

## CAS를 이용한 개방형과 폐쇄형 경골 근위부 절골술에서 네비게이션 장치와 방사선 사진 상 계측치의 비교 분석

배대경 · 송상준 · 윤경호 · 곽상준

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

### A Comparative Study of the Navigated and Radiographic Measurements in Open and Closed Wedge High Tibial Osteotomy with Computer Assisted Surgery

Dae Kyung Bae, M.D., Sang Jun Song, M.D., Kyung Ho Yoon, M.D., and Sang Joon Kwak, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, School of Medicine, Kyung Hee University, Seoul, Korea

**Purpose:** We wanted to identify the difference of the measured values between a navigation system and radiographs when performing open and closed wedge high tibial osteotomy (HTO) under the control of a navigation system.

**Materials and Methods:** Thirty-two open wedge HTOs and 51 closed wedge HTOs were performed using a navigation system. The postoperative mechanical axis percent, which was planned on the navigation system, was 62%. The mechanical axis (MA) was measured before osteotomy and after fixation on the navigation system, and these were compared with the measured values from the radiographs. The difference of the postoperative MA between the navigation system and the radiographs was compared according to the type of HTO. The alteration of the tibial posterior slope angle was also compared.

**Results:** For the open wedge HTO, the mean MA after fixation was valgus  $2.7^{\circ}$  on the navigation system and the postoperative MA was valgus  $4.0^{\circ}$  on the radiograph. For the closed wedge HTO, the mean MA after fixation was valgus  $3.5^{\circ}$  on the navigation system and the postoperative MA was valgus  $1.6^{\circ}$  on the radiograph ( $p=0.000$ ). The mean tibial posterior slope angle was increased by  $5.3^{\circ}$  after the open wedge HTO and it was decreased by  $1.8^{\circ}$  after closed wedge HTO ( $p=0.000$ ).

**Conclusion:** Performing HTO with a navigation system could increase the surgical accuracy because the navigation system checked the intraoperative correction angle in real time. Weight bearing makes a difference for the postoperative MA between the navigation system and radiographs. This should be taken into account, according to the type of HTO.

**Key Words:** Knee, Osteoarthritis, Open wedge and closed wedge high tibial osteotomy, Navigation system

## 서 론

성공적인 경골 근위부 절골술을 위해서는 적절한 환자의 선택, 정확한 교정각을 위한 술 전 계획과 수술 술기, 재활 치료의 중요성이 강조된다.<sup>1-7)</sup> 교정각의 크기를 정하는 고식적인 방법으로 술 전 방사선 사진 상 교정각과

썸기(wedge)의 크기를 계측하는 방법, 절골 지침자(jig system)를 사용하는 방법, 수술 중 고관절 중심과 족근 관절 중심을 잇는 cable 선을 이용하는 방법 등이 있지만, 방사선 사진 상 하지의 회전에 의한 교정각 측정의 부정확성, 방사선 사진 계측 시 영상 시차(image paral-

접수일 : 2008년 11월 20일, 게재확정일 : 2009년 7월 7일

교신저자 : 송 상 준

서울시 동대문구 회기동 1

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

TEL: 02-958-9489 • FAX: 02-964-3865

E-mail: songsjun@khmc.or.kr

Correspondence to

Sang Jun Song, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, School of Medicine, Kyung Hee University,  
1 Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-702, Korea

Tel: +82,2-958-9489, Fax: +82,2-964-3865

E-mail: songsjun@khmc.or.kr

lax), 절골면의 위치, 경골 직경의 차이 등으로 고식적 방법의 한계에 대해 보고되고 있다.<sup>8-15)</sup> 최근 수술의 정확성, 정밀성, 재현성을 높이기 위해 네비게이션 장치를 이용하고 있으며, 네비게이션 장치를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술의 보고는 비교적 많으나,<sup>13,16,17)</sup> 네비게이션 장치를 이용한 폐쇄형 경골 근위부 절골술에 대한 보고는 드물었고,<sup>18)</sup> 네비게이션 장치를 이용한 개방형과 폐쇄형 경골 근위부 절골술을 비교한 연구는 없었다. 본 연구의 목적은 네비게이션 장치를 이용한 개방형 또는 폐쇄형 경골 근위부 절골술 후 역학적 축의 방사선 사진 상 계측치와 네비게이션 장치상 계측치 차이 및 수술 전, 후 후방 경사각의 변화를 비교하여 네비게이션 시술의 정확도를 분석하고 그에 따른 문제점을 보고하고자 함이다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

