

골용 스캐폴드 삽입에 따른 근위 대퇴골의 관심영역별 구조적 거동 변화 분석

최준원, 김정진
계명대학교 기계공학과
e-mail: tlrp3448@gmail.com

Structural Behavior Change Analysis by Region of Interest in The Proximal Femur According to The Bone Scaffold Implantation

Jun Won Choi, Jung Jin Kim
Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University

요약

골용 스캐폴드는 골 손상 부위에 삽입되어 외부 하중을 지지할 뿐만 아니라 주변 세포들을 활성화 시켜 구조적 거동을 가능케 하는 인공 구조물이다. 이러한 골용 스캐폴드의 다양한 기능을 대체하기 위해서는 정성골의 조성과 기계적 특성을 비슷하게 재현하거나 모방하는 것이 중요하다. 최근 골용 스캐폴드 관련 연구들이 활발하게 이루어졌지만, 삽입부 주변의 구조적 거동 분석은 미비한 상황이다. 이에 본 연구에서는 골용 스캐폴드가 삽입된 근위 대퇴골의 구조적 거동 변화를 분석하고, 구조별 스캐폴드의 강성과의 관계성에 대해 분석하였다. 그 결과 스캐폴드 자체의 강성을 높이는 구조보다는 삽입부 정상골과 유사한 거동을 보이는 스캐폴드가 삽입부 주변에 미치는 영향이 적은 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

뼈는 기계적 기능(Mechanical Function)과 생물학적 기능(Biological Function), 화학적 기능(Chemical Function) 등 다양한 기능을 수행하고 있다. 다양한 뼈의 기능을 대체하기 위해 골용 스캐폴드 관련 연구들은 정상골의 조성과 기계적 특성을 재현하거나 모방하는 것에 중점을 두고 있다. 최근 3D 프린팅 기술의 발전과 함께 제작 방법뿐만 아니라 재료, 구조 등 다양한 연구들이 진행되고 있다[1]. 또한 Choi and Kim은 이전 연구를 통해 구조별 스캐폴드 강성과 삽입 주변부의 구조적 거동과의 관계성에 대해 분석한 바 있다[2]. 다만, 골용 스캐폴드 삽입 부위를 대퇴골두로 한정하여 진행하였으며, 스캐폴드의 탄성계수가 치밀골의 탄성계수와 동일하다는 가정하에 진행되었기 때문에 이전 연구에 대한 검증이 필요한 상황이다.

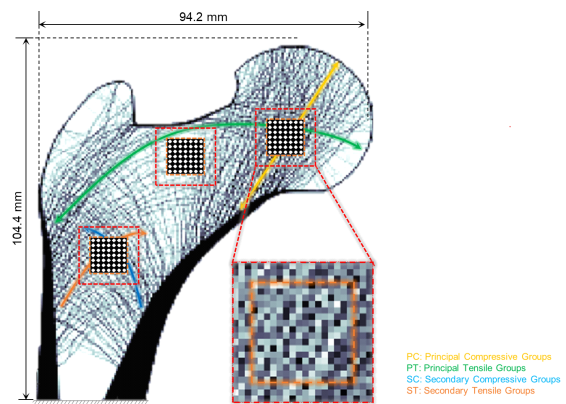
본 연구에서는 임상 주로 사용되는 원형, 삼각형, 사각형 스캐폴드를 정의한 뒤 대퇴골두, 대퇴경부, 대퇴전자간 부위에 삽입하여 3가지 하중 시나리오 아래 구조적 거동의 변화를 분석하였다. 그리고 다공성 구조별 스캐폴드의 겉보기 탄성계수를 계산하여 거동 변화량과의 관계성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 근위 대퇴골 모델과 골용 스캐폴드 삽입 부위

본 연구에서 골용 스캐폴드 삽입 부위에 따른 관심 영역별 구조적 거동 변화를 분석하기 위해 2차원 임상 해상도를 갖는 유한요소 모델을 생성하였다. 해당 모델의 크기는 길이 94.2 mm, 높이 104.4 mm이다.

골용 스캐폴드 삽입 부위는 Wolff's Law에 근거한 근위 대퇴골의 주요 골 미세구조를 포함하는 대퇴골두, 대퇴경부, 대퇴전자간 부위로 선정하였다[3].



[그림 1] Bone Scaffold implantation site in the proximal femur

2.2 골용 스캐폴드

본 연구에서는 임상에서 주로 사용되는 원형, 삼각형, 사각형 다공성 구조를 갖는 스캐폴드를 정의하였다. 해당 스캐폴드의 크기는 길이 10.4 mm, 높이 10.4 mm로 모두 동일하다. 골용 스캐폴드의 기공 크기는 0.65 mm로 모두 동일하다.

2.3 근위 대퇴골과 골용 스캐폴드의 물성치

유한요소해석을 위해 근위 대퇴골 골밀도 기반의 모델을 탄성계수 변환 식을 이용하여 탄성계수 모델로 변환하였다[4]. 스캐폴드의 경우 PLGA 재료를 사용하여 233.71 ± 7.57 MPa의 탄성계수를 정의하였다.

$$\begin{aligned} E_i &= 0.6850(2\rho_i)^{1.49} \text{if } \rho_i \leq 0.84 \\ E_i &= 0.4293(2\rho_i)^{2.39} \text{if } \rho_i > 0.84 \end{aligned} \quad \text{식(1)}$$

2.4 스캐폴드의 강성과 삽입 주변 거동 변화와의 관계

스캐폴드가 삽입된 주변부와 정상골 주변부의 변형에너지 차이를 이용하여 구조적 거동을 분석하였다. 또한 삽입 주변부와 구조별 스캐폴드의 압축 시뮬레이션을 통해 계산된 강성과의 관계성에 대해 분석하였다.

3. 결론

본 연구에서는 골용 스캐폴드가 삽입된 근위 대퇴골의 구조적 거동을 정량적으로 분석하였다. 또한 구조별 스캐폴드의 겉보기 탄성계수와 삽입부 주변의 구조적 거동과의 관계성에 대해 분석하였다. 그 결과 대퇴골두와 대퇴경부의 경우 원형 스캐폴드가 삽입되었을 경우 삽입부 주변에 영향을 가장 적게 미치는 것을 확인하였다. 대퇴전자간의 경우 삼각형 스캐폴드가 삽입되었을 경우 삽입부 주변에 미치는 영향이 가장 적었다. 다만, 구조별 스캐폴드의 강성과 비교해보았을 경우 스캐폴드 자체의 강성을 높이는 구조보다는 삽입부 정상골과 유사한 거동을 보이는 스캐폴드가 삽입부 주변에 미치는 영향이 적음을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구를 통해 골용 스캐폴드와 삽입부 주변의 거동과의 관계성에 대해 검증할 수 있었다.

참고문헌

[1] Y. Wang, X. Ma, W. Chai, and J. Tian, "Multiscale Stem Cell Technologies for Osteonecrosis of the

Femoral Head," *Stem Cells Int.*, vol. 2019, pp. 1 - 13, Jan. 2019.

[2] J.W.Choi and J.J.Kim, "Structural Behavior Analysis According to Porous Structures of The Bone Scaffold in The Femoral Head," Under review

[3] J. Wolff, "Das Gesetz der Transformation der Knochen," *DMW - Dtsch. Medizinische Wochenschrift*, vol. 19, no. 47, pp. 1222 - 1224, Nov. 1893.

[4] 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.