

근위경골 절골술 시 절골부 현지각이 후방경사각에 미치는 영향 예측을 위한 수학적 모델 제안

Suggestion of Mathematical Model for Influence Prediction of Relationship between Osteotomy Site Hinge Angle and Posterior Slope Angle in High Tibial Osteotomy (HTO)

*#김철웅¹, 이호상², 정명훈², 양영규², 김영록², 왕준호³

*#Cheol-Woong Kim(woong25@korea.ac.kr)¹, Ho-Sang Lee², Myoung-Hoon Jung², Young-Gyu Yang², Young-Rok Kim², and Joon Ho Wang³

¹고려대학교/(주)트리플씨메디칼, ²(주)트리플씨메디칼 R&D Center, ³고려대학교 의과대학 정형외과

Key words : High Tibial Osteotomy(HTO), Anteromedial Tibia Cortex Line, Hinge Axis Angle, Posterior Slope Angle(PSA)

1. 서론

최근 네비게이션 계측을 통한 근위경골절골술이 국내에서도 활발히 수행되고 있다. 근위경골절골술은 현재 Fig. 1에 제시된 바와 같이 폐쇄형 췌기 근위경골절골술(Closing Wedge High Tibial Osteotomy, 이하 CWHTO)과 개방형 췌기 근위경골절골술(Opening Wedge High Tibial Osteotomy, 이하 OWHTO)이 양립하고 있다. Bae 등⁽¹⁾은 내반 변형을 동반한 내측구획 퇴행성 슬관절염 환자에 대해 네비게이션 장치를 이용하여 OWHTO를 분석한 바 있다. Song 등⁽²⁾은 최소침습 인공슬관절 전치환술에 네비게이션 시스템을 이용하여 하지 및 삽입물의 부정정렬 감소에 대해 연구를 수행한 바 있다. 그러나 Bae 등과 Song 등은 고비용의 네비게이션 시스템이 꼭 필요한가에 대해 회의적인 결론을 도출하기도 하였다.^(3,4) 또한, Choi 등⁽⁵⁾은 인공 슬관절 치환술 시 네비게이션을 이용하여 치환물 삽입각을 계측하고, 술후 방사선 사진과 비교

분석한 연구에서, 네비게이션과 방사선학적 계측간에는 비교적 낮은 상관관계를 나타내며, 특히 방사선학적 계측은 일관된 방사선 사진 습득의 한계성 및 해부학적 축 기준으로 인한 측정오차가 발생한다고 보고하였다. 이상의 최근 연구결과를 종합해보면, 고식적 방법인 방사선사진 측정법과 네비게이션 시스템을 이용한 방법에는 아직까지 문제점이 있다. 따라서 본 연구그룹에서는 방사선학적 접근의 오류를 개선하고, 고비용 대비 저효율적인 네비게이션 시스템의 한계성을 극복하는 방안을 개발하였다. 즉, 절골술 환자에 대해 술전 수립되는 교정각 계획이 술후 경골 후방경사각(Posterior Slope Angle, 이하 PSA) 변화에 어떠한 영향을 미칠 것인지 정확히 예측하고 평가할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 본 연구그룹에서는 내반슬 혹은 외반슬 환자의 근위경골 CT 이미지를 이용하여 3D로 근위경골을 재건한 후 PSA 변화에 영향을 미치는 다양한 인자들의 상호관계에 대해 연구하였다. 본 연구에서는 특히 근위경골의 해부학적 인자 중 전내측 경골피질 경사각과 직접적으로 관련있는 경골경첩축이 45°인 경우와 90°인 경우, 후방경사각 변화에 미치는 영향을 평가하였고, 그에 따른 해법에 대해 개략적으로 서술해 보았다.