2005년 7월부터 2007년 11월까지 내반 변형을 동반한 내측 구획의 퇴행성 슬관절염에서 CT-free navigation system (Vector Vision<sup>®</sup> version 1.1, BrainLAB, Heimstetten, Germany)을 이용하여 개방형 경골 근위부 절골술을 시행한 32명과 폐쇄형 경골 근위부 절골술을 시행한 51명의 환자를 대상으로 전향적으로 분석하였다. 수술 방법은 환자의 연령, 술 전 방사선 사진 상의 내반 변형의 정도 등을 고려하여, 연령이 젊고 술 전 방사선 사진 상 내반 변형이 심해 폐쇄형 절골술을 시행할 경우 경골 결절의 손상 가능성이 있을 만큼 큰 교정각이 필요하였던 경우 개방형 절골술을 시행하였다. 절골면의 고정을 위해 개방형 절골술 시 Puddu plate<sup>8,19)</sup>를, 폐쇄형 절골술 시 miniplate staple<sup>20)</sup>을 사용하였다. 개방형 절골술 시 전례에서 동종골 이식을 시행하였다. 환자의 평균 연령은 개방형 절골술에서  $56.7 \pm 7.5$ 세, 폐쇄형 절골술에서  $60.3 \pm 7.1$ 세이었다. 성비는 개방형 절골술에서 여자 30예, 남자 2예였으며, 폐쇄형 절골술에서 여자 47예, 남자 4예이었다. 환자의 평균 body mass index는 개방형 절골술에서  $25.4 \pm 2.8$ , 폐쇄형 절골술에서  $24.9 \pm 2.6$ 이었다( $p=0.481$ ).

### 2. 수술 방법과 네비게이션 장치 상 계측

경골 간부와 대퇴골 원위부에 dynamic reference base를 부착 시킨 후 해부학적 표식자를 등록하였다. 경

피적 등록 시 슬관절 주위 해부학 구조를 충분히 고려하여 등록 전 미리 해부학적 경계표(landmark)를 표시 해 둔 상태에서 정확히 등록하고자 노력하였다. 관절면 1-1.5 cm 아래에 표시해 두었던 지침핀 삽입 위치에서 절골면의 시작점과 종결점을 등록하였다. 방사선 사진 상 경골 후방 경사각 계측치를 입력하였고, 교정각은 역학적 축의 경골 고평부 통과점이 내측으로부터 62%가 되도록 계획하였다.

네비게이션 장치에 의한 변형 평가, 절골면 위치, 역학적 축, 뼈기 크기에 대한 정보를 확인하였고, 절골 후 뼈기의 개방 또는 폐쇄가 용이하게끔 회전 중심(center of rotation)을 보정하였다.

개방형 또는 폐쇄형 절골술 후 네비게이션 장치를 이용하여 교정각을 실시간 확인하며 목표한 교정각으로 Puddu plate 또는 Miniplate staple을 고정하였다. 절골 전 역학적 축과 절골면 고정 후 역학적 축 또는 역학적 축 백분율을 조사하였다.

### 3. 방사선 사진 상 계측

방사선 사진 상 수술 전, 후 하지의 역학적 축, 역학적 축 백분율과 경골 후방 경사각을 계측하였다. 수술 전과 수술 10-14일 째 전체중 부하 하지 전장 사진(Orthoreontgenogram)<sup>21)</sup>과 경골 측면 사진을 촬영하였다. 하지의 역학적 축은 전체 중 부하 하지 전장 사진 상 대퇴골 역학적 축과 경골 역학적 축 사이의 각으로 정의하였고, 역학적 축 백분율은 전체 중 부하 하지 전장 사진 상 하지의 역학적 축이 경골 고평부를 통과하는 점의 고평부 내측으로부터의 길이 백분율(%)로 정의하였다(Fig. 1). 경골 후방 경사각은 경골 측면 사진 상 경골 내측 고평부 관절면과 경골의 해부학적 축 사이의 각을 Oswald법<sup>22)</sup>으로 계측하였다.

방사선 사진 상 수술 전, 후 역학적 축의 차이를 교정각이라 정의하였고, 수술 전, 후 경골 후방 경사각의 차이를 후방 경사 변화각이라 정의하였다. 방사선학적 계측은 네비게이션 장치를 이용한 계측치를 모르는 두 명의 관측자가 영상 저장 전송 시스템(picture acquiring communication system, PACS)을 이용하여 각각 계측하였고, 두 관측자간 계측치의 상관 관계를 확인하였다( $r>0.8$ ,  $p=0.000$ ).

