

대퇴골두 무혈성 괴사증에 있어서 괴사 영역의 위치와 천공방향의 변화에 따른 대퇴골두 괴사영역에서의 응력 변화 분석에 대한 생체역학적인 고찰

°임도형, 이성재, 김정성\*, 신정욱, 김용식\*\*

인제대 보건대학 의용공학과, \*삼성종합기술원 의료전자 Lab, \*\*가톨릭의과대학 정형외과

## A Biomechanical Analysis of Stress Transfer Behaviors Within the Necrotic Area of Femoral Head secondary to Changes in Core Placement Direction on Various Distributions of Necrotic Areas in the Osteonecrosis of the Femoral Head

°D. H. Lim, S. J. Lee, J. S. Kim\*, J. W. Shin, and Y. S. Kim\*\*

Department of Biomedical Engineering, College of Health, Inje University

\*Samsung Advanced Institute of Technology, Medical Electronics Lab

\*\*Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Catholic University

### ABSTRACT

The purpose of this study was to test the hypothesis that even very small change of the core direction in the treatment of the early osteonecrosis could affect the outcomes of operation. For this, the changes in stress transfer within the necrotic area of the femoral head were investigated under various directions and placements of the core utilizing finite element method. The loading of 3188N, which represents after-heel-strike, was imposed in cubic cosine pattern. All nodes on the most distal surface of the model were constrained in all directions. All materials included were assumed to have linear-elastic behavior. The result says that the critical stress, which causes collapse of the femoral head, was reduced when the core was oriented toward the posterior side of the femoral head regardless of location of the necrotic area. The same result was obtained either fibular bone grafting or cementation was adopted. As a consequence, the biomechanical study suggests that the core should be directed toward the loading point where the resultant force is applied to get more desirable treatment of the osteonecrosis of the femoral head in the early stage.

### 서 론

초기 대퇴골두 무혈성 괴사증(ONFH) 치료에 있어서 핵심 감압술, 비골 이식술, 그리고 시멘트

(polymethylmethacrylate, PMMA) 충전술의 수술 기법등이 괴사골내의 응력을 감소시키며, 구조적 지지력을 증가시켜 골두의 함몰을 연장시키는데 효과가 있다고 보고되고있다[1][2][3]. 또한 천공 방향을 고려한 경우에 있어서는 천공 방향을 대퇴골두의 내측방향으로 설정 한 것 보다 외측방향으로 설정하는 것이 초기 대퇴골두 무혈성 괴사증을 치유하는데 있어 더 좋은 효과를 보인다고 보고되어지고 있다[2]. 그러나 임상에서 일반적으로 발생되어지는 괴사골의 위치[4]를 고려하여 대퇴골의 전·후 방향으로 천공영역을 설정하여 괴사골내의 응력 분포를 고찰한 연구는 수행되어지지 않았다. 따라서 본 연구는 초기 무혈성 괴사증의(ONFH) 치료에 있어서 천공방향의 미소한 차이가 수술의 결과에 영향을 미칠 수 있다는 배경[3]과 임상에서 일반적으로 발생되어지는 괴사골의 위치를 고려하여 천공 방향을 변화 시켰을 때의 괴사골내의 응력 분포 변화를 유한요소법을 이용하여 생체역학적인 관점에서 고찰하였다.

### 재 료 및 방 법

본 연구에서 구현된 해부학적인 3차원 유한요소모델은 본 실험실에서 구현한 이전의 연구를 기초로 하여 구현하였다[1]. 이렇게 구현된 모델은 시술 방법, 괴사영역의 위치 그리고 천공방향을 변수로 설정하여 총 27(3 x 3 x 3)개의 모델을 구현하였다. 본 연구에서 구현된 괴사영역의 위치는 대퇴골두의 전상방 영역을 기준(Type 1)으로 하여 후 (posterior)방향으로 20° (Type 2), 40° (Type 3) 씩 이동시켜 괴사골 영역의 위치를 설정하였다. 천공의 설정은 천공의 침투깊이를 연골하골로부터 5mm 지점까지 설정하였으며 천공의 방향은 천공 영역의 주입 위치를 동일하게 한 후 골두의 중심으

로 향하는 모델(Type C), 골두의 중심에서 전(anterior)방향으로 3° 이동시킨 모델(Type A), 골두의 중심에서 후(posterior)방향으로 3° 이동시킨 모델(Type P)의 3개의 모델을 구현하였다. 하중의 설정은 가장 높은 응력값이 나타나는 heel-strike 직후의 3188N을 문헌[5]에 근거하여 cubic cosine 분포로 설정하였으며 구속 조건은 모델의 최하단부를 완전히 고정 시켰다. 이렇게 구현된 모델은 범용유한요소 프로그램 ANSYS®5.3(Swanson Analysis System, Inc., Houston, PA, U. S. A.)을 이용하여 수행되어졌다. 그리고 수술 후의 괴사골내에서의 응력 이동 현상을 고찰하기 위하여 수술 전 괴사골내의 응력 부피비에 대한 수술 후 괴사골내의 응력 부피비의 차이를 고찰 하였으며 비골 이식편이나 시멘트에 의한 괴사골내의 응력 흡수 정도를 예측하기 위하여 골두 정점에서 수직하로 4-6mm에 위치한 괴사골내 국소영역의 Peak von Mises Stress(PVMS)를 정규화 한 후 괴사골내의 응력 감소량을 각 각의 모델에 대하여 비교·분석하였다.

