creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000239482

2010년 2월

석사학위 논문

유한요소 분석법을 이용한 거골하 관절 유합술에서 이상적인 고정 나사의 위치

- 유한 요소 해석-

조선대학교 대학원

의 학 과

양 훈

유한요소 분석법을 이용한 거골하 관절 유합술에서 이상적인 고정 나사의 위치

- 유한 요소 해석-

Optimal Screw Configuration for Fixation of Subtalar Arthrodesis - A Finite Element Analysis -

2010년 2월 25일

조선대학교 대학원

의 학 과

양 훈

유한요소 분석법을 이용한 거골하 관절 유합술에서 이상적인 고정 나사의 위치

- 유한 요소 해석-

지도교수 이 상 홍

이 논문을 의학 석사학위신청 논문으로 제출함

2009년 10월

조선대학교 대학원

의 학 과

양 훈

양훈의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선 대학교 교수 이 준 영

위 원 과학기술원 교수 이 연 수

위 원 조선 대학교 교수 이 상 홍

2009년 11월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT ---------- 1

서론 ---------- 3

연구대상 및 방법---------- 4

결과 ---------- 6

고찰 ---------- 7

결론 ---------- 10

참고문헌---------- 11

도 목 차

Fig. 1. Four fixation configurations for double-screw subtalar arthrodesis: Neck screw + Dome screw(AL), Neck screw + Dome screw(AM), Neck screw + Dome screw(PL), Neck screw + Dome screw(PM).---------- 13

Fig. 2. A finite element model of Neck+Dome(AL), its boundary conditions. The monitored point on the posterior calcaneus was specified as the indicator of calcaneus displacement.---------- 14

Fig. 3. Displacement of the posterior-most calcaneus point.-------- 15

Fig. 4. Rotation angle of the calcaneus.---------- 16

ABSTRACT

Optimal Screw Configuration for Fixation of Subtalar Arthrodesis

- A Finite Element Analysis -

Hoon Yang

Advisor : Prof. Sang Hong Lee, M.D.

Department of Medicine,

Graduate School of Chosun University

Purpose: The subtalar arthrodesis using screw has been performed to manage traumatic subtalar arthritis that requires operative treatment. This investigation aimed to assess the optimal configuration of double screw fixation for subtalar arthrodesis.

Materials and Methods: From the CT scanned images of an ankle of a Korean male (21 year old), polygon models of the talus and calcaneus were reconstructed. The polygon models were converted to tetrahedron finite elements. Young's modulus was assigned locally to each element based on the Hounsfield Unit, and a Poisson's ratio of 0.4 was used commonly. Four fixation configuration models of double screw subtalar arthrodesis were designed according to the talar placement of a dome screw, i.e.

anterolateal (AL), anteromedial (AM), posterolateral (PL), and posteromedial (PM) while the placement of a neck screw is fixed. External and internal rotation torques of 4 N-m were applied to calculate stability of each fixation configuration.

Results: For the fixation configuration of a neck plus a PM dome screw, the displacements of a posterior calcaneus was 0.91 mm and 0.85 mm under external and internal rotation torques of 4 N-m, respectively, which were less than for other configurations. As well, the fixation configuration of a neck plus a PM dome screw showed least rotations of 4.98 degrees and 4.84 degrees, respectively for external and internal torques.

Conclusion: A combination of a neck screw and a posteromedial dome screw is expected to provide the best rotational stability for subtalar arthrodesis.

Key Words : Ankle, Subtalar arthrodeis, Screw fixation, Finite Element

서 론

거골하 관절의 외상성 관절염의 수술적 치료 방법의 하나로 거골하 관절 유합술이 널리 시행되고 있다.[1,2] 거골하 유합술은 거골하 관절면을 자가 골 이식으로 채우고 나사로 고정한다. 나사를 이용한 거골하 유합술은 단일나사 고정법과 이중나사 고정법이 모두 시행되어 왔는데. 최근 발표된 연구에 의하면 이중나사 고정법이 기계적으로 훨씬 좋은 안정성을 준다고 한다.[3]