#### 4. 네비게이션 장치 상 계측치와 방사선학적 계측치의 비교

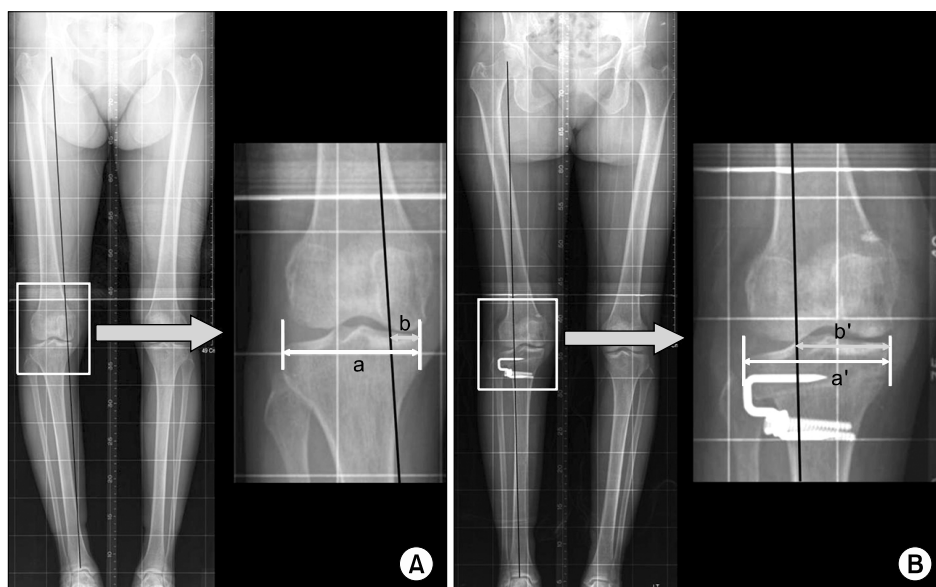
네비게이션 장치에서 절골 전 하지의 역학적 축과 절골면 고정 후 역학적 축과 역학적 축 백분율 계측치를 두 관측자에 의한 방사선학적 계측 평균치와 비교하였다(Pearson's correlation analysis).

#### 5. 개방형과 폐쇄형 절골술에 따른 비교

개방형과 폐쇄형 절골술에 따른 술 후 역학적 축의 방사선 사진 상 계측치와 절골면 고정 후 역학적 축의 네비게

이션 장치상 계측치의 차이를 비교하였다(Student t test). 술 후 역학적 축의 방사선 사진 상 계측치가 절골면 고정 후 역학적 축의 네비게이션 장치 상 계측치보다  $2^\circ$  이상 작은 경우 I군, 차이가  $2^\circ$  미만인 경우 II군, 방사선 상 계측치가 네비게이션 장치 상 계측치보다  $2^\circ$  이상 큰 경우 III군으로 분류하였고, 개방형 또는 폐쇄형 절골술에 따른 분포를 비교하였다(Chi-square test).

개방형과 폐쇄형 절골술에 따른 수술 전, 후 후방 경사각과 후방 경사 변화각을 비교하였다.



**Fig. 1.** (A) The mechanical axis % (MA%) shown on the preoperative ortho-roentgenogram is evaluated by percentile denotation  $[(b/a) \times 100]$ . "a" is the width of tibia plateau and "b" is the distance from the medial border of the medial tibial condyle to the point at which the mechanical axis intersects the knee joint line. It shows medial deviation of the mechanical axis. (B) The mechanical axis % (MA%) shown on the postoperative ortho-roentgenogram is evaluated by percentile denotation  $[(b'/a') \times 100]$ . "a'" is the width of tibia plateau and "b'" is the distance from the medial border of the medial tibial condyle to the point at which the mechanical axis intersects the knee joint line. It shows lateral deviation of the mechanical axis.

**Table 1.** Radiological Measurements and Measurements using Navigation System

			Navigation	X-ray	r	p
Open wedge HTO	Preoperative	MA* ( $^\circ$ )	$-8.8 \pm 2.6^\dagger$	$-9.5 \pm 3.4^\dagger$	0.679	0.000
	Postoperative	MA* ( $^\circ$ )	$2.7 \pm 2.2$	$4.0 \pm 2.8$	0.634	0.000
		MA% <sup>†</sup> (%)	$57.7 \pm 8.9$	$64.7 \pm 11.2$	0.543	0.001
Closed wedge HTO	Preoperative	MA* ( $^\circ$ )	$-8.3 \pm 2.6^\dagger$	$-7.6 \pm 2.8^\dagger$	0.608	0.000
	Postoperative	MA* ( $^\circ$ )	$3.5 \pm 1.4$	$1.6 \pm 2.7$	0.334	0.017
		MA% <sup>†</sup> (%)	$62.0 \pm 5.9$	$56.7 \pm 11.8$	0.395	0.004

\*MA, angle between the femoral and tibial mechanical axis; <sup>†</sup>MA%, percentile denotation  $[(b/a) \times 100]$  of the point at which the mechanical axis of the low extremity intersects the line extending from the medial border to the lateral border of the tibial plateau on orthoroentgenogram; <sup>‡</sup>-, negative values mean varus angles.

