

# 개방형 근위 경골 절골술시 시술변수의 생체역학적 영향 Biomechanical effects of surgical factors in open wedge high tibial osteotomy

\*김현<sup>1</sup>, #이성재<sup>1</sup>, 나경욱<sup>2</sup>

\*H. Kim<sup>1</sup>, #S. J. Lee (sjl@bme.inje.ac.kr)<sup>1</sup>, K. W. Nha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 의용공학과, <sup>2</sup>일산백병원 정형외과

Key words : Open wedge high tibial osteotomy, Biomechanics, Bone graft, Osteotomy level

## 1. 서론

근위 경골 절골술은 슬관절의 비정상적인 지지축을 교정하여 내측 관절에 가해지는 하중을 외측으로 이동시킴으로써 퇴행된 내측 관절의 추가적인 연골 손상을 지연시키고자 함이 목적이다<sup>[1]</sup>. 이는 경골에서의 절골 시작점 위치에 따라 폐쇄형 절골술과 개방형 절골술로 구분된다<sup>[1]</sup>. 폐쇄형 절골술은 외측에서 내측으로 절골하여 골을 제거하는 술식으로 추시 결과가 좋은 것으로 보고되나, 골결손으로 인해 추후 전치환술로의 전환이 어려운 단점이 있다. 이에 반해 개방형 절골술은 내측에서 외측으로 절골하여 경비관절의 손상이 없으며, 골결손이 없어 추후 전치환술로의 전환이 용이하다. 그러나, 개방형 절골술 역시 골나사 파단 및 외측 피질골 골절 등의 교정 실패가 빈번하게 발생하고 있으며, 이러한 교정 실패의 원인은 시술자에 따른 수술 기법 차이와 골 이식재 및 금속판의 강도 등으로 알려져 있으나 이러한 각 변수에 대한 생체역학적 분석은 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 3 차원 유한요소 모델을 사용하여 시술 모델의 응력 분포 및 구조적 강도를 분석하였으며, 이를 통해 근위 경골 절골술의 시술 후 안정성 확보를 위한 각 시술 변수 (골 이식재 삽입, 금속판 길이)의 변화에 따른 생체역학적 변화를 구조적 안정성 측면에서 분석하고자 하였다

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 유한요소 시술 모델 구축

본 연구에 사용된 경골 유한요소 모델은 정상 성인 남성 (170cm, 70kg)의 CT data 를 바탕으로 구축하였으며, composite synthetic femur bone (Vashon Island, Wa, USA)의 압축 시험을 통해 측정된 strain

값<sup>[2]</sup>과 비교하여 유한요소 모델의 타당성을 검증하였다. 각 시술 모델의 절골은 시술 가이드<sup>[3]</sup>에 따라 구현되었으며, 임상에서의 의견을 바탕으로 결정된 2 개의 시술 변수 (골 이식재 삽입 유무; 금속판 길이 8 screws, 7screws, 6 screws)에 따라 구축하였다 (Table 1). 시술 모델의 고정은 임상에서 보편적으로 사용되고 있는 Tomofix™ plate (Synthes Inc., Solothurn, Switzerland)를 사용하여 고정하였다 (Fig. 1).

### 2.2 하중 및 경계 조건

경골 원위부는 모든 방향에 대하여 구속하였으며 압축 (2450N) 및 뒤틀림 (15Nm) 하중을 각각 부여하였다<sup>[4]</sup>. 압축하중은 슬관절의 하중 전달 비율을 고려하여 내측 (60%\_1470N) 및 외측 (40%\_980N)으로 분산하였으며, 굽힘 (240N) 하중을 함께 부여하였다 (Fig. 1).

### 2.3 결과 분석 방법

외측골 접합부 및 골 나사의 파단 가능성은 각 재질의 피로 강도에 대한 최대 응력의 비율로 산출하였으며, 각 시술 모델의 안정성은 가해진 하중에 대한 변위량 (N/mm or Nm/°)을 통해 평가하였다.