Chuckpaiwong 등[3]에 의하면 거골하 유합술에 있어 산개형 이중나사 고정법이 단일 나사 고정법 보다 월등히 좋은 기계적 안정성을 준다고 밝히고 있다. 그들의 연구에서 이중나사 고정법은 단일나사 고정 법에 비해 2배 이상의 회전강성을 보였다. 이중 나사의 경우에 평행형 이중나사에 비해 산개형 이중 나사가 약간 높은 회전강성을 보였다. 단일 나사를 사용해서 거골 천장에 방향이 향하도록 고정하는 방법이 거골하 유합술 후의 가장 좋은 안정성을 주는 사실을 생체역학적으로 규명하였다. 산개형 이중 나사법에 사용되는 나사의 위치를 정함에 있어 1개의 거골 경부 나사의 위치에 대해서는 해부학적으로 가능한 위치가 정해져 있지만, 이와 조합되어 삽입되는 거골 천장 나사는 거골 천장 부위에 나사가 지나는 좋은 위치를 결정하는 것은 중요하다고 하겠다.

이에 본 연구에서는 거골하 유합술 후에 최적의 안정성을 제공하는 이중 나사 고정위치를 규명하고자 하였다.

연구 대상 및 방법

1. 연구대상

21세의 건강한 한국남성의 왼쪽발목을 컴퓨터 단층촬영(CT)하였다. 1.25 ㎜의 단층 간격으로 얻어진 CT영상으로부터 거골과 종골의 컴퓨터 캐드모델을 Mimics V10 (Materialise, Belgium)을 이용하여 재건하였다.

2. 이중 나사 거골하 유합모델

이중 나사 거골하 유합 모델은 4가지가 생성되었다. 4개의 모델에 공통적으로 같은 삽입방향을 갖는 거골 경부 나사가 사용되었다. 나사가 지나는 거골 천장위치에 따라 전외측 (Anterolateral=AL), 전내측 (Anteromedial=AM), 후외측 (Posterolateral=PL), 후내측 (Posteromedial=PM)의 4가지 모델이 구성되었다(Fig. 1). 4개의 모델은 Neck+Dome (AL), Neck+Dome (AM), Neck+Dome (PL), Neck+Dome (PM)와 같이 표시하기로 하였다. 나사는 길이는 80 ㎜, 직경이 5㎜, 나사부의 길이는 20 ㎜를 갖는 부분 나사산 유관 나사로 가정되었다.

3. 유한 요소모델

재건된 발목뼈의 캐드 모델로부터 Tetrahedron 유한요소를 생성하였는데, 요소의 최대모서리 길이는 2 ㎜로 하고 원래 캐드 모델의 형상으로부터 유한요소로 변환 중에 허용된 형상의 에러는 0.3 ㎜로 이하로 제한 하였다. CT영상의 Hounsfeild Unit을 바탕으로 하여 0~30 GPa의 Young's modulus를 각각의 유한요소에 국부적으로 지정

하였으며, 공통적으로 포아송비는 0.4 를 부과하였다. 나사의 재질은 타이타늄으로 가정하여 Young's modulus 110 GPa, 포아송비는 0.3 으로 설정하였다.

해석은 2단계로 시행되었다. 1단계로 나사를 100 N의 힘으로 거골쪽으로 당겨 나사를 삽입하는 것이고, 2단계는 나사가 삽입된 후에 4 N-m의 외회전이나 내회전 토오크를 가하는 것이다(Fig. 2). 1단계 나사 삽입 중에는 전 나사부에 걸쳐 골 내의 나사 구멍의 표면과 마찰이 없다고 가정되었다. 2단계에서는 1단계에서 나사의 드라이버을 사용한 삽입이 끝나고 나사골 때문에 거골에서 나사와 골 표면과의 상대운동이 없는 것으로 설정하였다. 거골 천장부를 편평하게 잘라내고 그 평면의 자유도 운동을 제한하였다. 거골 천장부의 중심점으로부터 종골의 가장 하단표면으로 내린 점을 중심으로 약 직경 10㎜의 토오크렌치의 연결 금속 홈에 해당하는 회전판을 설정하여 회전판내의 모든 절점(node)의 자유도는 회전 중심판과 일치하도록 하였다.