## 결 과

개방형 절골술 시 Puddu plate 고정 후 네비게이션 장치 상 목표 교정각 외반 3°의  $\pm 2^\circ$  이내의 오차를 보인

경우가 87.5% (28예/32예),  $\pm 3^\circ$  이내의 오차를 보인 경우는 100%였다. 폐쇄형 절골술 시 miniplate staple 고정 후 네비게이션 장치 상 목표 교정각 외반 3°의  $\pm 2^\circ$  이



**Fig. 2.** Change of mechanical axis after the open wedge high tibial osteotomy using navigation system. (A) A 64-year-old woman have the open wedge high tibial osteotomy under navigation control. In the preoperative roentgenogram, the mechanical axis (MA) is varus  $9.4^\circ$  and the mechanical axis % (MA%) is 9.2%. The posterior slope angle of tibia is  $8.0^\circ$ . In the navigation system, the MA is varus  $7.4^\circ$  and the MA% is 22%. (B) In the navigation system, the post-osteotomy MA is valgus  $3.5^\circ$  and the MA% is 57.7%. In the postoperative 2 week roentgenogram, the MA is valgus  $5.2^\circ$  and the MA% is 72.9%. The posterior slope angle of tibia is  $12.1^\circ$ . The postoperative MA and MA% in roentgenogram is larger than the postosteotomy MA and MA% in navigation system. (C) In the postoperative 4 month roentgenogram, the MA is varus  $1.2^\circ$  and the MA% is 37.4%. There are two proximal screws breakage of Puddu plate and loss of correction angle.

내의 오차를 보인 경우가 90.2% (46예/51예)이었고,  $\pm 3^\circ$ 이내의 오차를 보인 경우는 100%였다.

개방형 절골술 시 네비게이션 장치에서 절골 전 하지의 역학적 축은 내반  $8.8 \pm 2.6^\circ$ 였고, Puddu plate 고정 후 하지의 역학적 축은 외반  $2.7 \pm 2.2^\circ$ , 역학적 축 백분율은  $57.7 \pm 8.9\%$ 이었다. 방사선 사진 상 역학적 축과 역학적 축 백분율은 술 전 평균 내반  $9.5 \pm 3.4^\circ$ ,  $10.2 \pm 13.6\%$ 였으며, 술 후 평균 외반  $4.0 \pm 2.8^\circ$ ,  $64.7 \pm 11.2\%$ 였다. 네비게이션 장치와 방사선 사진에서 계측한 술 전 하지의 역학적 축, 술 후 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다 ( $r > 0.5$ ,  $p < 0.001$ ) (Table 1). 폐쇄형 절골술 시 네비게이션 장치에서 절골 전 하지의 역학적 축은 내반  $8.3 \pm 2.6^\circ$ 였고, Miniplate staple 고정 후 하지의 역학적 축은 외반  $3.5 \pm 1.4^\circ$ , 역학적 축 백분율은  $62.0 \pm 5.9\%$ 이었다. 방사선 사진 상 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 술 전 평균 내반  $7.6 \pm 2.8^\circ$ ,  $16.0 \pm 11.5\%$ 였으며, 술 후 평균 외반  $1.6 \pm 2.7^\circ$ ,  $56.7 \pm 11.8\%$ 였다. 네비게이션 장치와 방사선 사진에서 계측한 술 전 하지의 역학적 축, 술 후 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다 ( $r > 0.3$ ,  $p < 0.02$ ) (Table 1).

