

CAS를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술에서 네비게이션 장치상 계측치와 방사선학적 계측치의 비교

배대경 · 윤경호 · 송상준 · 신명철 · 노정호

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

Navigation versus Radiographic Measurements in the Open-Wedge High Tibial Osteotomy using Computer Assisted Surgery (CAS)

Dae Kyung Bae, M.D., Kyung Ho Yoon, M.D., Sang Jun Song, M.D.,
Myeung Cheol Shin, M.D., and Jung Ho Noh, M.D.

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

Purpose: To compare the measurements using a navigation system and radiographic measurement in an open wedge high tibial osteotomy under navigation control.

Materials and Methods: From July, 2005 to January, 2007, 32 open wedge high tibial osteotomies were performed using a navigation system for osteoarthritis of the knee. The postoperative mechanical axis % (MA%), which is planned on the navigation system, were 62%. The mechanical axis (MA) and MA% were measured on the navigation system. The preoperative and postoperative MA and MA% were measured on the radiographs. The angles measured with the navigation system and radiographs were compared.

Results: On the navigation system, the mean MA before osteotomy was varus 8.8°. The mean MA and MA% after fixation were valgus 2.9° and 57.7%. On the radiographs, the mean MA was varus 9.7° preoperatively and valgus 4.0° postoperatively. The mean MA% was 10.2% preoperatively and valgus 64.4% postoperatively. There were positive correlations between the values measured with the navigation system and the radiographs ($r > 0.5$, $p < 0.001$).

Conclusion: There were significant correlations between the values measured with the navigation system and radiographs in an open wedge high tibial osteotomy using a navigation system. The correction angle from the navigation system is reliable, predictable and controllable during surgery.

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

서 론

퇴행성 관절염에서 개방형 경골 근위부 절골술^{6,16,30,33)}은 고정기구의 발달^{1,2,21,29)}로 최근 많이 시행되고 있다. 성공적인 경골 근위부 절골술을 위해서는 적절한 환자의 선택, 정확한 교정각을 위한 술 전 계획과 수술 술기, 재활 치료의 중요성이 강조된다^{3,4)}. 교정각의 크기를 정하는 고식적인 방법으로 술 전 방사선 사진상 교정각과 썸기(wedge)의 크기를 계측하는 방법, 절골 지침자(jig

system)를 사용하는 방법, 수술 중 고관절 중심과 족근관절 중심을 잇는 cable 선을 이용하는 방법 등이 있지만, 방사선 사진상 하지의 회전에 의한 교정각 측정의 부정확성, 방사선 사진 계측 시 영상 시차(image parallax), 절골면의 위치, 경골 직경의 차이 등으로 고식적 방법의 한계에 대해 보고되고 있다^{7,9,19,22,32)}. 최근 수술의 정확성, 정밀성, 재현성을 높이기 위해 네비게이션 장치를 이용하고 있으며, 네비게이션 장치를 이용한 경골

통신저자 : 배 대 경
서울시 동대문구 회기동 1
경희대학교 의과대학 정형외과학교실
TEL: 02-958-8366 · FAX: 02-964-3865
E-mail: bdkyung@khmc.or.kr

Address reprint requests to
Dae Kyung Bae, M.D.
Department of Orthopedic Surgery, School of Medicine, Kyung Hee University,
1, Hoegi-dong, Dongdaemun-ku, Seoul 130-701, Korea
Tel: +82-2-958-8366, Fax: +82-2-964-3865
E-mail: bdkyung@khmc.or.kr

근위부 절골술의 실험적 보고는 있으나^{12,15)}, 임상에 적용한 보고는 드물다^{15,31)}. 본 연구의 목적은 내반 변형을 동반한 내측구획의 퇴행성 슬관절염 환자에서 네비게이션 장치를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술의 방사선학적 결과를 분석하고, 수술 전후 네비게이션 장치와 방사선 사진상 계측치를 비교 분석하여 수술시 네비게이션 장치에서의 계측치를 교정각으로 이용할 수 있는지를 검토하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2005년 7월부터 2007년 1월까지 CT-free navigation system (Vector Vision[®] version 1.0, BrainLAB, Heimstetten, Germany)을 이용하여 내반 변형을 동반한 내측 구획의 퇴행성 슬관절염에서 개방형 경골 근위부 절골술을 시행한 32명의 환자를 대상으로 전향적으로 분석하였다. 환자의 평균 연령은 56.7세(38-73세)였고, 여자가 30예, 남자가 2예였으며, 환자의 body mass index는 평균 25.4 (20.4-31.2)였다.

