

# 인공 고관절 삽입 후 근위 대퇴골의 미세구조에서 발생하는 응력분포해석

류승현\*, 최준원\*, 김정진\*

\*계명대학교 기계공학과

e-mail : bestryu234@gmail.com

## Stress Distribution Analysis in the Bone Microstructure of proximal femur after Artificial Hip Insertion

Seung Hun Ryu\*, Jun Won Choi\*, Jung Jin Kim\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University

### 요약

인공 고관절 전치환술 이후 발생하는 인공 고관절의 해리 현상을 분석하기 위해서 인공 구조물이 삽입된 골격계에서의 구조적 거동 분석은 매우 중요하다. 이러한 현상을 분석하기 위해 다양한 연구들이 진행되어왔지만 대부분 골 밀도 기반에서의 연구가 진행되었다. 다만, 정확한 구조적 거동 분석을 위해서는 골 미세구조를 고려한 분석이 필수적이다. 따라서 본 연구는 근위 대퇴골에 인공 고관절이 삽입되었을 때 골 미세구조에서의 응력분포 분석을 목표로 한다. 연구 결과 소주골과 치밀골에 대비하여 대퇴 스템에서 많은 응력이 발생하였다. 이러한 응력분포는 삽입 골의 구조를 약화시키고 결국 해리를 일으키는 현상과 일치한다.

### 1. 서론

### 2. 본론

대퇴골두 무혈성 괴사는 대퇴골두로의 혈류가 줄어들어 따라 영양분 부족으로 골의 괴사를 일으키는 골 질환이다. 이 질환은 고관절의 자유로운 보행과 운동을 불가능하게 할 뿐만 아니라 극심한 통증도 수반한다. 특히 발병 시 특별한 자각 증상이 없어 더욱 주의가 요구되는 질환이다.

대퇴골두 무혈성 괴사의 치료는 현재 수술이 유일하며 인공 고관절 전치환술(Total Hip Replacement; THR)이 대표적이다. 특히 골절 질환이 동반된 노인 환자들에게 매우 성공적인 수술법으로 알려져 있다. 다만, 인공 고관절은 삽입부 주변의 정상골 대비하여 높은 강성으로 인해 해리 현상을 발생시키고, 다양한 합병증을 유발한다.

인공 고관절의 해리 현상을 분석하고 예방하기 위해 많은 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이전 연구자들은 골 밀도 영상 기반을 이용하여 해리 현상을 분석하고자 하였다[1, 2]. 다만, 골 밀도 영상은 골과 인공 고관절의 응력분포의 상이함을 표현할 수 있지만, 미세구조의 특징을 반영하지 못해 정확한 분석에 한계점이 있다. 정확한 해리 현상의 분석을 위해서는 골 미세구조의 거동 분석이 필수적이다.

이에 본 연구에서는 인공 고관절이 삽입된 근위 대퇴골의 골 미세구조에서의 응력분포 해석을 목표로 한다.

본 연구에서는 대퇴골두 무혈성 괴사의 대표적 환부인 근위 대퇴골을 인공 고관절 삽입 골격계로 선정하였다. 해당 골격계는 위상최적설계로 생성된 2차원 근위 대퇴골로, 임상 해상도(해상도: 600  $\mu\text{m}$ )를 가지며 94.2 mm  $\times$  104.4 mm 크기를 갖는다. 인공 고관절 형상 치수는 높이 93 mm, 길이 60 mm의 크기를 갖는다.

본 연구에서는 유한요소해석을 통해 인공 구조물이 삽입된 근위 대퇴골의 골 미세구조에 대한 응력분포 분석을 수행하였다. 이를 위해 유한요소 모델은 24,690개의 절점과 600  $\mu\text{m}$  크기의 10,130개 2차원 요소로 구성되었다. 각 요소에 사용된 포아송비(Poisson's Ratio)는 0.3으로 동일하게 부여하였다. 요소의 탄성계수 값은 요소의 밀도 값을 기반으로 이전 연구에서 제안된 변환식을 사용하여 부여하였다[3].

$$E_i = 0.6850(2\rho_i)^{1.49} \text{if } \rho_i \leq 0.84$$

$$E_i = 0.4293(2\rho_i)^{2.39} \text{if } \rho_i > 0.84$$
식(1)

본 연구에서의 유한요소 해석은 ANSYS의 Mechanical APDL 2022 R1과 개인용 데스크탑 (CPU : intel(R)

Core(TM) i5-8250U , Ram : 16384MB , GPU : Intel[R] UHD Graphics 620 )을 이용하여 수행하였다. 그리고 2차원 요소는 ANSYS의 Plane 42를 이용하였다.

인공 구조물이 삽입된 근위 대퇴골의 골 미세구조에서 응력분포의 분석은 외발 서기 하중 조건 아래 해석하였다. 경계조건은 근위 대퇴골 모델을 구성하는 하부의 모든 노드에 자유도를 구속하여 수행하였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 인공 구조물이 삽입된 근위 대퇴골의 미세구조에서 발생하는 응력분포를 분석하였다. 인공 고관절이 삽입된 근위 대퇴골 주변부에서의 응력분포는 대퇴 스템(Stem)이 받는 응력에 비해서 미세했다. 또한 인공 고관절이 삽입되지 않은 근위 대퇴골의 치밀골 대비 인공 고관절이 삽입된 모델의 치밀골에서 더 적은 응력분포를 확인하였다. 이러한 결과는 인공 고관절이 삽입된 근위 대퇴골의 치밀골 대신 대퇴 스템(Stem)이 대부분의 응력을 받아 응력방패 현상이 발생시키고 해리 현상으로 이어질 가능성이 크다는 것을 의미한다.

즉 근위 대퇴골의 골 미세구조에서의 응력분포를 해석하여 더욱 정확한 응력방패 현상의 발생을 예측하여 인공 고관절의 생체역학적으로 안전한 설계가 가능할 것으로 예상된다. 또한 후속 연구로 진행될 골 미세구조의 표현이 더 뚜렷한 고해상도에서의 연구 수행은 더욱 정확한 응력 방패 현상의 예측에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] Sung Kon Kim, "A Finite Element Analysis of Stress on the Femoral Stem with Resorption of Proximal Medial Femur after Total Hip Replacement," J. of KSOMBE, vol. 15, no. 2, pp. 172-180, 1994.
- [2] Jae Youn Jeong, Woonbong Hwang and Sung Kyu Ha, "Structural Analysis and Design of Artificial Hip Joint by Using Finite Element Method," J. Composites Research, vol. 12, no. 5, pp. 98-109, 1999.
- [3] I. G. Jang and I. Y. Kim, "Computational study of Wolff's law with trabecular architecture in the human proximal femur using topology optimization," J. Biomech., vol. 41, no. 11, pp. 2353 - 2361, 2008.