의 종축을 일치시키고 삽입할 경우 경골삽입물의 일부가 돌출되기 때문에 경골의 종축이 경골삽입물의 종축을 기준으로 시계방향으로 4.1도 회전되도록 하였다. 정렬된 경골의 외측 고평부에서 경골삽입물 tray의 두께만큼인 6.7mm 아래쪽으로 절단하였다. 즉 경골의 외측 고평면의 위쪽으로 12mm, 아래쪽으로 6.7mm, 총 18.7mm를 절단하였다.

4) 하중 및 구속조건

본 연구에서는 환자의 무릎에 몸무게의 약 3배인 2000N의 하중이 작용한다고 가정하였다. 하중은 경골삽입물의 내측과 외측에 각각 60:40의 비율로 분포되어 작용하도록 하였다. 이때 경골의 원위부를 고정하였다. tray-경골은 골시멘트의 사용을 고려하여 마찰계수가 0.4가 되도록 접촉조건을 부과했고, 주대-경골은 Press-fit의 적용을 고려하여 마찰계수 0.25를 사용하였다.

3. 결과

절단된 경골에 삽입될 경골삽입물의 길이를 변화시키면서 경골에서의 접촉압력과 Von-Mises응력을 계산하였다. 경골삽입물의 길이가 길어질수록 경골에서의 접촉압력과 응력이 증가하였다(표 1).

경골삽입물의 직경을 10mm, 12mm로 변화시킨 결과 경골삽입물의 직경이 커질수록 경골에 작용하는 접촉압력과 응력이 증가하였다(표 2)

경골삽입물의 형상을 straight와 slot 두 형태의 삽

입물을 경골에 삽입하였을 때 straight 형상인 경우보다 slot이 있는 주대에서의 접촉압력과 Von-Mises 응력이 감소하였다.

Table 1. Peak values of contact pressure and Von-Mises stress in tibia with various stem lengths

	115mm		90mm		70mm	
peak contact pressure(MPa)	7.129		1.603		1.485	
max. Von-Mises stress(MPa)	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.
	5.8	4.0	0.165	0.56	0.18	0.14

Table 2. Peak values of contact pressure and Von-mises stress in tibia with various stem diameters

	10mm		12mm	
peak contact pressure(MPa)	7.129		8.309	
max. Von-Mises stress(MPa)	med.	lat.	med.	lat.
	5.8	4.0	7.8	4.9

4. 결론

본 연구결과에 따르면 경골삽입물의 길이가 길어질수록, 그리고 직경이 클수록 경골에 작용하는 접촉압력과 외측과 내측에서의 응력이 증가하는 경향을 보였다. 또한 Slot의 형상을 한 경골삽입물이 Straight형상의 경골삽입물보다 접촉압력과 응력이 낮게 나타났다. 이러한 해석결과를 높은 접촉압력 및 응력분포가 통통과 연관이 있다는 임상적 연구결과와 연관지어볼 때, 경골 삽입물의 직경과 길이가 증가하고 straight 형상인 경우 환자가 더 많은 통증을 느낄 것이라고 예측할 수 있다. 따라서 경골삽입물의 고정력을 증가시키면서도, 주대 말단에서의 통증을 감소시킬 수 있는 경골 삽입물 설계에 대한 연구가 향후 진행되어야 한다.

참고문헌

- Taylor M., Tanner K. E. and Freeman M. A. R.. Finite element analysis of the implanted proximal tibia: a relationship between the initial cancellous bone stresses and implant migration, Journal of Biomechanics, Vol. 31, pp. 303-310, 1998
- Simon U., Augat P., Ignatius A., Claes L., Influence of the stiffness of bone defect implants on the mechanical conditions at the interface- a finite element analysis with contact, Journal of Biomechanics, Vol. 36, pp. 1079-1086, 2003.