

컴퓨터 네비게이션 슬관절 전치환술에서 노화에 따른 핀 홀에서의 대퇴골 골절 위험성

박형균[†]·박원만*·김윤혁**

Aging Effect on Femoral Stress Fracture Risk in Pin-hole after Computer-navigated Total Knee Arthroplasty

Hyung Kyun Park, Won Man Park and Yoon Hyuk Kim

Key Words: Aging Effect(노화 효과), Computer-assisted Navigation(컴퓨터 네비게이션), Finite Element Analysis(유한요소해석), Fracture Risk(골절 위험성), Pin-hole(핀 홀), Total Knee Arthroplasty(슬관절 전치환술)

Abstract

Recent clinical studies have shown that computer navigation for total knee arthroplasty (TKA) provides improved component alignment accuracy. However, femoral stress fracture after computer-navigated TKA have been reported due to the pin hole and we hypothesized that osteoporosis would be one of the key factors in pin hole fracture after computer-navigated TKA. We investigated the von-Mises stress around the femoral pin-hole for different elastic modulli and ultimate stresses and four different pin penetration modes to understand the aging effect on femoral stress fracture risk after computer-navigated TKA by finite element analysis. In this study, aging effect was shown to increase the femoral stress fracture risk for all pin penetration modes. Especially, aging effect was shown dramatically in the transcortical pin penetration mode.

1. 서 론

슬관절 전치환술(TKA)은 각종 질환이나 외상 등으로 인하여 슬관절이 정상적인 역할을 하지 못 할 경우, 관절 부위에 인공 삽입물을 삽입하여 정상적인 운동을 할 수 있도록 해 주는 수술 방법이다. 슬관절 전치환술에서 삽입물 정렬의 정확성을 향상시키기 위한 방법으로 컴퓨터 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술이 널리 쓰이고 있다[1]. 그러나 최근 컴퓨터 네비게이션을 이용

한 슬관절 전치환술 후 뼈에 만들어진 핀 홀에 의한 대퇴골의 골절 사례가 보고되고 있다[2]. 본 연구에서는 뼈의 노화가 컴퓨터를 이용한 슬관절 전치환술 후 발생하는 핀 홀에 의한 골절에 영향을 미칠 것이라는 가설을 세우고, 핀 홀을 가지고 있는 노화된 대퇴골 유한요소 모델을 개발하여 뼈의 노화가 핀 홀을 가지고 있는 대퇴골에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대퇴골의 유한요소 모델

대퇴골의 유한요소 모델 개발을 위하여 대퇴부에 병변이 없는 신장 175 cm, 나이 21세의 남성의 왼쪽 대퇴골을 1 mm 간격으로 컴퓨터 단층촬영(CT)하였다. 얻어진 2차원의 CT 이미지는 RapidForm™(Inus Technology Inc., Korea),

† 박형균, 경희대학교 테크노공학대학

E-mail : revival81@gmail.com

TEL : (031)201-2880 FAX : (031)202-8106

* 박원만, 경희대학교 테크노공학대학

** 김윤혁, 경희대학교 테크노공학대학

FEMap®(EDS Corp., USA, Ver. 8.2) 등에 의해 유한요소 모델로 변환되었다. 이때, 대퇴골의 유한요소 모델은 선형 탄성, 그리고 등방성 성질을 보이도록 가정하였으며, 대퇴골의 물성치는 기존 문헌을 참고하여 정의하였다[3].

개발된 대퇴골 유한요소 모델에 네 가지 핀 관통 방법 (unicortical, bicortical, half-bicortical, transcortical)을 선정하여 적용하였다(Fig. 1)[2]. 이때, half-bicortical 핀 관통 방법은 transcortical 핀 관통 방법과 bicortical 핀 관통 방법 사이에 핀이 관통되는 것으로 정의하였다. 각 모델에 두 개의 핀 홀을 적용하여 개발하였으며, 첫 번째 핀 홀은 관절면에서 70 mm 떨어진 지점에 고정시켰고, 두 번째 핀 홀은 관절면에서 100 mm 떨어진 지점에 위치시켰다. 또한 핀 홀의 직경을 3 mm에서 4 mm로 증가시켜 모델을 개발하였다.