4. 거골하 유합술의 기계적 안정성 평가

4개의 이중 나사법 모델에 대한 유한 요소 +해석의 결과로부터 거골-경골 관절의 기계적 안정성은 직선 및 회전 이동량으로 평가하였다. 직선이동량은 종골의 가장후방에 위치한 하나의 점이 회전토오크를 받을 때 움직인 거리를 가지고 평가하였다. 회전량은 4 N-m의 회전 토오크를 가할 때 회전판이 근원축(Fig. 2에서 Z축)에 대하여 회전한 각으로 평가하였다.

결 과

1. 종골의 직선 이동

100N의 힘에 의해 삽입할 때 나사이동은 0.87mm-1.4mm이었다. 외회전이나 내회전 토오크가 가해질 때 종골의 이동량은 나사가 삽입된 후로부터 계산되었다. 외회전 토오크와 내회전 토오크에 의해 Neck+Dome (PM) 모델이 가장 적게 이동하였는데 각각 0.91mm 및 0.85mm 이동하였다(Fig. 3). Neck+Dome (AL) 모델 및 Neck+Dome (PL) 모델은 외회전 및 내외전 토오크를 받을 때 1.24 ~1.33mm 범위에서 씩 이동하였다. Neck+Dome (AM) 모델은 가장 많이 이동했는데, 외회전 및 내회전 토오크에 의해 각각 1.45mm 및 1.36mm 이동하였다.

2. 종골의 회전 이동

100N의 힘에 의한 나사를 삽입할 때 종골의 회전은 0.1도 이하였다. 외회전이나 내회전 토오크가 가해질 때 종골의 회전량은 나사가 삽인된 후로 부터 계산되었다. 외회전 토오크와 내회전 토오크에 의해 Neck+Dome (PM) 모델이 가장 적게 회전하였는데 각각 4.68도 및 4.84도 였다(Fig. 4). Neck+Dome (PL) 모델은 외회전 및 내외전 토오크를 받을 때 각각 5.55도 및 5.47도 회전하였다. Neck+Dome (AM) 모델은 외회전 및 내외전 토오크를 받을 때 각각 6.47도 및 6.43도 회전하였다. 이들에 비해 Neck+Dome (AM) 모델은 상당히 많이 회전하였는데, 외회전 및 내회전 토오크에 의해 각각 10.43도 및 10.23도 이동하였다.[3)]

고 찰

외상에 의하여 종골 후방 관절면에 심한 손상을 받은 종골 골절에서는 일차적인 수술을 통하여 거골하 관절면이 복원 되더라도 많은 경우 동통을 동반하는 거골하 관절염이 이차적으로 발생한다고 하였다.[4] 충분한 압박 및 관절 유합부위의 움직임을 최소화 함으로써 골의 유합이 촉진될 수 있다.[5] 거골하 관절 유합술에 사용되는 내고정 기기로는 금속강선, 금속나사, 금속 스테이플, 그리고 외고정 장치 등이 이용되어져 왔으나[6,7], 유관나사[8]를 이용한 내고정술은 고정하고자 하는 관절의 연골을 제거하고 압박 내고정하므로 최소한의 골절제로 족관절 및 족부의 정상적인 외형을 유지할 수 있다는 장점이 있다.[8]또한 유관 압박 나사를 이용하는 고정은 유도핀을 이용하여 방사선 투시하 가장 적절한 위치를 선택하여 고정할 수 있으며 큰 압박력을 얻을 수 있어 높은 유합률을 얻는데 장점이 있다.[1,8] 최근 거골하 관절 유합술을 시행하는 데 있어 역학적인 특성에 영향을 미칠 수 있는 나사의 외관과 고정 위치에 대한 연구가 이루어지고 있다.[6,9] 단일 혹은 이중 나사를 이용하여 거골하 관절 유합술을 시행하여 임상적으로 좋은 결과가 보고 되고 있으나[1,10], 나사의 삽입위치나 경로가 이후 유합 관절의 안정성 및 압박력을 유지하는데 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이었다.