결 과

비골 이식술과 시멘트 충전술 이 후의 괴사골두내의 von Mises 응력 부피비를 반복하중하에서 대퇴골두의 안전이 위협 될 수 있는 5-11MPa의 중간 단계, 항복 응력을 넘어서는 11MPa 이상의 위험단계로 구분한 후 괴사 모델을 기준으로 하여 수술 후 모델에 대한 von Mises 응력 부피비 차이를 Table 1에 나타내었다. 비골 이식술과 시멘트 충전술의 모든 모델에 있어서 골두 함몰에 영향을 미칠 수 있는 중간단계와 위험단계의 von Mises 응력 부피비가 감소됨을 알 수 있었다. 또한 천공이 후(Posterior) 방향으로 향했을 경우, 중간 단계에 있어서는 비골이식술의 Type P2가, 위험단계에 있어서는 비골 이식술의 Type P1이 가장 큰 응력 부피비 감소가 발생되었다. 특히, 시멘트 충전술의 위험 단계에 있어서는 최대(Type P1)· 최소(Type A1) 응력 부피비 감소량의 차이가 약 12배 정도가 되었다. 그리고 골두 정점에서 수직하로 4-6mm에 위치한 괴사골내 국소영역의 Peak von Mises Stress (PVMS)의 감소량을 Fig 1 에 나타내었다. 모든 모델에 있어서 괴사골의 위치 및 시술 방법에 상관 없이 천공의 방향을 후방향으로 향하게 했을 때, PVMS 감소량이 가장 많음을 알 수 있었다. 특히, 비골 이식술의 Type P2의 경우에 있어서, 가장 큰 PVMS 감소량이 발생되었으며 Type A1의 경우에 있어서는 PVMS 감소량이 가장 작았다.

결 론 및 고 찰

본 연구의 결과를 결론 내리면 첫째, 시멘트 충전술과 비골이식술의 비교에 있어서 괴사영역등과 같은 다른 어떠한 변수를 설정하더라도 그 결과에 있어서 커다란 차이를 나타내지 않았다. 따라서 시멘트 충전술이 비골 이식술의 역학적, 구조적 이점을 충분히 수행 할 수 있다고 사료된다. 두 번째 천공 영역의 설정시 대퇴골두의 하중지점을 고려하여 천

공방향을 설정하는 것이 초기 무혈성 괴사증 치료에 있어서 더 좋은 예후를 보일 것이라고 판단되어진다. 그리고 일반적으로 발생하는 괴사영역의 위치를 고려하여 천공 방향을 대퇴 골두의 전·후 방향으로 설정한 점에 있어서, Brown등[2]의 연구보다 더 임상적 접근에 근접하였다고 사료된다.

Table 1. Relative volumetric percent change(%) in Von Mises stress distribution within the necrotic region due to surgery

Model Type	Stress level & Surgical Method			
	5 -11 MPa		Over 11MPa	
	Grafted Method	Cemented Method	Grafted Method	Cemented Method
Type A1	-3.05	-2.54	-0.30	-0.21
Type A2	-3.25	-2.85	-0.28	-0.24
Type A3	-3.04	-2.79	-0.25	-0.25
Type C1	-4.98	-4.40	-1.29	-1.20
Type C2	-4.84	-4.13	-1.30	-1.26
Type C3	-4.33	-3.70	-1.55	-1.60
Type P1	-6.23	-4.88	-2.53	-2.48
Type P2	-6.31	-5.67	-1.96	-1.79
Type P3	-4.61	-3.80	-2.37	-2.19
Average	-4.52	-3.86	-1.31	-1.25

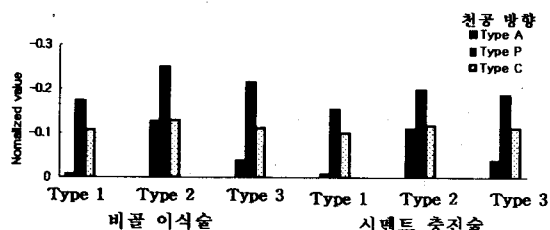


Fig 1. 대퇴골두 정점에서 수직하로 4-6mm 아래에 위치한 지점의 PVMS를 정규화한 값

참 고 문 헌

- 김정성, 이성재 : 대퇴골두 무혈성 괴사증의 수술기법 적용 후 괴사 망상골 내에서의 응력 변화 해석. 의용생체공학회 추계학술대회 논문집, 19(2):245-248, 1997
- T.D. Brown, D.R. Pedersen and K.J. Baker, "Mechanical consequences of core drilling and bone grafting on Osteonecrosis of the Femoral head", J. Bone and Joint Surg., vol. 75-A, no. 9, pp.1358-67, Sep. 1993
- A.R. Penix, S.D Cook, H.B Skinner et al., Femoral head stresses following cortical bone grafting for aseptic necrosis-A Finite element study. Clin Orthop, Mar 1983, 173: 159-165
- M.E. Steinberg, The hip and its disorders. 1st ed. Philadelphia, W. B. Saunders Company, 1991: 623-647
- P. Brinckmann, W. FrobinM, E. Hierholzer, Stress on the articular surface of the hip joint in healthy adults and persons with idiopathic osteoarthritis of the hip joint. J Biomech, 1981, 14(3): 149-156