2. 연구 방법

방사선 사진 상 수술 전, 후 하지의 역학적 축, 역학적 축 백분율, 대퇴 경골각과 경골 후방 경사각을 측정하였다. 수술 10-14일 째 양하지 전장 촬영과 경골 측면 사진을 촬영하였다. 전체중 부하 양하지 전장 방사선 사진(Orthoreontgenogram)은 환자가 슬관절을 최대한 신전하고, 체중 부하를 하지에 균등하게 한 기립 상태에서 방사선 투과선이 슬관절면에 수직이 되도록 촬영하였다. 고관절부터 족근 관절까지 하지 전장이 포함되도록 하였으며, 하지의 회전으로 인한 오차를 막기 위해 환자의 슬개골 중심이 슬관절의 정중앙에 위치하도록 촬영하였다. 경골 측면 사진은 슬관절부터 족근 관절까지 경골 전장이 포함되도록 하였으며, 방사선 투과선이 슬관절면에 수직이 되도록 촬영하였다. 방사선학적 계측은 네비게이션 장치를 이용한 계측치를 모르는 두 명의 관측자가 PACS (picture acquiring communication system)를 이용하여 독립적으로 계측하였다. 하지의 역학적 축은 전체중 부하 하지 전장 사진상 대퇴골 역학적 축과 경골 역학적 축 사이의 각으로 정의하였고, 역학적 축 백분율은 전체중 부하 하지 전장 사진 상 하지의 역학적 축이 경골 고평

부를 통과하는 점의 고평부 내측으로 부터의 길이 백분율(%)로 정의하였다(Fig. 1). 대퇴 경골각은 전체중 부하 전후면 방사선 사진상 대퇴골과 경골의 해부학적 축 사이의 각을 Bauer법⁵⁾으로 계측하였고, 경골 후방 경사각은 측면 사진상 관절면과 경골 골수강 축 사이의 각을 Oswald법²⁵⁾으로 계측하였다. 수술 전, 후 역학적 축의 차이를 교정각이라 정의하였고, 수술 전, 후 경골 후방 경사각의 차이를 후방 경사 변화각이라 정의하였다. 두 관측자간 방사선학적 계측치를 비교하였다(Pearson's correlation analysis). 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). 32예 중 연구 초기에 시행한 16예를 A군, 후기에 시행한 16예를 B군으로 분류하였고, 각 군의 방사선 사진상 계측치 평균을 비교하였다(Student t-test). 교정각에 따른 후방 경사 변화각을 비교하였다(Pearson's correlation analysis). SPSS version 11.5를 이용하여 통계 처리하였으며 유의성의 판정은 p-value가 0.05 미만으로 하였다.

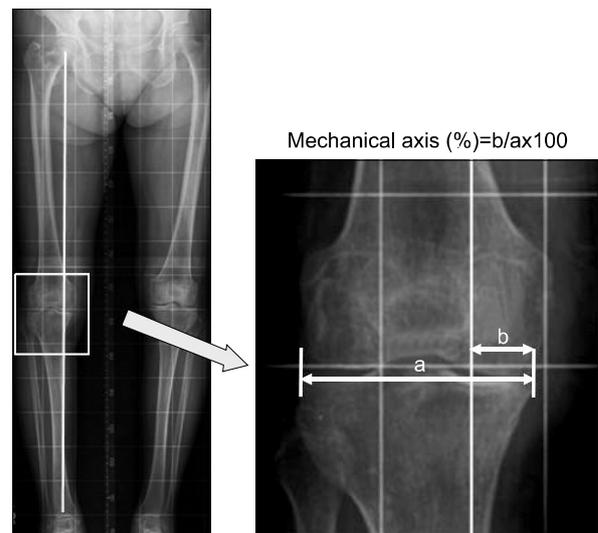


Fig. 1. The extent of varus deformity shown on the preoperative ortho-roentgenogram was evaluated by percentile denotation $[(b/a) \times 100]$. The figure shows medial deviation of the mechanical axis: (a) width of the tibia plateau and (b) distance from the medial border of the medial tibial condyle to the point at which the mechanical axis intersects the knee joint line.

