

대퇴 골두내 무혈성괴사 영역에 따른 응력변화 분석 -3차원 유한요소법을 이용한 분석-

강승백, 주원, 김영민*, 김희중#, 최재봉, 최귀원

*서울대학교 의과대학 정형외과학교실, 한국과학기술연구원 의과학연구소

A Finite Element Analysis of the Effects of Necrotic Area on Stresses in Early Osteonecrosis of Femoral Head

S. B. Kang, Y. M. Kim*, H. J. Kim*, W. Joo, J. B. Choi and K. Choi

Biomedical Research Center, KIST

Department of Orthopedic Surgery, Seoul National University College of Medicine

ABSTRACT

Using FEM, we analyzed the stress changes on early osteonecrosis of femoral head as the necrotic area increases. A 3D FEM model of proximal femur was made from the CT scan data of fresh frozen adult proximal femur with the material properties from literature. The model consisted of 5994 elements and 5275 nodes. FE analyses were performed using MSC/NASTRAN.

At normal states, stress transmission is mainly along the primary compression trabeculae(PCT). Until 60% involvement of PCT with necrotic lesion, stress transmission is still along the remained PCT. When the PCT involvement is from 60% to 85%, stress transmission is along the PCT and margin of the necrotic lesion. When involvement is more than 85%, stress is mostly transferred to posterior part of femoral head.

서론

대퇴골두 무혈성 괴사증에서는 괴사부위의 생역학적 물성값의 변화로 인하여 대퇴골두내의 정상적인 응력분포의 변화가 초래된다. 이로 인하여 골두의 붕괴가 초래되고, 고관절의 기능적 장애가 유발된다. 최근에 이러한 붕괴에 영향을 미치는 임상적, 방사선학적 요소에 대한 보고나 이를 토대로한 분류가 보고되고 있다^{1,8)}. 그러나 대퇴골두 괴사증에서 발생하는 응력분포의 변화에 관한 생체역학적 측면을 고려한 것은 거의 없다.

저자들은 위의 응력변화를 3차원 유한요소법(FEM)을 이용하여 분석하였고, 특히 대퇴골두에서 괴사영역이 증가함에 따라 일차 압박 골소주의 생체역학적 중요성에 대하여 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

남자 뇌사자에서 얻은 신선한 대퇴골의 근위부를 전산화단층촬영(CT, GE 9800)을 이용하여 영상을 얻었다. 이 영상을 Sun사의 워크스테이션에서 CT영상 처리 프로그램(Extract, Cornell)을 이용하여 각 단면의 벡터화된 영상을 얻었다. 이 영상자료로 대퇴골 근위부를 3차원으로 재구성하였고, 이를 Hypermesh 프로그램으로 전치리와 후치리를 하였다. MSC/NASTRAN을 이용하여 Linear-static 분석을 시행하였다.

유한요소모델은 5994개의 요소와 5275개의 절점이 사용되었다. 정상 대퇴골두의 물성값은 Brown과 Ferguson³⁾의 자료를 사용하였다. 모델의 안정화를 위해 하단부를 완전 고정하였다. 일차 압박 골소주의 3차원 모양은 Elke 등⁶⁾의 연구자료를 참고하여 설정하였다.

Brand과 Pedersen²⁾에 따라 골두에 가해지는 하중 방향을 정하였다. 하중조건은 Brown 등⁵⁾의 방법에 따라 골두중앙에서 하중방향으로 최대가 되게 하여 전후로 80도, 내외로 40도 범위에 해당하는 면적에 2500N의 하중을 cubic-cosine분포로 가하였다.

괴사영역의 3차원 모양은 21명의 초기 대퇴골두 무혈성괴사증 환자의 27고관절의 핵자기공명영상 자료를 토대로 설정하였다. 괴사 단계는 골두 정점에서 상방 60도 전방 30도되는 지점에서 골두의 중심을 향한 축을 중심으로 약 2.5mm간격으로 동심원상으로 10단계로 설정하였다. 괴사부분의 물성값은 Brown 등⁴⁾의 자료를 인용하여, 정상 탄성계수의 72%감소되는 것으로 하였다. 각 단계마다의 von-Mises 응력을 구하여 분석하였다.