개방형 절골술에서 방사선 사진 상 술 후 역학적 축 계측치와 네비게이션 장치상 절골면 고정 후 역학적 축 계측치의 차이는  $1.3 \pm 2.0^\circ$ 로 방사선 사진 상 크게 계측되는 경향이 있었다 (Fig. 2). 폐쇄형 절골술에서 술 후 역학적 축의 방사선 사진 상 계측치와 절골면 고정 후 역학적 축의 네비게이션 장치상 계측치의 차이는  $1.9 \pm 2.6^\circ$ 로 방사선 사진 상 작게 계측되는 경향이 있었다 ( $p = 0.000$ ). 방사선 사진 상 술 후 역학적 축 계측치를 네비게이션 장치상 절골면 고정 후 역학적 축 계측치와 비교했을 때 개방형 절골술은 34.4% (11예/32예)가 과대 계측되었고, 폐쇄형 절골술은 41.2% (21예/51예)가 과소 계측되었다 ( $p = 0.000$ ) (Table 2).

개방형 절골술에서 경골의 후방 경사각은 술 전 평균  $11.0 \pm 4.7^\circ$ 였고, 술 후 평균  $16.3 \pm 4.5^\circ$ 로 증가하였다. 폐쇄형 절골술에서 경골의 후방 경사각은 술 전 평균  $11.0 \pm 2.7^\circ$ 였고, 술 후 평균  $9.1 \pm 2.8^\circ$ 로 감소하였다. 경골의 후방 경사각은 개방형 절골술 후 평균  $5.3 \pm 3.3^\circ$  증가하였고, 폐쇄형 절골술 후  $1.8 \pm 1.9^\circ$  감소하였다

**Table 2.** Difference between the Post-osteotomy Mechanical Axis in Navigation System and Postoperative Mechanical Axis in Radiograph (Number of Cases)

Group	Open wedge HTO	Closed wedge HTO
I*	2	21
II†	19	27
III‡	11	3
Total	32	51

\*Group I, Group of cases in which the postoperative mechanical axis on radiograph is  $2^\circ$  smaller than the post-osteotomy mechanical axis on navigation; †Group II, Group of cases in which the difference between the postoperative mechanical axis on radiograph and post-osteotomy mechanical axis on navigation is within  $2^\circ$ ; ‡Group III, Group of cases in which the postoperative mechanical axis on radiograph is  $2^\circ$  more than the post-osteotomy mechanical axis on navigation.

( $p = 0.000$ ).

합병증으로 개방형 절골술에서 Puddu plate의 고정 나사못의 절단 4예와 이로 인한 교정각의 소실이 3예있었고 (Fig. 2), 폐쇄형 절골술에서 교정각의 소실 1예있었다.

## 고 찰

고식적 방법의 경골 근위부 절골술의 정확도는 만족스럽지 못하며,<sup>2,6,14</sup> Saragaglia와 Roberts<sup>23)</sup>는 목표한 교정각의  $\pm 2^\circ$ 이내의 하지 정렬을 보인 예가 고식적 방법의 경우 71%, 네비게이션 장치를 이용한 경우 96%였다고 보고하였다. 저자들의 경우 네비게이션 장치 상 술 후 하지의 역학적 축 백분율이 62%가 되도록 계획하였으며, Puddu plate 또는 miniplate staple 고정 후 네비게이션 장치 상 목표 교정각  $3^\circ$ 의  $\pm 2^\circ$ 이내의 오차를 보인 경우가 개방형 절골술에서 87.5%, 폐쇄형 절골술에서 90.2%이었다. 저자들은 방사선 계측을 두 관측자에 의해 독립적으로 시행하여 두 관측자의 계측치 간에 강한 상관관계를 입증하였고 ( $r > 0.8$ ,  $p = 0.000$ ), 네비게이션 장치와 방사선 사진에서 계측한 술 전 하지의 역학적 축, 술 후 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 개방형 또는 폐쇄형 절골술에서 모두 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다 ( $r > 0.543$ ,  $p < 0.001$ ) ( $r > 0.334$ ,  $p < 0.017$ ). 경골 근위부 절골술에서 경첩축(hinge axis) 위치와 뼈기 크기 결정은 뼈기 개방(wedge opening) 또는 뼈기 폐쇄(wedge closing)를 위한 중요한 과정이다. 경첩축이 과도하

게 골수강 측일 경우 무리한 썬기 개방이나 폐쇄 시 경골 고평부 골절이 발생할 수 있다. 과도하게 피질골 측일 경우 피질골의 손상으로 내고정물을 사용한 고정력이 부족하거나, 교정각의 소실이 발생할 수 있다.<sup>1,8,24)</sup> 썬기의 3차원적 위치를 잘 못 선정하면 절골술 후 후방 경사각의 변화나 경골 회전 변형을 초래할 수 있으므로 주의가 필요하다.<sup>3,12)</sup> 네비게이션 장치를 이용한 경골 근위부 절골술은 썬기의 크기와 경첩축을 조절하고, 썬기의 3차원적 위치를 예측하여 보다 정확한 절골술을 시행할 수 있는 장점이 있다.<sup>13,25)</sup> 저자들의 경우 썬기 개방 또는 폐쇄를 위한 회전 중심(center of rotation)을 네비게이션 장치를 이용하여 조정하여 쉽고 안전하게 썬기 개방 또는 폐쇄를 하였으며, 고평부 골절이나, 피질골 손상이 발생한 예는 없었다.