Chuckpaiwong 등[3]은 각각의 나사가 거골 경부와 거골 천장에 위치하는 산개형 이중 나사 고정법이 가장 우수하다고 하였는데, 본 연구는 한 걸음 더 나아가 산개형 이중 나사 삽입 시에 거골 천장을 지나는 나사의 위치는 어디가 가장 좋은 지에 답을 얻고자 하였다. 이 연구에서는 종골 조면의 후하방에서 시작해서 거골의 경부에 위

치하는 하나의 나사와 종골 조면의 후방에서 시작해서 거골의 후내측 천장을 지나는 다른 나사로 구성된 이중 나사 고정법(즉, Neck+Dome(PM) 모델)이 거골하 유합술을 위한 최적의 이중 나사법으로 규명되었다.

Chuckpaiwong 등[3)]의 연구에서는 사체를 이용하여 단일나사 삽입위치에 의한 영향을 고려하였다. 그 연구에서 한개의 나사를 사용한 경우 거골 천장의 전내측-Dome(AM) 나사나 후내측-Dome(PM)나사가 내회전시 변형에 있어 가장 견고한 고정법이었으며, 전외측-Dome(AL)에 나사가 위치한 경우 회전력에 가장 큰 변형을 보이고 있었다. 그리고 압박력이나 염전력에 있어 이중 나사 고정법이 단일나사 고정법보다 견고한 고정력을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 이 연구에서는 고정력이 가장 우수한 산개형 이중 나사 고정법의 나사위치를 정함에 있어, 외측 종골을 통과하는 나사는 경골 천장에 위치하고 내측 종골을 통과하는 나사는 경골 경부에 위치하게 하는 한가지 고정된 방법만을 시행하였다.

저자는 본 연구에서 거골하 관절 유합술을 시행을 위해 최적의 이중 나사 고정법을 규명하고자 하여, 우선 개인간에 보이는 해부학적 차이을 없애기 위해 건강한 젊은 한국남자의 컴퓨터촬영 이미지로부터 유한요소를 구성하였다. 사체실험에서 비교모델간에 공평한 하중 및 운동조건을 가하는 것이 어렵지만 본 연구에서 시행한 유한요소해석은 공평한 경계조건을 줄 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 이중 나사 고정법에서 거골 천장의 나사 위치에 따른 고정력을 비교할 수 있었으며, 거골 경부나사와 거골 천장 후내측 나사(Neck+Dome(PM))가 함께 쓰인 조합이 가장 견고한 고정법으로 해석되었다.

두 연구를 비교한다면, Chuckpaiwong 등[3)]의 연구는 사체시편을 사용하였고, 단 나

사의 거골 경부 및 천장에 위치에 따른 정렬법간을 비교하거나, 평행하는 두개의 Dome(AL)+Dome(AM) 거골 천장 나사법과 산개형 Neck+Dome(AL) 이중 나사법을 비교하였다. 또한 회전 토오크를 가할 때 기준축이 Chuckpaiwong 등[3]은 나사의 삽입방향이지만 본 연구에서의 회전축은 해부학적 축에 가까운 축으로, 본 연구에서 가한 회전은 순수한 내,외측 회전에 가깝다.[11]

본 연구는 몇가지 한계점을 지니고 있다. 본 연구의 해석모델은 관절연골을 가지고 있지 않아 관절에서 접촉에 의한 지형학적 영향을 고려하기 어렵다. 또한 회전 토오크를 가할 때 동반될 수 있는 내번, 외번, 족배굴, 족저굴에 대한 추가적인 실험평가가 필요하며 카데바를 이용한 비교 연구 및 임상적인 추시 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그러나 본 연구의 관절 면에서 관절연골이 없는 것은 순수하게 거골과 종골의 접촉면에서 개개인이 가질 수 있는 해부학적 차이를 제한 상태에서 나사의 방향이 주는 영향을 더 잘 살펴볼 수 있는 잇점이 있다고 할 수 있다.

