

고관절 및 슬관절 동시 전치환술 이후 발생하는 인공삽입물 주변 골절에 대한 stem 끝단 이격거리의 영향 분석

A Biomechanical Analysis on the Effect of Stem Tips Distance in relation to Periprosthetic Femoral Fracture After Total Hip and Knee Arthroplasties

*김현¹, #김희중², 유정준², 임도형³, 이권용³, 이성재¹

*H. Kim¹, #H. J. Kim (oskim@sun.ac.kr)², J. J. Yoo², D. H. Lim³, K. Y. Lee³, S. J. Lee¹

¹인제대학교 의용공학과, ²서울대학교병원 정형외과, ³세종대학교 기계공학과

Key words : Total Hip Arthroplasty, Total Knee Arthroplasty, Periprosthetic femoral fracture

1. 서론

고관절 전치환술 (Total Hip Arthroplasty, THA) 및 슬관절 전치환술 (Total Knee Arthroplasty, TKA) 이후 발생하는 인공삽입물 주변 골절 (Periprosthetic Fracture)은 주로 대퇴 경부의 stem 끝단에서 발생하며, 특히 슬관절 재치환술 (Revision Arthroplasty)을 동반한 동시 전치환술에서 더욱 빈번한 것으로 보고되고 있다^[1]. 이러한 인공 삽입물 주변 골절은 근접한 두 stem 끝단에서 나타나는 높은 응력 집중이 원인으로 알려져 있다^[2]. 이에 임상에서는 시술 시 응력 감소를 위한 두 stem 끝단의 이격거리 설정을 제안하고 있으나, 응력 및 골절 가능성 감소를 위한 정적 이격거리의 생체역학적 근거는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 stem 간 이격거리 변화에 따른 시술 모델의 응력 분포 (Stress Distribution) 및 구조적 강성도 (Structural Stiffness) 분석을 통해 인공삽입물 주변 골절의 발생 감소를 위한 적정 이격거리를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유한요소 시술 모델 구축

본 연구에 사용된 대퇴 유한요소 모델은 정상 성인 남성 (170cm, 70kg)의 CT data를 바탕으로 구축하였으며 composite synthetic femur bone (Vashon Island, Wa, USA)의 압축 시험을 통해 측정된 strain 값과 비교하여 유한요소 모델의 타당성을 검증하였다^[3]. 각 시술 모델은 고관절 (primary type, stem length=200mm, Corentec Co., Korea) 및 슬관절 (revision type, stem length=150, 155, 160, 165mm, Corentec Co., Korea) 인공기기의 시술

유무 및 두 stem 끝단 간 이격거리 변화에 따라 총 9개로 분류하였다 (Table 1, Fig. 1A). 각 인공기기는 임상의의 의견에 따라 구현된 유한요소 모델의 크기를 고려하여 선택하였으며, 각 시술모델의 이격거리는 revision TKA stem의 길이를 변경하여 조절하였다 (Fig. 1B).

2.2. 하중 및 경계 조건

대퇴 원위부는 모든 방향에 대하여 구속하였으며, 대퇴골두에 각각 압축 (2000N) 및 뒤틀림 (18.9Nm) 하중을 부여하였다^[4]. 또한 인공기기와 대퇴골 간 계면은 시술 후 유합을 가정하여 완전 구속하였다^[5].

2.3. 결과 분석 방법

대퇴 경부 및 인공기기의 파단 가능성 (Fracture Risk)은 각 재질의 피로 강도에 대한 최대 응력 (Peak von Mises Stress, PVMS) 비율로 산출하였으며, 각 하중에 대한 변위량으로 측정된 구조적 강성도 (N/mm or Nm^o)를 통해 시술 모델의 안정성을 평가하였다.

3. 결과

본 연구 결과를 통해 대퇴 경부의 파단 가능성은 각 하중에 관계없이 THA 및 TKA 동시 치환 시 단일 치환에 비해 두배 이상 증가함을 확인하였다 (Case 1 ~ 5 → Case 6 in Fig. 2). 그러나 이는 두 stem간 이격거리가 증가함에 따라 감소하여 나타났다 (Case 6 → Case 9), 특히 Case 6 (5mm)에서 Case 7 (10mm) 변화 시 가장 뚜렷하게 나타났다 (62% → 41 in compression, 52% → 41% in torsion). 대퇴 경부의 파단 가능성은 비틀림 하중 (19 ~ 48%)

에 비해 압축 하중 (28 ~ 62%)에서 높은 것으로 확인하였으며, 각 시술 모델의 PVMS는 stem 끝단에 인접한 부위에서 나타났다 (Fig. 2). 인공기기의 파단 가능성 역시 대퇴 간부와 유사한 패턴을 나타냈으나, 하중에 관계없이 12%이하의 전체적으로 낮은 파단 가능성을 보였다. 또한 각 시술 모델의 구조적 강성도는 하중에 관계없이 이격거리가 증가함에 따라 꾸준한 감소를 나타냈다.