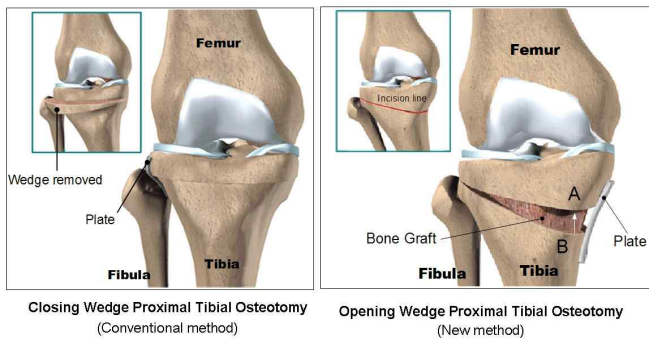


Fig. 1 Difference between Closing Wedge High(proximal) Tibial Osteotomy (CWHTO) and Opening Wedge High(proximal) Tibial Osteotomy (OWHTO)

2. 개방형 췌기 근위경골절골술(OWHTO) 후 Proximal Tibia Geometries Factors 측정

전내측 경골 피질부 경사각(anteromedial tibia cortex angle)은 경비관절면(tibiofemoral joint plane)에서 원위부 40mm 지점에서 형성된 x축 평면상에서 전내측 피질부의 접선과 시상면(sagittal plane)과 평행을 이루고 있는 전후방선(anteroposterior line)이 이루는 각을 측정하였다. PSA를 측정하는 방법은 Fig. 2에 제시된 바와 같이 1) 경골 해부학적 축선(tibial proximal anatomical axis line), 2) 경골 후방피질부 접선(tibial posterior cortex line), 3) 경골 전방피질부 접선(tibial anterior cortex line), 4) 비골 해부학적 축(fibular anatomical axis line), 5) 비골 후방피질부 접선(fibular posterior cortex line), 6) 비골 전방피질부 접선(fibular anterior cortex line)을 기준으로 측정하는 방법이 통상적으로 사용되고 있다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 경골의 근위부분만을 3D 재건하였기 때문에 경골 및 비골의 해부학적 축을 선정하는데 모호함이 있어서 기준선(reference line)에서 제외하였고, 경골의 전방피질부 접선은 사체마다 경골조면(Tuberosity of tibia)의 위치가 조금씩 차이가 있기 때문에 시편별로 차이가 크게 나타나지 않는 경골후방피질부 접선(tibial posterior cortex line)을 기준으로 경골후방경사각(PSA)을 측정하였다.

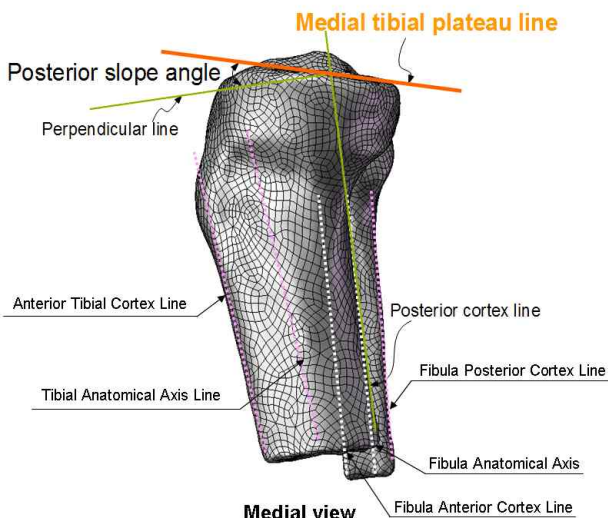
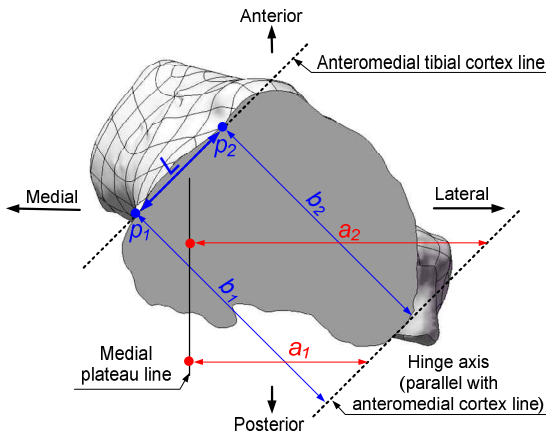