개방형 절골술에서 술 후 방사선 사진에서 측정한 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 네비게이션 장치 측정치보다 평균  $1.3 \pm 2.0^\circ$ ,  $7.0 \pm 9.9\%$  크게 측정되었다. 그러나, 폐쇄형 절골술에서 술 후 방사선 사진에서 측정한 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 네비게이션 장치 측정치보다 평균  $1.9 \pm 2.6^\circ$ ,  $4.6 \pm 10.2\%$  작게 측정되었다. Kendoff 등<sup>25)</sup>은 개방형 경골 근위부 절골술의 사체 연구를 통해 절골면 고정 후 네비게이션 장치 상 역학적 축을 외력을 가하기 전과 전체중부하 외력을 가한 후 비교하여 전체중부하 외력을 가할 시  $1.6-2.9^\circ$  정도 측정치 증가를 관찰하였고, 가해진 외력과 교정각이 크고, 내측측부인대 유리가 광범위할수록 더 크게 증가한다고 보고하였다. 이는 개방형 절골술 시 경첩축이 경골 외측 피질골에 위치하고 보존된 비골은 경첩축의 밖에 위치하여 썬기 개방시 외측측부인대는 기능적으로 이완되므로, 외력이 가해지지 않는 양와위에서는 외측 구획(lateral joint compartment)이 벌어지고, 전체중부하시 외측 구획이 좁아지게 되어 체중부하시 교정각이 증가한다고 설명하였다. Kendoff 등<sup>25)</sup>은 폐쇄형 경골 근위부 절골술 시엔 그 반대의 상황을 추론하였고, Shaw 등<sup>24)</sup>은 사체 연구를 통해 폐쇄형 경골 근위부 절골술 후 5 pound의 외반 외력을 가할 시 교정각의 감소를 보고하였고, 수술 중 네비게이션 장치상 체중부하 모의실험(weight bearing simulation)이 필요하다고 주장하였다. 경골 근위부 절골술 후 교정각은 체중 부하, 인대의 이완과 내고정물의 위치에 영향을 받을 수 있을 것으로 사료되

며, 폐쇄형 또는 개방형 절골술에 따른 체중부하 시 역학적 축의 변화 가능성을 이해해야 한다. 저자들은 네비게이션 장치에 절골 전 최초 하지 정렬의 등록을 위하여 내반 된 하지를 입력할 때, 하지 정렬을 유지하는(holding) 방법에 따라 역학적 축 측정치가 영향을 받음을 관찰하였다. 개방형 절골술에서 최초 하지 정렬이 실제보다 내반되어 등록된다면 술 후 역학적 축은 과교정되고, 폐쇄형 절골술에서 최초 하지 정렬이 실제보다 외반되어 등록된다면 술 후 역학적 축은 부족하게 교정된다. 술 후 역학적 축의 방사선 사진 상 측정치가 절골면 고정 후 역학적 축의 네비게이션 장치상 측정치에 비해 개방형 절골술에서 크고, 폐쇄형 절골술에서 작게 측정되는 경향을 고려하여, 절골 전 최초 하지 정렬의 등록 시 개방형 절골술에서는 실제 변형보다 내반 되지 않도록 하지의 정렬을 중립 위치에서 유지하고, 폐쇄형 절골술에서는 체중부하 외력을 주어<sup>24)</sup> 외반되어 등록되지 않도록 주의하여야 한다.

