

경골 기준각의 변화가 경골고평부 후방경사각에 미치는 영향

The Effects of Proximal Tibial Reference Geometrical Factors on the Tibial Posterior Slope Angle in Tibial Plateau

*이호상¹, #김철용²

*Ho-Sang Lee(mpoem@triplemedical.com)¹ and #Cheol-Woong Kim²

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

Key words : Proximal Tibial Reference Geometrical Factors, Posterior Slope Angle (PSA), Anteromedial tibia cortex line, Gap Angle, Wedge Angle

1. 서론

슬관절의 내반 및 외반 변형시 관절연골의 퇴행성 변화에 의해 해부학적 축이 비정상적으로 전위되고 그로 인해 골소주(trabecula of bone)에 체중부하가 집중적으로 발생된다. 따라서 경골내측 고평단부(tibia medial plateau)에 집중되는 하중을 재분포시키기 위해서 Fig. 1과 같은 근위경골절골술(High Tibial Osteotomy, 이하 HTO)을 시행하게 된다. Fig. 2에 제시된 바와 같이 내측경골고평단부(medial tibia plateau)의 변화에 따라 후방경사각(Posterior Slope Angle, 이하 PSA)가 증가(기준수평선이 상향 이동)할 경우, 내측대퇴골와(medial femoral condyle)의 슬립라인은 후방으로 기울게 되면서 보행 시 전방십자인대(Anterior Cruciate Ligament, 이하 ACL)에 초기인장력을 증가시켜 만성 십자인대 손상(Chronic ACL injury)을 유발시킨다.⁽¹²⁾ 반면에 PSA가 감소할 경우 대퇴골의 슬립라인이 전방으로 기울게 되어 후방십자인대(Posterior Cruciate Ligament, 이하 PCL)의 과부하 및 손상을 유발하게 된다. 이와 같은 문제로 인하여 근위경골절골술 전과 후에 PSA의 기울기가 변하지 않고 유지되는 방법에 대해 다각적인 연구가 진행되고 있다.⁽³⁻⁵⁾ 본 연구에서는 경첩축각(hinge axis angle)의 변화가 PSA에 미치는 영향에 대해 분석하기 위해 Computer Assisted Surgery (CAS)를 이용하여 경첩축각과 PSA의 관계성을 규명하였다. 또한, OHTO 시 경첩축각을 이용하여 PSA가 변화하지 않는 방법을 제시하기 위해 근위

경골술 시 중요하게 적용되는 기하학적 인자인 경골개방각(α)과 경골쇄기각(β)의 변화가 PSA에 미치는 영향에 대해 평가하였다. 본 연구는 절골술을 진행하기 전 수술계획을 세울 시 후방경사각의 변화를 줄일 수 있는 정확한 지침을 제시하는데 기초 연구 자료로 활용될 것이라고 예상된다.

2. Computer Assisted Surgery Method of HTO

본 연구에서는 총 5구의 사체에서 좌우측 경골의 근위부만을 채취하여 총 10개의 경골근위부를 시험편으로 제작하였다. 채취된 시험편은 컴퓨터 단층촬영장비로 1mm간격으로 촬영하여 총 143개의 DICOM 이미지를 생성하였다. 단색 명암의 차이와 threshold 방법을 이용하여 DICOM 이미지상의 피질골(cortical bone)과 해면골(cancellous bone)을 선택하였고, 각 단면에서 선택된 영역들을 적층하여 3D 모델을 완성하였다.

