

한국인 골격 체형에 맞는 골절합용판의 개발 및 생체역학적 특성에 관한 연구

Development of Peri-articular Plate and Study on Bio-mechanical Properties based on Korean Skeleton Configuration

***임권영¹, 오종건², 조병태³, 하지형¹, 권창수¹, 이성재³, #고철용¹**

*J. Y. Lim¹, J. K. Oh², M. L. Jo³, J. H. Ha¹, C. S. Chon¹, S. J. Lee³, #C. W. Ko(cheko@solco.co.kr)¹
¹(주)솔고바이오메디칼, ²고려대학교 의과대학 정형외과, ³인제대학교 의용공학과 생체역학실험실

Key words : Peri-articular Plate, Trauma, Korean Cadaveric CT Information, Bio-mechanical Test, Finite Element Analysis

1. 서론

관절주위 금속판(Peri-articular Plate)의 적용은, 인체의 골절 부위에 접합되어 일상적인 생활에 결정적인 장애가 없는 것을 목표로 했던 과거와는 달리, 최근에는 골절 부위의 3차원적 해부학적 특성에 반영하고 견고한 내고정을 통하여 만족스러운 관절 운동의 조기 회복을 달성하려는 치료 방향으로 변하고 있다.¹ 금속판을 이용한 골절합술은 임상적인 측면에서 최소 침습적인 수술 방법(MIS: Minimally Invasive Surgery)이 가능하며, 이를 통한 수술 후의 빠른 회복시간으로 인하여 환자로 하여금 조속한 사회 복귀를 가능하게 하는 효용성이 있어 임상에게 큰 호응을 얻고 있다. 최근에는 고정력이 크게 향상된 잠금 금속판(Locking Plate)을 이용하는 수술 방법에 관한 연구가 각광을 받고 있으며, 이러한 잠금 금속판에 대하여 우수한 생체역학적 특성을 증명하는 연구도 보고되고 있다.^{2,3}

한편, 국내에 시판되고 있는 관절주위 금속판은 외산 제품이 주를 이루고 있고 기본적으로 외국인의 인체 정보를 바탕으로 개발되었기 때문에, 한국인의 체형에는 적합하지 않은 사례가 보고되고 있다.⁴ 이러한 이유로, 국내 시장에서는 한국인의 체형 연구를 통하여 개발된 관절주위 금속판 제품의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 한국인의 사체 연구를 수행하여, 한국인의 해부학적 특성에 적합한 관절주위 금속판을 개발하여, 외산 제품과의 생체 역학적 안정성을 비교/분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 한국인 사체의 CT 정보 추출

한국인 사체에 대하여 실온에서 근육 및 연조직을 제거한 후, CT(Computerized Tomography, Densiscan®) 촬영을 실시하였다. 얻어진 DICOM 파일을 Mimics (Materialise, Belgium)를 이용하여 한국인의 3차원 골격 형상을 생성하였고, 도출된 골격 모델을 기초로 관절주위 금속판을 설계하였다 (Fig. 1).

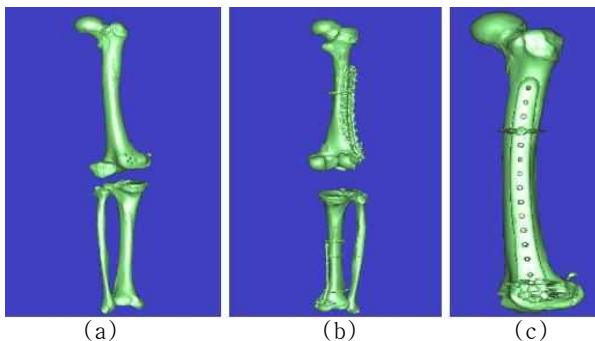


Fig. 1 Three-dimensional Model of Femur based on Korean Cadaveric CT Information, (a) Three-dimensional Model without Plate, (b) Three-dimensional Model with Plate, (c) Fixation Configuration of Distal Femur Plate

2.2 사체 실험을 통한 골절합용판의 설계형상 도출

한국인 사체(Fresh Cadaver, n=30)를 이용하여, 전문 임상의를 통해 임상적 수술과 동일한 방법으로 외산 금속판(Acumed®,

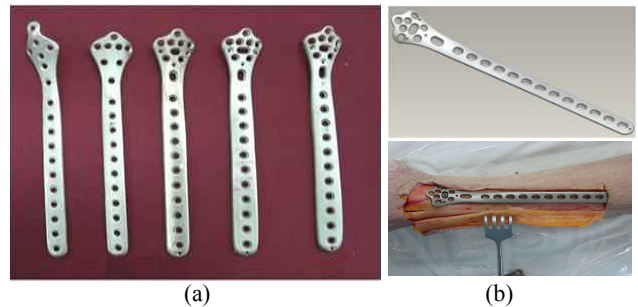


Fig. 2 Development of Distal Tibia Medial Plate, (a) Procedure of Design Specification Modification, (b) Final Design Specification

USA)을 사체에 접합시킨 후 형상정보를 취득하였고, 이를 바탕으로 한국인 체형에 적합한 관절주위 금속판을 설계하였다 (예:Distal Tibia Medial Plate, Fig. 2).