경골 근위부 절골술 전, 후 경골 후방 경사각의 변화에 대한 보고가 많으며 일반적으로 개방형 절골술에서 증가하고,<sup>6,19,26)</sup> 동형과 폐쇄형 절골술에서 감소하는 경향이 있다.<sup>3,20)</sup> Giffin 등<sup>2)</sup>은 개방형 절골술 후 평균  $4^\circ$ 의 경골 후방 경사각의 증가를 보고하였고, Hohmann 등<sup>3)</sup>은 폐쇄형 절골술 후 경골 후방 경사각의 평균  $4.9^\circ$  감소를 보고하였다. 개방형 절골술 시 후방 경사각의 증가를 피하기 위해 신연기나 고정 금속판을 후방에 위치시키는 방법, 충분한 후방 연부 조직 박리를 시행하는 방법과 후방 썬기의 비정방형 추가 확장(asymmetrical opening) 등이 소개되어 있다.<sup>14,27)</sup> 저자들의 경우 개방형 절골술 후 후방 경사각의 증가는 평균  $5.3^\circ$ 였으며, 그 원인으로써 교정각의 크기가 컸고, 직사각형 형태의 블록을 가진 Puddu plate를 사용하여 Noyes 등이 추천한 것처럼<sup>27)</sup> 전, 후방 개방 간격을 차이있게 할 수 없었다. 그리고, 충분한 고정력을 얻기 위해 연구 초기에 금속 나사못 삽입 위치를 경골 근위부 내측면의 전방으로 하였던 것 등이 원인이었을 것으로 생각하였다. 전향적인 연구 도중 개방형 경골 근위부 절골술 후 경골 후방 경사각 증가 경향을 관찰하였으며 이를 고려하여 고정 금속판을 후방에 위치시켰고, 완전한 후방 피질골의 절골과 충분한 후방 연부 조직 박리술을 시행하여 후방 경사 변화각을 감소시켰다. 저자들의 경우 폐쇄형 절골술 후 후방 경사각은 평균  $1.8^\circ$ 의 감소를 보였으며, 개방형 절골술에 비해 변화

정도는 크지 않았다. 수술 전, 후 후방 경사각의 유지를 위하여 근위부 및 원위부 절골면의 입력 시 관절면에 평행이 되도록 하고, 두 절골면이 평행하도록 절제하는 것이 중요하며, 네비게이션 장치를 이용한 4 pin technique으로 폐쇄형 절골술을 평행하게 할 수 있었다.

## 결론

네비게이션 장치를 이용한 개방형과 폐쇄형 경골 근위부 절골술은 수술 중 교정각을 확인함으로써 정확성을 기할 수 있다. 술 후 역학적 축의 네비게이션 계측치와 방사선학적 계측치의 차이는 체중 부하라는 외력에 의해 영향을 받게 되며, 네비게이션을 이용한 개방형 및 폐쇄형 절골술 시 이를 고려해야 한다.

## 참고문헌

1. Coventry MB, Ilstrup DM, Wallrichs SL. Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75:196-201.
2. Giffin JR, Vogrin TM, Zantop T, Woo SL, Harner CD. Effects of increasing tibial slope on the biomechanics of the knee. *Am J Sports Med.* 2004;32:376-82.
3. Hohmann E, Bryant A, Imhoff AB. The effect of closed wedge high tibial osteotomy on tibial slope: a radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14:454-9.
4. Kazakos KJ, Chatzipapas C, Verettas D, Galanis V, Xarchas KC, Psillakis I. Mid-term results of total knee arthroplasty after high tibial osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128:167-73.
5. Lee JY, Seon JK, Song EK, Yoon TR, Cheon SY, Lim KY. Comparison of high tibial osteotomy: Opening versus closing wedge osteotomy. *J Korean Orthop Assoc.* 2004;39:790-6.
6. Nakamura E, Mizuta H, Kudo S, Takagi K, Sakamoto K. Open-wedge osteotomy of the proximal tibia hemicallotasis. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83:1111-5.
7. Naudie DD, Amendola A, Fowler PJ. Opening wedge high tibial osteotomy for symptomatic hyperextension-varus thrust. *Am J Sports Med.* 2004;32:60-70.
8. Brouwer RW, Bierma-Zeinstra SM, van Raaij TM, Verhaar JA. Osteotomy for medial compartment arthritis of the knee using a closing wedge or an opening wedge controlled by a Puddu plate. A one-year randomised controlled study. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88:1454-9.
9. Dahl MT. Preoperative planning in deformity correction and limb lengthening surgery. *Instr Course Lect.* 2000;49:503-9.
10. Ellis RE, Tso CY, Rudan JF, Harrison MM. A surgical planning and guidance system for high tibial osteotomy. *Comput Aided Surg.* 1999;4:264-74.
11. Hanssen AD. Osteotomy about the knee. In: Insall JN, Scott WN, ed. *Surgery of the knee.* 3rd ed. New York: Churchill Livingstone; 2001. 1447-64.
12. Kawakami H, Sugano N, Yonenobuk, et al. Effects of rotation on measurement of lower limb alignment for knee osteotomy. *J Orthop Res.* 2004;22:1248-53.
13. Keppler P, Gebhard F, Grützner PA, et al. Computer aided high tibial open wedge osteotomy. *Injury.* 2004;35 Suppl 1:68-78.
14. Marti CB, Gautier E, Wachtl SW, Jakob RP. Accuracy of frontal and sagittal plane correction in open-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy.* 2004;20:366-72.
15. Moreland JR, Bassett LW, Hanker GJ. Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69:745-9.
16. Hankemeier S, Hufner T, Wang G, et al. Navigated open-wedge high tibial osteotomy: advantages and disadvantages compared to the conventional technique in a cadaver study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14:917-21.
17. Wang G, Zheng G, Keppler P, et al. Implementation, accuracy evaluation, and preliminary clinical trial of a CT-free navigation system for high tibial opening wedge osteotomy. *Comput Aided Surg.* 2005;10:73-85.
18. Balthis H, Perlick L, Tingart M, Lüring C, Perlick C, Grifka J. Flexion gap configuration in total knee arthroplasty following high tibial osteotomy. *Int Orthop.* 2004;28:366-9.
19. Puddu G, Franco V. Femoral antivalgus opening wedge osteotomy. *Oper Tech Sport Med.* 2000;8:56-60.
20. Bae DK, Mun MS, Kwon OS. A newly designed miniplate staple for high tibial osteotomy. *Bull Hosp Jt Dis.* 1997;56:167-70.
21. Wright JG, Treble N, Feinstein AR. Measurement of lower