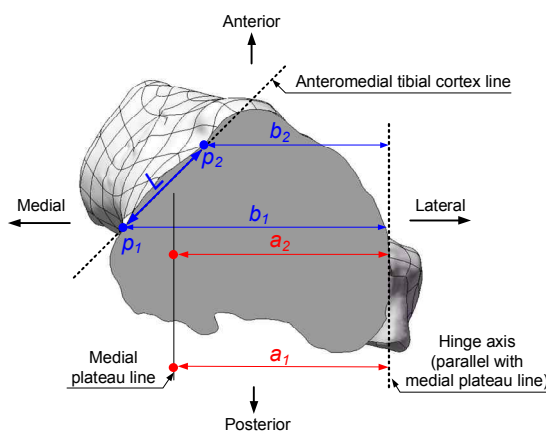
Fig. 2 Geometrical position of Posterior Slope Angle (PSA) and others geometries factors

3. Hinge Axis Angle = 45° 조건의 PSA 증가 방지법

근위경골절골술 시 Hinge Axis Angle = 90°인 경우는 PSA의 변화를 방지할 수 있다. 그러나 기존 대부분의 OWHTO 수행시에는 수술 편의상 Fig 3(a)와 같이 전내측 경골피질부 접선과 수직하게 Hinge Axis Angle = 45° 조건에서 절골이 진행되었다. 따라서 45° 조건으로 수술이 진행될 경우에도 PSA가 증가하는 것을 방지해야할 해법이 필요하다. 본 문제를 해결하기 위해서 D. Kendoff 등 및 Erik Hohmann 등은 테이퍼진 삽입물로 절골부위를



(a) Hinge Axis angle = 45°



(a) Hinge Axis angle = 90°

Fig. 3 Definition of hinge axis angle at 45°, 90° according to the relationship between antoromedial tibial cortex line and hinge axis

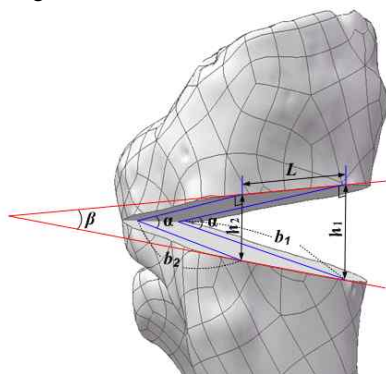


Fig. 4 Calculation of wedge angle after computer assisted high tibial osteotomy

고정시킴으로써 인위적으로 경골 췌기각을 변화시켜 수술을 시행하고 있으나, 수술을 정확히 예측할 수 있는 방법이 제시되지 않아 PSA의 변화를 완벽하게 방지하지 못하고 있다. PSA의 변화를 원천적으로 방지하기 위해서는 경골의 근위부와 원위부를 분리시켜 개방한 이후 PSA가 변화하지 않는 경골췌기각을 산출해야만 한다. 따라서 본 연구에서는 PSA 변화가 거의 없는 Hinge Axis Angle = 90°의 조건과 PSA 변화가 발생하는 Hinge Axis Angle = 45°의 조건을 상호 비교하여 두 조건의 상관관계를 통하여 Hinge Axis Angle = 45° 조건에서도 PSA가 변화하지 않는 계산법에 대해 유도할 수 있었다. 즉, 경골췌기각은 다음과 같은 방법으로 수술전에 미리 예측할 수 있다. Fig. 3 및 Fig. 4에 제시한 바와 같이 전내측경골피질접선의 전방부에서 경첩축까지의 수직거리를 b_1 , 전내측경골피질접선의 후방부에서 경첩축까지의 수직거리를 b_2 라고 하였을 때, 경골개방각(α)에 따라

발생하는 높이 h_1, h_2 는 다음과 같은 공식으로 간단히 계산할 수 있다.