2.3 시편준비

외부 하중에서의 의존도가 큰 Femur 및 Tibia의 관절주위 금속판의 생체 역학적 비교 분석을 위하여, 개발품(Ti-6Al-4V 재질)과 외산품(Ti-6Al-4V 재질, Synthes®, USA)을 확보하였다.

2.4 생체 역학적 시험 (Bio-mechanical Tests)

Saw-bone을 이용한 복합 골절을 구현하기 위하여 임상적의 조건에 의거 Gap Osteotomy Model로 제작하였고, OTA/AO A3 Fracture를 Simulation 하였다. Saw-bone에 개발품과 외산품을 각각 접합시켜 정적압축시험(Single Cycle Compression Test)과 피로시험(Fatigue Test)을 수행하였다.^{5,6}(Table 1).

Table 1 Bio-mechanical Tests of Distal Femur & Proximal Tibia Plate

	Distal Femur Plate	Proximal Tibia Plate
Synthes®		
Prototype		

2.5 유한요소 해석(FEA: Finite Element Analysis)

개발품과 외산품의 FE 모델을 구축하였고, 해석 Solver는 ABAQUS 6.6(HKS, USA)을 이용하였다. Saw-bone에 접합된 Distal Femur Plate 모델은 사면체요소(557,279개)와 육면체요소(327,482개)로, Proximal Tibia Plate 모델은 육면체요소(316,150개)로 구성하였다. Saw-bone의 Cortical Bone은 12.4GPa, Cancellous Bone은 104MPa의 탄성계수(Modulus of Elasticity) 및 0.3의 Poisson's Ratio를 적용하였고, Saw-bone에 부착된 각 시편의 최대

Von Mises 응력을 비교/분석하였다.

Table 2 Material Property applied for FE Models

Material	Modulus of Elasticity		Poisson's Ratio
	Cortical Bone	Cancellous Bone	
Ti-6Al-4V	12.4 (GPa)	104 (MPa)	0.3

3. 결과 및 토의

3.1 생체 역학적 시험

임상의의 소견에 따라 외산품은 잠김 금속판(Locking Compression Plate)조건, 개발품은 Dual Plating (Peri-articular Plate 와 General Plate의 조합) 조건으로 Saw-bone에 시술하였고, 정적 압축시험을 통하여 시편의 굽힘 강성도와 최대 굽힘 파괴하중을 도출하였다.⁷⁻⁸ Distal Femur Plate의 경우, 개발품의 굽힘 강성도 2,160(N/mm) 는, 외산품의 굽힘 강성도 1,860.9(N/mm) 보다 높은 값을 나타냈다. 최대 굽힘 파괴하중은, 개발품의 경우 5,670.4(N) 로, 5,520(N)의 외산품과 동등 수준이 얻어졌다. 한편, Proximal Tibia Plate의 경우, 개발품의 굽힘 강성도 1,143(N/mm) 는, 외산품 141.6(N/mm) 의 약 8배에 해당하는 수준으로 나타났으며, 최대 굽힘 파괴하중은 각각 5,156.5(N), 1,032.5(N) 이 얻어져, 개발품의 경우가 구조 역학적 측면에서 안정성이 매우 뛰어남을 보였다 (Fig. 3, Table 3). 또한, 피로시험(Fatigue Test) 결과, 시술 후 일상 생활로의 복귀에 해당하는 20개월(임상의 소견) 상당의 1,000,000 Cycle 조건에서 양쪽 모두 Failure가 발생하지 않았다.