결 론

종골의 후하방에서 시작해서 거골의 경부에 위치하는 나사와 종골 후방에서 시작해서 거골의 후내측 천장을 지나는 나사로 구성된 이중 나사 고정법(즉, Neck+Dome (PM) 모델)이 거골하 유합술을 위한 최적의 이중 나사 고정법으로 판단된다.

참고문헌

1. Davies MB, Rosenfeld PF, Stavrou P, Saxby TS. *A comprehensive review of subtalar arthrodesis. Foot Ankle Int. 2007;28(3):295-7.*

2. Easley M, Chuckpaiwong B, Cooperman N, et al. *Computer-assisted surgery for subtalar arthrodesis. A study in cadavers. J Bone Joint Surg Am. 2008;90(8):1628-36.*

3. Chuckpaiwong B, Easley ME, Glisson RR. *Screw placement in subtalar arthrodesis: a biomechanical study. Foot Ankle Int. 2009;30(2):133-41.*

4. Myerson MS. *Primary subtalar arthrodesis for the treatment of comminuted fractures of the calcaneus. Orthop Clin North Am. 1995;26(2):215-27.*

5. Dahm DK, HB. *Subtalar arthrodesis with internal compression for post-traumatic arthritis. J Bone Joint Surg Br. 1998;80(1):134-8.*

6. Gosch C, Verrette R, Lindsey DP, Beaupre GS, Lehnert B. *Comparison of initial compression force across the subtalar joint by two different screw fixation techniques. J Foot Ankle Surg. 2006;45(3):168-73.*

7. Dennyson WG, Fulford GE. *Subtalar arthrodesis by cancellous grafts and metallic internal fixation. J Bone Joint Surg Br. 1976;58-B(4):507-10.*

8. Chieppa WA SKaWJ. *Use of the cannulated bone screw in rearfoot surgery. J Foot surg. 1989;28:333-4.*

9. McGlamry MC, Robitaille MF. *Analysis of screw pullout strength: a function of*

screw orientation in subtalar joint arthrodesis. J Foot Ankle Surg. 2004;43(5):277-84.

10. **Mann RA, Beaman DN, Horton GA.** *Isolated subtalar arthrodesis. Foot Ankle Int. 1998;19(8):511-9.*

11. **Wu G, Siegler S, Allard P, et al.** *ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion--part I: ankle, hip, and spine. International Society of Biomechanics. J Biomech. 2002;35(4):543-8.*

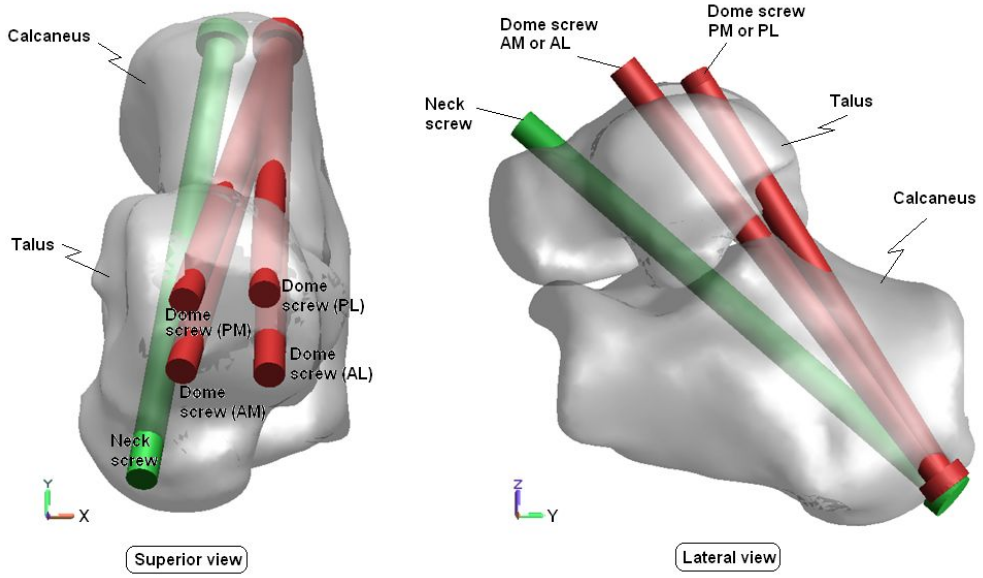

Fig. 1. Four fixation configurations for double-screw subtalar arthrodesis: Neck screw + Dome screw(AL), Neck screw + Dome screw(AM), Neck screw + Dome screw(PL), Neck screw + Dome screw(PM).