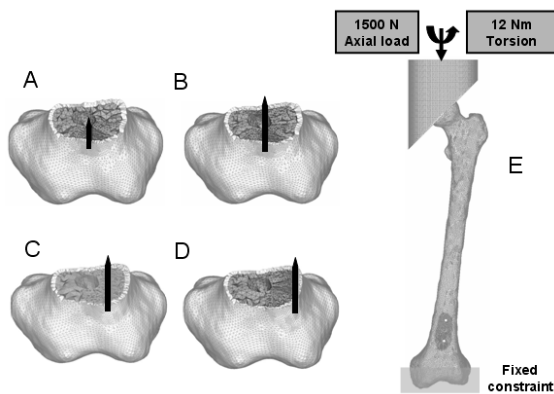


Fig. 1 (A)-(D) Four different modes of pin penetration in tubular bone; (A) unicortical, (B) bicortical, (C) half-bicortical, and (D) transcortical, (E) Finite element model of femur with loading and boundary conditions

Table. 1 The elastic modulus of the bone for different ages

Bone	Age			
	20	60	70	80
Cortical bone(GPa)	15.5	14.3	14.0	13.7
Cancellous bone(MPa)	279	145	115	79

골절 위험성(%)

$$= \left\{ \frac{\max \text{von-Mises stress}}{\text{ultimate stress}} \right\} \times 100 \dots \text{Eq. 1}$$

2.2 나이에 따른 대퇴골의 물성 변화

대퇴골의 노화에 따른 핀 홀에서의 대퇴골 골절 위험성을 평가하기 위하여 나이에 따른 대퇴골의 겉질뼈와 해면뼈의 물성치를 기존의 문헌을 참고하여 변화시켰다(Table. 1)[4,5].

2.3 하중 및 구속조건

대퇴골두에 하중을 가하기 위하여 대퇴골두 표면에 맞는 실린더형 Zig 유한요소 모델을 개발하였다. Zig 유한요소 모델을 강체로 가정하였고, 대퇴골두와 완전히 고정하였다. 대퇴골은 관절면에서 위쪽으로 25 mm 떨어진 곳까지 완전히 구속하였고, Zig 상단 중심에 1500 N의 수직 하중과 12 Nm의 비틀림을 가하였다(Fig. 1).

개발된 유한요소 모델을 상용 유한요소 해석용 소프트웨어인 ABAQUS™(Standard 6.5, ABAQUS Inc., U.S.A)로 해석하였고, 핀 홀 주위의 최대 von-Mises stress 값을 계산하였다. 나이에 따른 핀 홀에서의 골절 위험성은 기존 문헌에서 제시한 뼈의 항복 응력을 참고하여 Eq. 1과 같이 정의하였다[5]

3. 결과

1500 N의 수직 하중을 가한 실험의 경우, 대퇴골의 골절 위험성은 unicortical, bicortical, half-bicortical, transcortical 관통 방법을 사용한 모델에서 연령이 증가할수록 3 mm 직경의 핀 홀을 사용한 모델에서는 각각 6.5 - 9.6 %, 15.7 - 22.3 %, 14.7 - 20.9 %, 18.7 - 29.1 %로 증가하였고, 4 mm 직경의 핀 홀을 사용한 모델에서는 각각 7.0 - 10.5 %, 14.6 - 20.9 %, 14.2 - 20.3 %, 26.0 - 42.1 %로 증가하였다(Fig. 2). 12 Nm의 비틀림 실험의 경우, 대퇴골의 골절 위험성은 unicortical, bicortical, half-bicortical, transcortical 관통 방법을 사용한 모델에서 연령이 증가할수록 3 mm 직경의 핀 홀을 사용한 모델에서는 각각 9.0 - 13.4 %, 9.0 - 13.4 %, 7.8 - 12.5 %, 13.7 - 19.7 %로 증가하였고, 4 mm 직경의 핀 홀을 사용한 모델에서는 각각 8.4 - 12.5 %, 8.7 - 12.9 %, 9.4 - 13.8 %, 20.7 - 29.9 %로 증가하였다(Fig. 3).