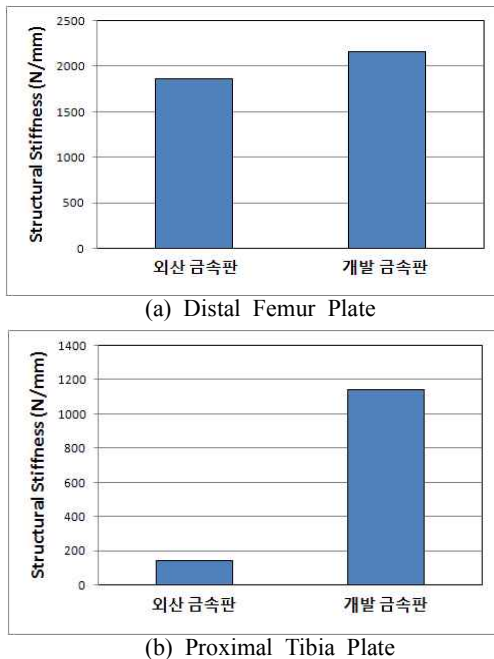


Fig. 3 Structural Stiffness Results of Distal Femur and Proximal Tibia Plate

Table 3 Results of Bio-mechanical Tests

Synthes	Distal Femur Plate	Structural Stiffness (N/mm)	1,860.9
		Failure Load (N)	5,520.2
	Proximal Tibia Plate	Structural Stiffness (N/mm)	141.6
		Failure Load (N)	1,032.5
Prototype	Distal Femur Plate	Structural Stiffness (N/mm)	2,160
		Failure Load (N)	5,670.4
	Proximal Tibia Plate	Structural Stiffness (N/mm)	1,143
		Failure Load (N)	5,156.5

3.2 유한요소 해석

Distal Femur 모델의 정적압축 FE 해석 결과, 외산품의 경우에 원위부의 홀 부근에서 응력집중이 가장 높게 발생하였으며, 개발품 경우에는 골간부의 홀 부근에서 응력집중이 가장 높게 나타났다. 정적압축 FE 모델을 통한 개발품의 최대 Von Mises 응력은 380(MPa)로, 이는 756(MPa)의 외산품 보다 약 50% 감소하는 결과가 얻어졌다 (Fig. 4).

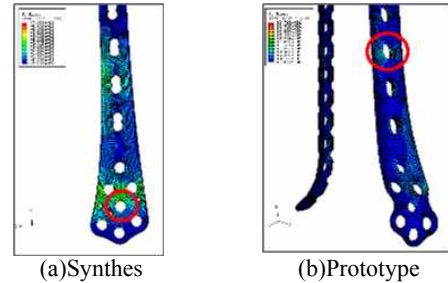


Fig. 4 Contour of Von Mises Stress (MPa) of Distal Femur Plate FE Model

4. 결론

본 연구에서는 한국인 사체의 CT 정보를 바탕으로 관절주위 금속판 (Peri-articular Plate)을 개발하였고, 임상의 소견을 반영한 생체 역학적 시험과 FE 해석을 수행하였다. 개발된 관절주위 금속판은 외산품과 동등 또는 우수의 생체 역학적 안정성이 확보 및 검증되어, 양산사양으로 적용 가능한 결과가 얻어졌다.

후기

본 연구는 보건복지가족부의 보건의료기술진흥사업 (과제번호: A060465) 지원아래 수행되었음.

참고문헌

- Field., John R., Hearn., Trevor C., Caldwell. and Curtis B., "Bone plate fixation: An evaluation of interface contact area and force of the dynamic compression plate(DCP) and the limited contact-dynamic compression plate(LC-DCP) applied to cadaveric bone" Journal of Orthopaedic Trauma, 11(5), 368-373, 1997.
- Christoph S., Emanuel G., Matthias M., David L H. and Michael W., "First clinical results of the locking compression plate(LCP)" Injury, 34, 43-54, 2003.
- Cong-Feng L., "Locking compression plating: A new solution for fractures in rheumatoid patients" Mod Rheumatol, 15, 169-172, 2005.
- 오종건, 오창욱, 노권재, 손훈상, "LCP-PLT (Locking Compression Plate-Proximal Lateral Tibia)사용 시 선열 평가를 위한 방사선 지표: 사체 및 방사선 연구", 대한골절학회지, 19, 477-481, 2006.
- Ahmad M Ali., Michael S., Stefano B. and Lang Y., "Experimental model of tibial plateau fracture for biomechanical testing" Journal of Biomechanics, 39, 1355-1360, 2006.
- Alison M., Rad Z., Khalid S., Christopher P. and Emil S. "The bio-mechanics of ipsilateral intertrochanteric and femoral shaft fractures: A comparison of 5 fracture fixation techniques" J Othop Trauma, 22, 517-524, 2008.
- Horwitz., Daniel S., Bachud., Kent N., Craig., Marcis A., Peters. and Christopher L., "Internal fixation of complex tibial plateau fractures" J orthop Trauma, 13(8), 545-549, 1999.
- Gerber A. and Ganz R., "Combined internal and external osteosynthesis: A biological approach to the treatment of complex fractures of the proximal tibia" Injury, 29, 22-28, 1998.