- limb alignment using long radiographs. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73:721-3.
22. Oswald MH, Jakob RP, Schneider E, Hoogewoud HM. Radiological analysis of normal axial alignment of femur and tibia in view of total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1993;8:419-26.
  23. Saragaglia D, Roberts J. Navigated osteotomies around the knee in 170 patients with osteoarthritis secondary to genu varum. *Orthopedics.* 2005;28 Suppl:1269-74.
  24. Shaw JA, Dungy DS, Arshat SS. Recurrent varus angulation after high tibial osteotomy: an anatomic analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;420:205-12.
  25. Kendoff D, Citak M, Pearle A, et al. Influence of lower limb rotation in navigated alignment analysis: implications for high tibial osteotomies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:1003-8.
  26. Rodner CM, Adams DJ, Diaz-Doran V, et al. Medial opening wedge tibial osteotomy and the sagittal plane: the effect of increasing tibial slope on tibiofemoral contact pressure. *Am J Sports Med.* 2006;34:1431-41.
  27. Noyes FR, Goebel SX, West J. Opening wedge tibial osteotomy: the 3-triangle method to correct axial alignment and tibial slope. *Am J Sports Med.* 2005;33:378-87.

#### = 국문초록 =

**목 적:** 네비게이션 장치를 이용한 경골 근위부 절골술에서 개방형과 폐쇄형에 따른 네비게이션 장치와 방사선 사진 상 계측치의 차이를 비교하고자 한다.

**대상 및 방법:** 네비게이션 장치를 이용하여 개방형 절골술을 시행한 32예와 폐쇄형 절골술을 시행한 51예를 대상으로 하였다. 교정각은 역학적 축 백분율이 62%가 되도록 계획하였다. 절골 전, 후 역학적 축을 계측하고, 방사선 사진 상 계측치와 비교하였다. 개방형과 폐쇄형 절골술에 따른 술 후 역학적 축의 방사선 사진 상 계측치와 네비게이션 장치상 계측치의 차이와 술 후 후방 경사각의 변화를 비교하였다.

**결 과:** 개방형 절골술에서의 술 후 평균 역학적 축은 네비게이션 장치 상 외반 2.7°, 방사선 사진 상 외반 4.0°이었고, 폐쇄형 절골술에서의 술 후 평균 역학적 축은 네비게이션 장치 상 외반 3.5°, 방사선 사진 상 1.6°이었다 ( $p=0.000$ ). 술 후 후방경사각의 변화는 개방형 절골술에서 5.3°증가하였고, 폐쇄형 절골술에서 1.8° 감소하였다 ( $p=0.000$ ).

**결 론:** 네비게이션 장치를 이용한 절골술은 수술 중 교정각을 확인함으로써 정확성을 기할 수 있다. 술 후 역학적 축의 네비게이션 계측치와 방사선학적 계측치의 차이는 체중 부하라는 외력에 의해 영향을 받게 되므로 이를 고려해야 한다.

**색인 단어:** 슬관절, 퇴행성 관절염, 개방형과 폐쇄형 경골 근위부 절골술, 네비게이션 장치