결과

괴사 단계 1은 일차 압박 골소주의 약 25%, 단계 2는 35%, 단계 3은 50%, 단계 4는 60%, 단계 5는 75%, 단계 6은 85%, 단계 7이상은 100%를 침범하고 있었다. 응력분포는 정상일 경우 일차 압박 골소주를 따라 응력이 하부로 전달됨을 관찰되었다. 응력변화

의 양상은 피사영역 단계가 증가함에 따라 단계 4까지는 피사부의 내측, 외측의 침범되지 않은 정상인 일차압박 골소주를 따라 응력이 전달되고 약간은 골두 후부로 전달되었으며 정상의 응력분포 양상을 보였다. 단계 5부터는 일차압박골소주를 벗어난 골두의 내, 외측부의 응력증가 현상이 관찰되었다. 골소주를 85%이상 침범한 단계 6부터는 대부분의 응력이 골두 후반부로 전달됨을 관찰하였다.

결론 및 토론

이번 연구에서 정상에서는 대퇴골두에 가해지는 하중이 대부분 탄성계수가 높은 일차 압박 골소주를 통해 하부로 전달됨을 확인하였다. 무혈성 피사 조직이 일차 압박 골소주의 약 60%를 침범할 때까지는 남아 있는 골소주를 통해 응력이 정상시와 유사하게 전달되었고, 이 이상 침범시에는 골소주를 벗어난 골두의 내,외측 탄성계수가 낮은 부위로 하중이 우회되어 응력이 증가함을 관찰하였다. 골소주의 85%이상을 침범하면, 골두 전반부가 대부분 탄성계수가 낮은 골조직이나 피사조직으로 됨으로, 하중은 대퇴골두의 후반부로 우회하여 골두 후반부로 응력증가 현상이 관찰되었다. 이는 하중은 탄성계수가 높은 물질로 전달된다는 생역학적 사실로 설명된다. 일차압박 골소주를 벗어난 골두의 내, 외측의 응력증가는 단계 5부터 유의하게 관찰되었는데, 이는 골두에서 일차 압박골소주의 약 60% 이상이 피사조직으로 침범된 상태이다. 이는 JIC(Japanese Investigation Committee)⁸⁾나 ARCO¹⁾의 분류에서 주장하는 골두의 외측이 피사조직으로 침범되지 않으면 예후가 좋다는 것을 생역학적으로 설명할 수 있었다. 또 성인대퇴골을 이용한 연구이었지만 소아의 Legg-Perthes질환에서 Herring이 말하는 lateral column만 온전한 상태는 일차압박골소주를 60%미만으로 피사조직이 침범된 상태를 의미한다. 이번 분석으로 일차 압박 골소주의 60%이상 피사가 되면 골소주를 벗어난 골두의 내,외측 탄성계수가 낮은 부위로 하중이 우회되어, 응력증가로 예후가 불량할 것으로 사료되었다. 따라서 대퇴 골두 무혈성 피사증의 분류시 일차 압박 골소주의 침범에 따른 분류가 생역학적으로 잘 부합될 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. ARCO : Committee on Terminology and Classification. ARCO News, 4:41-46, 1992.
2. Brand RA and Pedersen AR : Computer modeling of surgery and a consideration of the mechanical effects of proximal femoral osteotomies. In The Hip: Proceedings of the Twelfth Open Scientific Meeting of The Hip Society, pp. 193-210, St. Louis, C. V. Mosby, 1984.
3. Brown TD and Ferguson AB jr. : Mechanical property distributions in the cancellous bone of the human proximal femur. Acta Orthop. Scandinavica, 51:429-437, 1980.
4. Brown TD, Way ME and Ferguson AB Jr. : Mechanical characteristics of bone in femoral

- capital aseptic necrosis. Clin. Orthop., 156:240-247, 1981.
5. Brown TD and Shaw DT : In vitro contact stress distribution in the natural human hip. J. Biomechanics 16: 373-284, 1983.
6. Elke RPE, Cheal EJ, Simmons C and Poss R: Three-dimension anatomy of the cancellous structures within the proximal femur from computed tomography data. J. Orthop Res 13:513-523.
7. Herring JA, et al : The lateral pillar classification of Legg-Calve-Perthes disease. J. Pediat Orthop 12: 143-152, 1992
8. Ohzono K, Saito M, Sugano N, Takoka K and Saito S : The fate of nontraumatic avascular necrosis of the femoral head: Radiologic classification to formulate prognosis. Clin. Orthop. 277:73-78, 1992.