$$h_1 = b_1 \sin \alpha, \quad h_2 = b_2 \sin \alpha \quad (1)$$

여기서, p_1 과 p_2 간의 거리를 L 이라고 정의하였을 때, 경골췌기각(β)은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{h_1 - h_2}{L} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \alpha (b_1 - b_2)}{L} \right) \quad (2)$$

상기 내용을 종합해보면, 근위경골절골술 시 Hinge Axis Angle = 45°에서 발생하는 PSA의 변화를 방지하기 위해서는 1) 환자의 외반 또는 내반 변형에 따라 Hinge Axis Angle = 90°의 수술법을 적용하여 적절한 경골개방각(α)을 선택한다. 2) CT image를 이용하여 경골전내측접선과 경첩축까지의 거리 b_1 과 b_2 를 각각 측정한다. 3) 식(2)을 이용하여 경골췌기각(β)을 산출한다. 4) Hinge Axis Angle = 45°의 조건에서 환자의 내반 및 외반 정도에 따라 새롭게 교정각을 선택하고, 식 (3)을 통하여 산출된 경골췌기각이 적용된 고정물로 수술을 준비한다. 등의 순서로 근위경골절골술 시 후방경사각의 변화를 방지할 수 있는 새로운 방법론을 제시해볼 수 있다.

4. 결론

기존 고식적 근위경골절골술의 경우 전내측경골피질부로부터 외측경골연결부로부터 절골을 시행하기 때문에 수술의 편의상 Hinge Axis Angle = 45°의 조건에서 수술하였고 그로인해 술전과 술후에 후방경사각(PSA)가 변화하는 후유증이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 Hinge Axis Angle = 45° 및 90°의 조건에서 근위경골절골술 시 기하학적 기준이 되는 경골개방각(gap angle)과 경골췌기각(wedge angle)의 상관관계를 분석하고 이를 통해 Hinge Axis Angle = 45°의 조건에서도 술후 후방경사각의 변화가 발생하지 않는 방법론에 대해 제안해 보았다.

후기

본 논문은 2008년도 문화체육관광부의 스포츠산업 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었음 (과제번호:S07-2008-22)

참고문헌

1. Dae Kyung Bae, Kyung Ho Yoon, Sang Jun Song, Myeung Cheol Shin, and Jung Ho Noh, "Navigation versus Radiographic Measurements in the Open-Wedge High Tibial Osteotomy using Computer Assisted Surgery (CAS)," *Journal of Korean Orthopedic Association*, Vol.43, No.3, pp.301-307, 2008.
2. Song E.K., Seon J.K., "Navigation-assisted Less Invasive Total Knee Arthroplasty Compared with Conventional Total Knee Arthroplasty: a Randomized Prospective Trial," *Journal of Arthroplasty*, Vo.21, pp.777-782, 2006.
3. Dae Kyung Bae, Kyoung Ho Yoon, Seon Goo Kim, and Kyoung Jun Park, "Efficacy of Computer Assisted Surgery in Revision Total Knee Arthroplasty," *Journal of Korean Orthopedic Association*, Vol.41, No.6, pp.974-980, 2006.
4. Eun Kyoo Song, Jong Keun Seon, Jae Yoon Chung, Sang Gwon Cho, and Il Kyo Kong, "Comparison of Results of Total Knee Arthroplasty Performed using a Navigation System and the Conventional Technique," *Journal of Korean Orthopedic Association*, Vol.41, No.6, pp.1002-1007, 2006.
5. Ho-Rim Choi, Jong-Seok Park, Dushin Jeong, and Byung-Il Lee, "Correlation Analysis Between Navigation and Radiographic Measurement for Component Position of Total Knee Arthroplasty," *Journal of Korean Orthopedic Association*, Vol.42, No.5, pp.565-570, 2007.
6. Brazier J, Migaud H, Gougeon F, Cotten A, Fontaine C and Duquennou A, "Evaluation of Methods for Radiographic Measurement of the Tibial Slope. A Study of 83 Healthy Knees," *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, Vol.82, No.3, pp.195-200, 2006.