3. Virtual Surgery Method를 이용한 경첩축각(Hinge Axis Angle)의 결정

Computer Assisted Surgery (CAS)를 이용하여 3D 재건된 10개의 근위경골부 모델은 경첩축각(hinge axis angle)을 각각 45°와 90°의 조건으로 나누어 virtual proximal tibia osteotomy를 수행하였다. 이때 경첩축각은 내외측선(mediolateral line)과 경첩축(hinge axis)이 이루는 각으로 정의하였다. 절골면(osteotomy site)은 내측경골고평부(medial tibia plateau) 하단 40mm 지점의 전내측피질선(Anteromedial cortex line)에서 시작하여 외측경골고평부(lateral tibia plateau) 하단 10mm 지점까지 연결한 선을 기준으로 형성되었다. 이어서 절골면을 따라 경골의 근위부와 원위부로 각각 분리시키고, 분리된 경골의 근위부 단면과 원위부 단면이 이루는 각을 5°에서 20°까지 1°씩 증가시키며 경골의 후방경사각을 측정하였다.⁽⁶⁻⁸⁾ Fig. 3은 이상과 같이 컴퓨터를 이용하여 3D 재건술을 수행한 결과이다.

4. Hinge Axis Angle 변화에 따른 PSA의 변화

Hinge Axis Angle = 45° 및 Hinge Axis Angle = 90°의 실험조건에서 개방각(Gap angle)을 5°부터 10°까지 1°씩 증가시켰을 경우 PSA의 변화는 유의적인 거동을 나타냈다. Fig. 4(a)에 제시된 바와 같이 경첩축각이 45°일 경우는 시험편로 그 기울기는 평균 0.5°씩 증가하였다. Hinge Axis Angle = 45° 조건에서 개방각을 20°로 수술할 경우 경골후방경사각(PSA)의 변화는 약 10°가량 차이가 발생하였다. 반면 Hinge Axis Angle = 90° 조건에서는 경골의 원위부와 근위부의 개방각이 증가하여도 경골 후방경사각의 증가량은 크지 않았다. Fig 4(b)와 같이 평균 기울기는 약 0.1 정도로 나타내며 절골술시 개방각을 20°로 수행할 경우 평균 1° 정도의 후방경사각이 변화함을 알 수 있다.

5. Hinge Axis Angle 변화에 따른 Gap Angle의 변화

Hinge Axis Angle = 45°인 경우와 Hinge Axis Angle = 90°인 경우를 비교해 보았을 때, Hinge Axis Angle = 45°인 경우가 Hinge Axis Angle = 90°인 경우에 비해 PSA의 변화량이 크다는 사실을 알 수 있었다. 그 이유는 절골단면(osteotomy plane)에서 경첩축과 각각의 선들까지의 거리인자(a_1 , a_2 및 b_1 , b_2)에 직접적

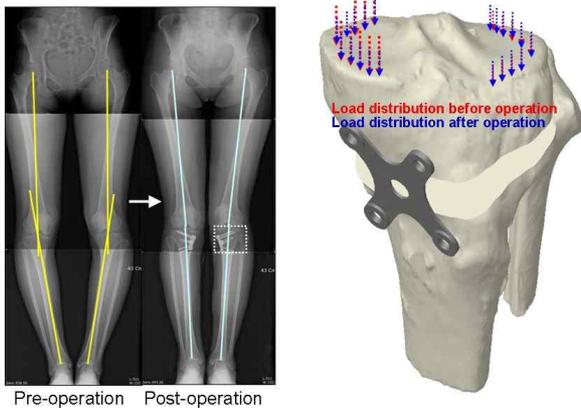


Fig. 1 Surgical procedure for correction of VARUS or VALGUS malalignment in the case of pre-operation and post-operation

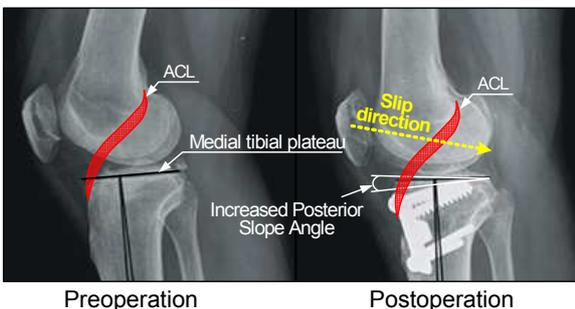


Fig. 2 Change of slip direction by increasing posterior tibial slope angle after Proximal Tibial Osteotomy (PTO)