4가지 핀 관통 방법 중 가장 큰 대퇴골의 골절 위험성은 수직 하중 실험과 비틀림 실험 모두 transcortical 관통 방법을 사용한 모델에서 관찰되

었다. 또한 transcortical 관통 방법을 사용한 모델에서는 핀 홀의 직경이 3 mm에서 4 mm로 증가할수록 핀 홀 주위의 골절 위험성이 1500 N의 수직 하중을 가한 실험에서는 평균 40.8 %가 증가하였고, 12 Nm의 비틀림을 가한 실험에서는 평균 51 %가 증가하였다(Fig. 2,3).

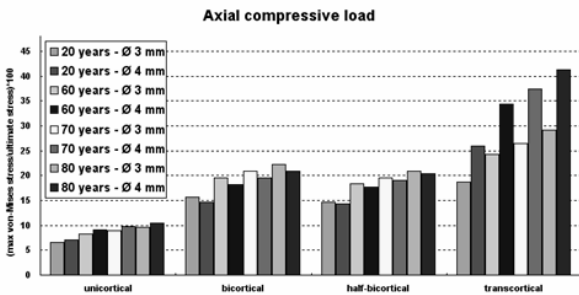


Fig. 2 Maximum von-Mises stresses to ultimate stresses at the pin hole from 20 years to 80 years at different pin penetration modes and pin diameters under 1500 N of axial compressive load

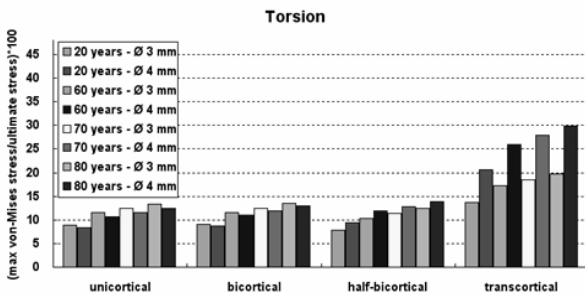


Fig. 3 Maximum von-Mises stresses to ultimate stresses at the pin hole from 20 years to 80 years at different pin penetration modes and pin diameters under 12 N of torsional load

4. 결론

본 연구에서는 나이가 증가할수록 대퇴골에 네 가지 관통 방법을 사용한 모든 모델에서 핀 홀 주위의 골절 위험성이 증가하였다. 그리고 모든 관통 방법 중 transcortical 관통 방법을 사용한 모델의 핀 홀 주위에서 최대 골절 위험성이 관찰되었다. 또한 transcortical 관통 방법을 사용한 모델에서 핀 홀의 직경이 커질수록 핀 홀 주위의 골절 위험성이 증가하였다. 이러한 결과는 기존의 transcortical 관통 방법을 사용하였을 경우, 핀 홀

주위에서 골절이 일어난 임상 결과를 뒷받침 할 수 있다[2]. 본 연구의 결과는 컴퓨터 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술의 예비계획을 수립할 경우 생체 역학적 참고 자료로 활용될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R11-2007-028-02002-0)

참고문헌

- (1) Anderson, K. C., Buehler, K. C. and Markel, D. C., 2005, "Computer Assisted Navigation in Total Knee Arthroplasty: Comparison With Conventional Methods," *J. Arthroplasty*, Vol. 20, No. 7, pp. 132~138.
- (2) Jung, H. J., Jung, Y. B., Song, K. S., Park, S. J. and Lee, J. S., 2007, "Fractures associated with computer-navigated total knee arthroplasty," *J. Bone Joint Surg. Am.*, Vol. 89, No. 10, pp. 2280~2284.
- (3) Heegaard, J. H., Leyvraz, P. F. and Hovey, C. B., 2001, "A computer model to simulate patellar biomechanics following total knee replacement: the effects of femoral component alignment," *Clin. Biomech.*, Vol. 16, No. 5, pp. 415~423.
- (4) McCalden, R. W., McGeough, J. A., Barker, M. B. and Court-Brown, C. M., 1993, "Age-related changes in the tensile properties of cortical bone. The relative importance of changes in porosity, mineralization, and microstructure," *J. Bone Joint Surg. Am.*, Vol. 75, No. 8, pp. 1193~1205.
- (5) Bailey, A. J., Sims, T. J., Ebbesen, E. N., Mansell, J. P., Thomsen, J. S. and Mosekilde, L., 1999, "Age-Related changes in the biochemical properties of human cancellous bone collagen: Relationship to bone strength," *Calcif. Tissue Int.*, Vol. 65, pp. 203~210.