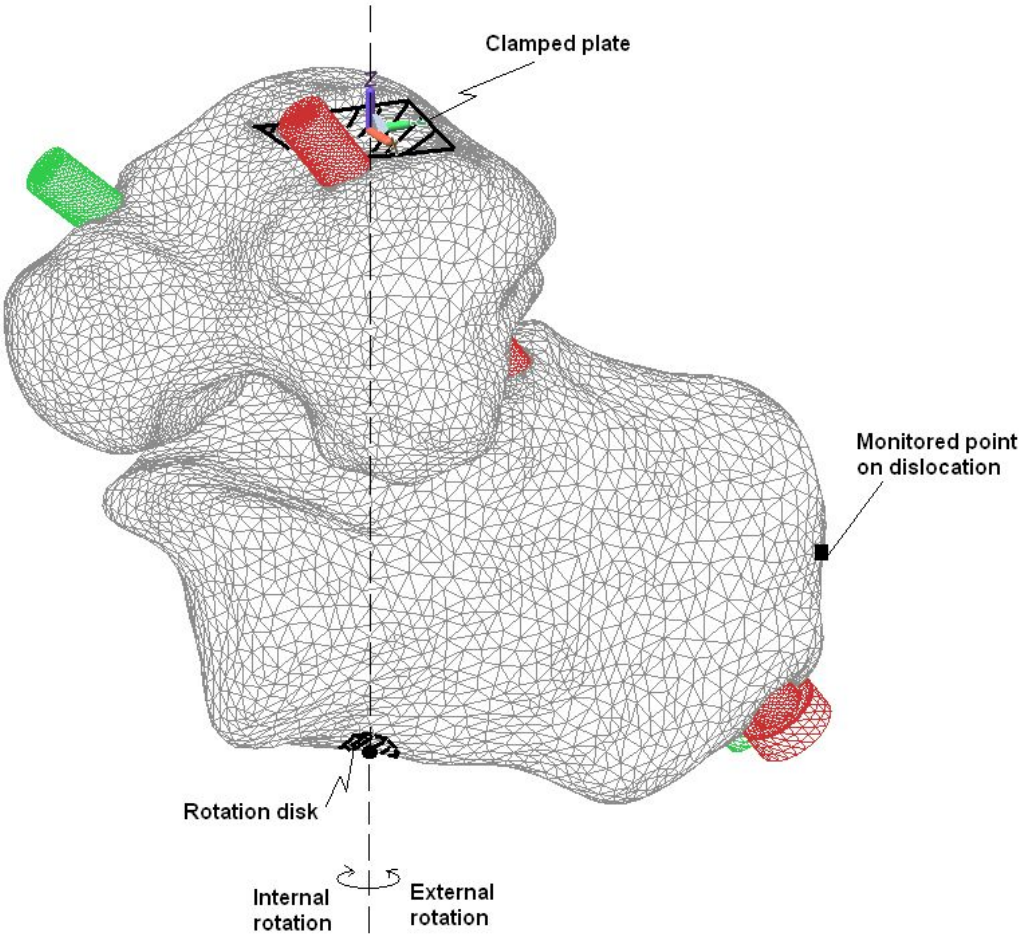

Fig. 2. A finite element model of Neck+Dome(AL), its boundary conditions. The monitored point on the posterior calcaneus was specified as the indicator of calcaneus displacement.