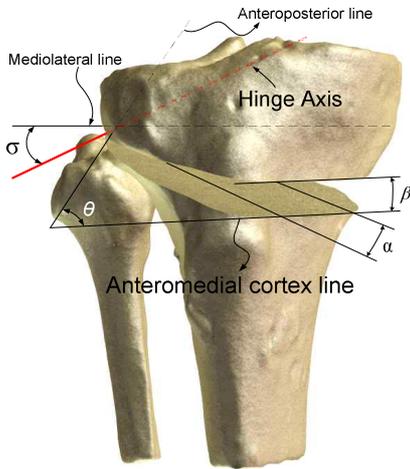


Fig. 3 Relationship between hinge axis and others proximal tibia geometries factor

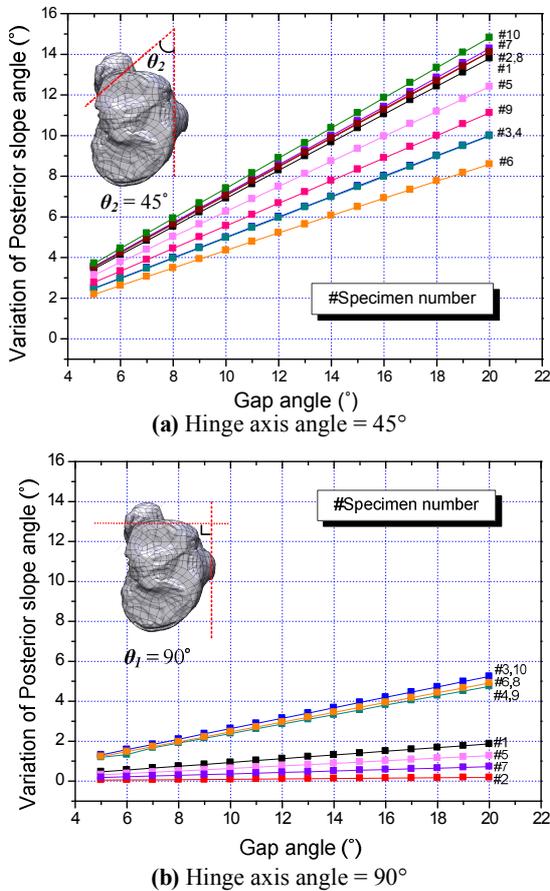


Fig. 4 Variation of posterior tibial slope angle according to the relationship between PSA and gap angle in the case of PSA = 45° and PSA = 90°

인 영향을 받았기 때문이다. PSA 측정시 기준이 되는 내측경골고평부(Medial tibia plateau) 접선은 Hinge Axis Angle = 45°인 경우는 두 선이 평행하지 않지만, Hinge Axis Angle = 90°인 경우는 평행하다. 내측경골고평부 접선의 전방 부분에서 경첩축까지의 수직거리를 a_1 , 경골내측 고평부 접선의 후방부분에서 경첩축까지 수직거리를 a_2 라고 가정하였을 경우, Hinge Axis Angle = 90°는 $a_1 = a_2$ 의 관계가 성립된다. 따라서 Fig. 3과 같이 절골단면의 선단에 존재하는 경첩축을 중심으로 근위경골상부를 들어올렸을 때 Hinge Axis Angle = 90°의 경우는 내측경골고평부 접선의 전방부분과 후방부분이 같은 각도로 개방되기 때문에 경골 후방경사각의 변화가 거의 일어나지 않게 된다. 이때 발생된 개방각(gap angle)을 Fig. 3에서 α 로 표현하였다. 반면, Hinge Axis Angle

= 45°인 경우는 $a_1 \neq a_2$ 가 성립되므로 Hinge Axis Angle = 90°와 동일한 조건으로 개방해도 $a_2 > a_1$ 가 되어 PSA는 증가하게 된다.

