

유한요소해석을 이용한 맞춤형 비구컵의 생체역학적 평가

Biomechanical evaluation of custom made acetabular cup using 3D finite element method

*한성민¹, 추준욱¹, 박성희^{1,2}, 최귀원¹, 윤인찬¹

*S. M. Han¹, J. U. Chu¹, S. H. Park^{1,2}, K. Choi¹, I. Youn(iyoun@kist.re.kr)¹

¹한국과학기술연구원 의공학연구소, ²고려대학교 기계공학과

Key words : THR (Total Hip Replacement), Acetabular cup, FEM (Finite Element Method)

1. 서론

인공고관절 전치환술 (Total Hip Replacement, THR) 은 골반에 직접 결합되는 소켓 형상의 비구컵 (acetabular cup), 대퇴골두를 대체하는 볼 헤드 (ball head), 대퇴골의 골수강 내강에 삽입되는 스템 (stem), 그리고 비구컵과 볼 헤드를 연결하는 라이너 (liner) 로 구성된다. 인공고관절 전치환술은 심한 골관절염이나 류마티스 관절염, 선천성 기형 등의 질환에 유용한 치료기술이며[3], 고관절 질환에 대한 통증을 완화시키고 운동범위를 회복시키는데 가장 일반적이고 효과적인 치료방법으로 인정받고 있다[1]. 그러나 인공고관절의 평균 수명은 10~15년으로 그 기간이 지나면 재수술을 필요로 하고 있다. 재수술 시에는 골손실이 따르게 되어 고정부위의 제한, 골지지대 부족 등의 문제점이 발생하게 되고 이러한 골손실은 기존의 규격화된 제품의 사용시 골 조직과의 정합상태의 불량을 가져오기 된다. 또한 우리나라에서 사용되는 대부분의 인공관절이 수입에 의존하고 있으며 선천성기형과 같은 경우 규격화된 제품을 사용하여 시술하였을 경우, 다리 정합 상태가 맞지 않아 다리의 길이뿐만 아니라 인대와 근육의 길이 차이를 발생 시키게 된다. 이로 인해 발생하는 잘못된 보행 패턴이나 관절 운동은 인공고관절의 해리와 마모에도 큰 영향을 끼칠 수 있어서 환자의 비구부의 형상에 적합한 맞춤형 비구컵의 개발을 필요로 하고 있다.

이에 본 연구에서는 CT 기반으로 환자의 3차원 골반 영상을 재구성하고 이를 이용하여

환자의 비구부에 최적의 정합상태를 가지는 맞춤형 비구컵을 설계한다. 그리고 완성된 비구컵과 3차원 골형상을 이용하여 유한요소분석 (finite element method, FEM) 을 통한 비구컵의 생체역학적 특성에 대하여 분석한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 맞춤형 비구컵을 설계하기 위하여 환자의 골반을 1.5mm 로 찍은 CT 데이터를 3차원 이미지 전문 프로그램 (Mimics; Materialise, Louvain, Belgium) 을 이용하여 골반의 3차원 외곽선 데이터를 획득하였다. 비구컵은 (주) 코렌텍에서 생산되는 52mm-revision-cup 을 사용하였고, 골반 형상에 맞도록 플랜지 (flange) 의 위치와 형상을 설계하였다. 골고정 나사는 골반의 골두계를 고려하여 최소길이 15mm 에서 최대길이 35mm 로 조절하며 삽입하였고 해석의 편의를 위하여 나사선 (thread) 은 설계하지 않았다. 비구컵은 비구부 관절면을 외전각 (abduction) 45°, 전경각 (anterversion) 15° 가 되도록 다듬은 후 결합하였다.

완성된 3차원 모델은 상용 유한요소 모델링 패키지인 하이퍼메쉬 (Hypermesh 8.0, Altair Engineering) 를 이용하여 10절점 테트라 요소와 8절점 헥사 요소를 결합하여 구성하였다. 골반의 피질골 (cortical bone) 은 1mm 두께로 균일하게 모델링 하였으며 각각의 접촉면은 마찰계수를 고려한 면 접촉 (contact surface) 조건을 적용하였다. 물성치는 표 1 과 같으며 Hsu 의 논문을 참고하였고[2], 각 요소들은 등방성

(isotropic) 과 동질성 (homogeneous) 하다고 가정하였다. 하중은 고관절에서 발생하는 최대 하중인 2.13 kN 을 볼 헤드의 중심에 가하였고, 경계조건으로는 천골장골 (sacroiliac) 과 두덩결합 (pubic symphysis) 을 완전구속 하였다. 완성된 유한요소 모델은 아바쿠스 (ABAQUS 6.9, Dassault system) 를 사용하여 정적해석을 실시하였다.