## 3. 결과

본 연구결과를 통해 외측 피질골 및 골나사의 파단 가능성은 금속판 길이 변화에 비해 골 이식재 강도 삽입 유무에 민감한 것으로 확인하였다 (Fig. 2, 3). 골 이식재 삽입 시 외측 피질골의 파단 가능성은 하중에 관계없이 14~35% 감소하였으며, 골 이식재 삽입 후 금속판 길이 변화에는 큰 차이를 보이지 않았다 (Fig. 2). 또한 비틀림 하중 (14~38%)에 비해 압축 하중 (37~78%)에서 높은 것으로 확인하였으며, 각 시술

모델에서 PVMS는 하중 및 시술 변수에 관계없이 외측 절골부위 끝단에 인접한 골 주변에서 나타났다. 골나사의 파단 가능성 (4~48% in Fig. 3) 역시 유사한 패턴을 나타냈으나, 외측 피질골 (10~76% in Fig. 2)에 비해 낮은 파단 가능성을 보였으며, 이 때의 PVMS 값은 4th 골나사에서 나타났다. 또한 각 시술 모델의 구조적 강성도는 금속판 길이 증가에 따라 증가하여 나타났으며, 골 이식재 삽입 시 하중에 관계없이 증가했다 (compression: 3511~3688N/mm → 3781~3912N/mm, torsion: 27~35Nm/° → 46~55Nm/°).

#### 4. 결론

개방형 근위 경골 절골술 후 골절부의 고정을 위한 골 이식재의 삽입은 시술부의 파단 가능성 감소 및 구조적 강성도 증가를 나타냈으며, 이에 시술 실패 가능성 감소에 효과적인 것으로 사료된다. 또한 이러한 골 이식재 삽입 후 금속판 길이변화에 큰 차이를 보이지 않음에 따라 환부의 절개를 최소화 하기 위한 짧은 금속판의 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 1 Classification of post-operative FE model based on the surgical variations

	Surgical variations	
	Plate length	Bone graft
Case 1	8 screws (long)	No bone graft or
Case 2	7 screws (middle)	Auto-tri-cortical
Case 3	6 screws (short)	bone

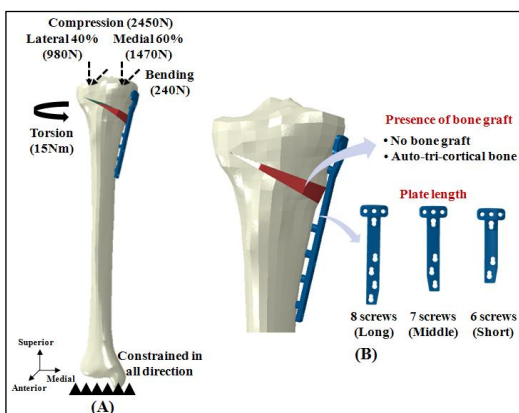


Fig. 1 3-D FE model of the post-op femur; (A) construction of the post-op model with loading

& boundary conditions, (B) surgical variations

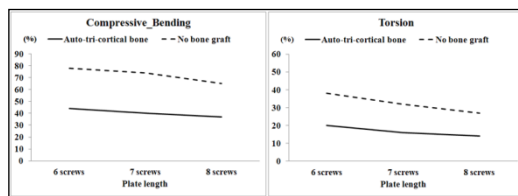


Fig. 2 Changes in fracture risk of the lateral cortex of the tibia (% , peak Von Mises stress / fatigue strength of material x 100)

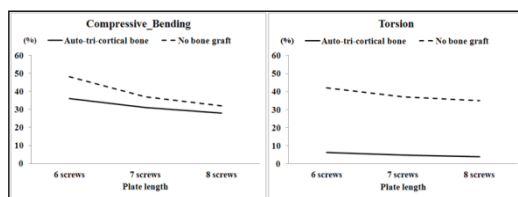


Fig. 3 Changes in fracture risk of the bone screw (% , peak Von Mises stress / fatigue strength of material x 100)

#### 참고문헌

1. Brouwer R.W., Bierma-Zeinstra S.M., van Koeveeringe A.J., and Verhaar J.A., "Patellar height and the inclination of the tibial plateau after high tibial osteotomy: the open versus the closed-wedge technique.", *JBJS*, **87(9)**, 1227-1232, 2005.
2. Completo A., Fonseca F., Simões J.A., "Finite element and experimental cortex strains of the intact and implanted tibia.", *J. Biomechanics Engineering*, **129(5)**, 791-797, 2007.
3. Han S.B., Lee D.H., Shetty G.M., Chae D.J., Song J.G., and Nha K.W., "A 'safe zone' in medial open-wedge high tibia osteotomy to prevent lateral cortex fracture.", *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1-6, 2011
4. Sonoda N., Chosa E., Totoribe K., Tajima N., "Biomechanical analysis for stress fractures of the anterior middle third of the tibia in athletes: nonlinear analysis using a three-dimensional finite element method.", *J. orthopedic Science*, **8**, 505-513, 2003.