6. Hinge Axis Angle 변화에 따른 Wedge Angle의 변화

Fig. 3에서 β 로 표현된 경골췌기각(wedge angle)은 절골에 의해 근위경골부가 분리되며 발생하는 근위경골 상단과 하단의 전내측경골피질접선(anteromedial tibia cortex line)이 이루는 각으로 정의된다. 경골췌기각은 경골개방각과는 반대로 Hinge Axis Angle = 45°인 경우는 $b_1 = b_2$ 의 관계가 성립되고, Hinge Axis Angle = 90°인 경우에는 $b_1 \neq b_2$ 가 성립된다. 따라서 살펴보았을 때, Hinge Axis Angle = 90°인 경우 p_1 지점에서의 높이 h_1 과 p_2 지점에서의 높이 h_2 가 다르게 형성이 되며 그로 인해 개방각이 증가할수록 경골췌기각(Wedge angle) h_1 과 h_2 의 오차는 증가하게 된다. h_1 과 h_2 는 PSA에 직접적으로 영향을 미치는 인자이므로 $h_1 > h_2$ 의 차이가 커질수록 PSA의 증가하게 되고, 그로 인해 근위경골절골술 후 ACL에는 과부하가 발생하게 된다.

7. 결론

본 연구에서는 경골기준각의 변화가 경골고평부 후방경사각에 미치는 영향에 대해서 평가하였다. 근위경골절골술시 근위경골 상하단의 절골틈새로부터 발생하는 개방각과 췌기각은 후방경사각에 직접적인 영향을 미친다. 즉, 경첩축각이 증가하는 과정에서 개방각이 증가할수록 후방경사각에 대한 변화량은 감소한다는 사실을 알 수 있었으며 개방각과 췌기각은 상호연관성이 깊은 함수관계임을 알 수 있었다. 본 연구는 수학적인 모델을 개발하여 더욱 발전시킬 예정이다.

후기

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

참고문헌

1. Frank R. Noyes, Steven X. Goebel and John West, "Opening Wedge Tibial Osteotomy : The 3-Triangle Method to Correct Axial Alignment and Tibial Slope," *American Journal of Sports Medicine*, Vol.33, No.3, pp.378-387, 2005.
2. Jae Ho Yoo, Chong Bum Chang, Kwang Sook Shin, Sang Cheol Seong and Tae Kyun Kim, "Anatomical Reference to Assess the Posterior Tibial Slope in Total Knee Arthroplasty : A Comparison of 5 Anatomical Axes," *The Journal of Arthroplasty*, Vol.23, No.4, pp.586-592, 2008.
3. 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, 1996.
4. Hohmann E, Bryant A and Imhoff AB, "The Effect of Closed Wedge High Tibial Osteotomy on Tibial Slope : a Radiographic Study," *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc.*, Vol.14, pp.454-459, 2006.
5. Eun kyoo Song, "High Tibial Osteotomy for Osteoarthritis of the Knee," *J. of Korea Orthop. Assoc.*, Vol.39, No.1, pp.104-107, 2004.
6. Peter J. Flower, Jee Lim Tan and Greg A. Brown, "Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy : How I Do It," *Operative Techniques in Sports Medicine*, Vol.8, No.1, pp.32-38, 2000.
7. Vittorio Franco, Guglielmo Cerullo, Massimo Cipolla, Enrico Gianni and Giancarlo Puddu, "Osteotomy for Osteoarthritis of the Knee," *Current Orthopaedics*, Vol.19, No.10, pp.415-427, 2005.
8. D. Kendoff, D. Lo, P. Goleski, B. Warkentine, P.F.O' Loughlin, A.D. Pearle, "Open Wedge Tibial Osteotomies Influence on Axial Rotation and Tibial Slope," *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*, Vol.16, No.5, pp.904-910, 2008.