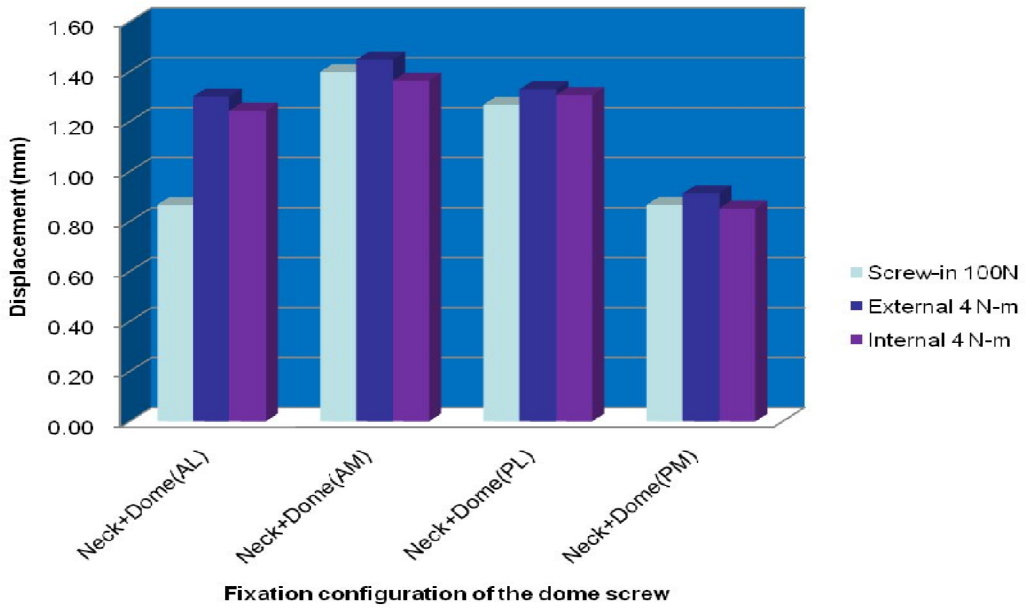

Fig. 3. Displacement of the posterior-most calcaneus point.

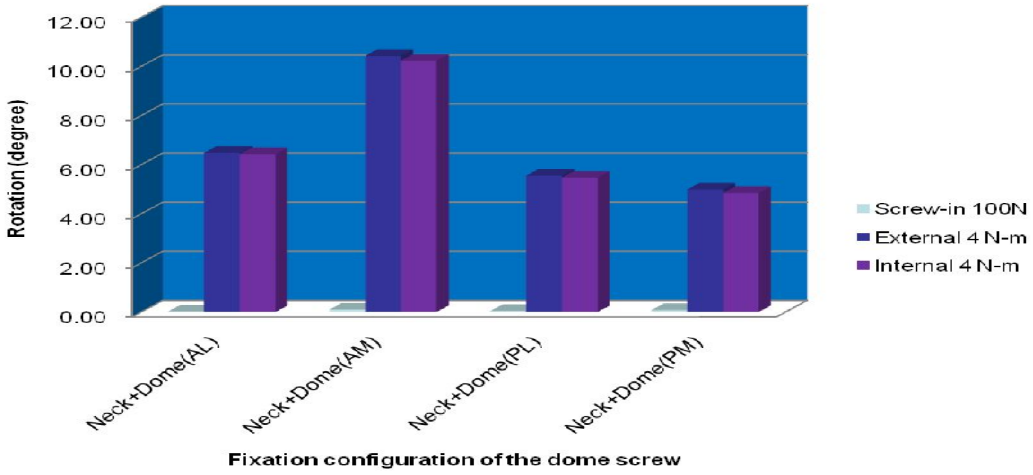

Fig. 4. Rotation angle of the calcaneus.

저작물 이용 허락서

학 과	의학과	학 번	20087472	과 정	석사
성 명	한글: 양훈 한문 : 梁勳 영문 : Hoon Yang				
주 소	광주시 동구 소태동 진아하이빌 201동 807호				
연락처	E-MAIL : ichliebeyh@hanmail.net				
논문제목	한글 : 유한요소 분석법을 이용한 거골하 관절 유합술에서 이상적인 고정 나사의 위치 - 유한 요소 해석-				
	영문 : Optimal Screw Configuration for Fixation of Subtalar Arthrodesis - A Finite Element Analysis -				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 -조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(O) 반대( )

2010년 2월

저작자: 양훈 (인)

조선대학교 총장 귀하