4. 결론

두 stem 간 이격거리의 증가는 하중에 관계없이 상대적으로 낮은 응력 분포를 나타냄에 따라 stem 간 이격거리 설정에 대한 실험적 근거를 확인하였다. 특히, 10mm ~ 15mm의 이격거리에서 가장 뚜렷한 감소를 보임에 따라 시술 후 인공삽입물 주변 골절 가능성 감소를 위해 가장 효과적일 것으로 예상된다.

Table 1 Classification of the post-op models with based on the each prosthesis (THA & TKA) and distance between stem tips

	Prosthesis	Gap between stem tips
Case 1	THA (Fixed length)	
Case 2	TKA (stem_165mm)	-
Case 3	TKA (stem_160mm)	-
Case 4	TKA (stem_155mm)	-
Case 5	TKA (stem_150mm)	-
Case 6	THA & TKA (stem_165mm)	5mm
Case 7	THA & TKA (stem_160mm)	10mm
Case 8	THA & TKA (stem_155mm)	15mm
Case 9	THA & TKA (stem_150mm)	20mm

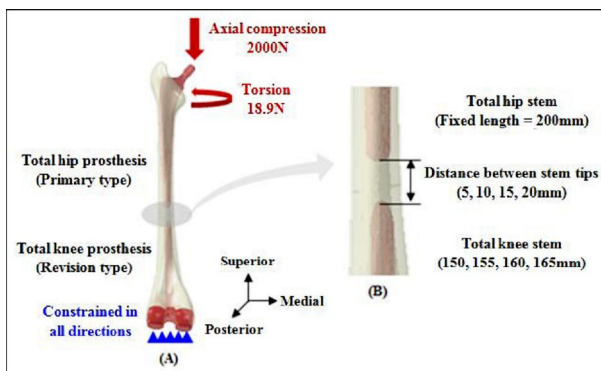


Fig. 1 3-D FE model of the post-op femur; (A) construction of the post-op model with loading & boundary conditions, (B) gap distance

between stem tips

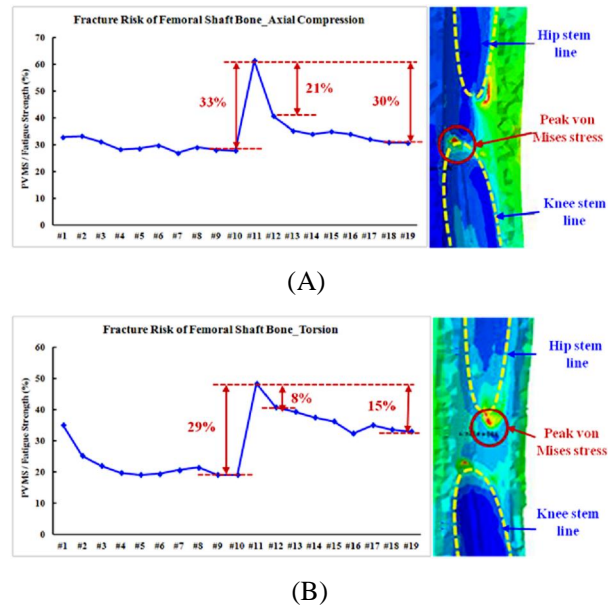


Fig. 2 Fracture risk and bone stress distribution within the femoral shaft; (A) axial compression (2000N), (B) torsion (18.9Nm)

참고문헌

1. Bethea, JS., DeAndrade, JR., Fleming, LL., Lindenbaum, SD. and Welch, RB., "Proximal femoral fractures following total hip arthroplasty." *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **170**, 95-106, 1982.
2. Eschenroeder, HC. and Krackow, KA., "Late onset femoral stress fracture associated with extruded cement following hip arthroplasty. A case report." *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **236**, 210-213, 1988.
3. 권경제, 조명래, 오종건, 이성재, "잠김 금속관(LCP-DF)을 이용한 대퇴골 원위부의 관절외 복합골절 치료시 나사못 배열에 따른 생체역학적 안정성 분석" *의공학회지*, **31**, 199-209, 2010.
4. Claes, LE. and Heigele, CA., "Magnitudes of local stress and strain along bony surfaces predict the course and type of fracture healing." *Journal of Biomechanics*, **32**, 2556266, 1999.
5. Cordey, J., Borgeaud, M. and Perren, SM., "Force transfer between the plate and the bone: relative importance of the bending stiffness of the screws and the friction between plate and bone." *Injury*, **31**, 216 28, 2000.