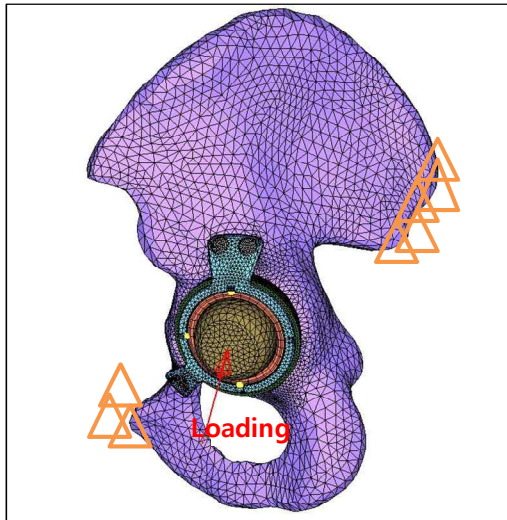


Fig. 1 Load and boundary conditions of finite element model. Load was concentrated in center of ball head while sacroiliac and pubic symphysis was constrained.

Table 1. Material properties used in FE models

Component	Elastic Modulus(MPa)	Poisson's ratio
Acetabular cup	105,000	0.3
Screw	105,000	0.3
Ball head	380,000	0.245
liner	380,000	0.245
Subchondral bone	500	0.3
Cancellous bone	100	0.3
Cortical bone	5600	0.3

3. 결과

라이너에서 발생한 최대응력은 141.4MPa 로 A-P (anterior and posterior) 방향의 안쪽면과 S-I (superior and inferior) 방향의 바깥면에 큰 응력이 발생하였다. 그러나 발생한 최대응력이 라이너의 항복응력인 580 MPa 의 약 24 % 수준으로 임상 적용 시 안정하다고 판단된다.

비구컵의 경우 최대응력은 superior 방향의 플랜지와 비구컵의 결합부위에서 105.4 MPa 이 발생하였고, inferior 방향의 플랜지와 비구컵의 결합부위에서 73.3 MPa 이 발생하여 플랜지와 비구컵의 결합부위에서 응력이 크게 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 비구컵의 항복응력인 900 MPa 에 비하여 발생한 최대응력 105.4 MPa 은 약 12 % 수준으로 임상에서의 사용에 문제가 없을 것으로 판단된다.

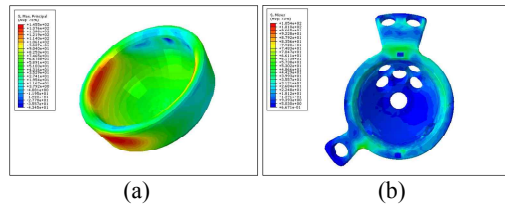


Fig. 2 Stress distribution in the finite element model. (a) Liner (b) Acetabular cup

4. 결론

맞춤형 비구컵을 설계하고 유한요소해석을 통하여 환자 골반에서의 생체역학적 평가를 실시하였다. 해석결과 설계된 라이너와 비구컵에서 발생한 최대응력이 제품의 항복응력보다 낮게 측정되어 설계된 비구컵의 안정성을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 2011 년도 지식경제부지정 바이오의료기기 산업원천기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음 (10029938).

참고문헌

1. Fagan, M.J., and Lee, A.J.C., "Material selection in the design of the femoral component of cemented total hip replacements," *Clinical Materials*, 1, 151-167, 1986.
2. J.T. Hsu, K.A. Lai, Q.S. et, al., "The relation between micromotion and screw fixation in acetabular cup," *Computer Methods and programs in biomedicine*, 84, 34-41, 2006.
3. V.C. Mow and W.C. Hayes : *Basic Orthopaedic Biomechanics Second Edition*, Lippincott-Raven, 1997.