3. 수술 방법

환자를 양와위로 눕힌 후 대퇴 근위부에 지혈대를 감고 변형된 슬관절 부위를 노출시켰다. 경골 절절과 경골 후면의 중간, 관절면의 1 cm 하방에서부터 종으로 5 cm 피부 절개와 피하조직을 박리하였다. 봉공근 근막과 내측부 인대의 전연을 박리하고 전방으로 슬개건을 확인하고 후방으로 신경 및 혈관을 보호하면서 피질골을 노출시켰다. 경골 간부와 대퇴골 원위부에 dynamic reference base를 부착 시킨 후 해부학적 표식자와 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, 교정각, 뼈기 크기에 대한 정보를 확인하였고, 절골 후 뼈기의 개방이 용이하게끔 회전 중심(center of rotation)을 보정하였다. 네비게이션 장치의 감시하에 시작점에서 종결점까지 drilling 한 후 지침핀을 삽입하여 drilling 위치가 정확한지 확인하였다. 이런 방법으로 2개의 지침핀을 삽입 후 지침핀의 상연을 따라 전기톱과 얇은 절골도를 사용하여 절골술을 시행하였고, 경골 외측 피질골 일부와 골막을 보존하면서 절골면을 개방시켰다. 네비게이션 장치를 이용하여 실시간 교정각을 확인하며 목표한 교정각으로 Puddu 금속판²⁶⁾을 고정하였다. 개방된 절골면의 골결손 부위에 동종 골이식술을 시행하였다. 수술 직후부터 신전근과 굴곡근의 등장성 운동을 시작하였고, 능동적 하지 거상은 수술 후 7-9일에, 부분 체중 부하 보행은 술 후 2주에, 전체중 부하 보행은 술 후 6주에

환자의 상태에 따라 시행하였다.

결 과

수술 시 네비게이션 장치에서 절골 전 하지의 역학적 축은 내반 8.8±2.6°였고, Puddu 금속판²⁶⁾ 고정 후 하지의 역학적 축은 외반 2.9±2.0°, 역학적 축 백분율은 57.7±8.9%이었다. 방사선 사진상 관측자 1이 계측한 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 술 전 평균 내반 9.7±3.3°, 10.2±13.6%였으며, 술 후 평균 외반 4.0±2.7°, 64.4±11.6% 였다. 대퇴 경골각은 술 전 평균 내반 2.4±2.9°였고, 술 후 평균 외반 10.2±3.2°였다. 경골의 후방 경사각은 술 전 평균 11.2±4.8°였고, 술 후 평균 16.5±4.5°로 증가하였다. 관측자 2가 계측한 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 술 전 평균 내반 9.8±3.5°, 8.7±14.1%였으며, 술 후 평균 외반 4.0±2.9°, 65.0±11.5%였다. 대퇴 경골각은 술 전 평균 내반 2.5±2.9°였고, 술 후 평균 외반 10.4±3.4°였다. 경골의 후방 경사각은 술 전 평균 11.1±4.1°였고, 술 후 평균 16.1±4.5°로 증가하였다. 방사선 사진상 두 관측자의 평균치로 교정각은 평균 13.5±2.6°였고, 경골의 후방 경사 변화각은 평균 5.0±3.3°였다(Table 1). 방사선 사진상 관측자 1과 2의 계측치는 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다($r>0.8$, $p=0.000$)(Table 1).

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 2). 술 후 방사선 사진에서 계측한 하지의

Table 1. Radiological Measurements between Observers 1 and 2

		Observer 1	Observer 2	Mean	r	p
Preoperative	MAA* (°)	-9.7±3.3	-9.8±3.5	-9.5±3.4	0.987	0.000
	MA% [†] (%)	10.2±13.6	8.7±14.1	9.5±13.6	0.921	0.000
	FTA [‡] (°)	-2.4±2.9	-2.5±2.9	-2.5±2.9	0.972	0.000
	PSA [§] (°)	11.2±4.8	11.1±4.1	11.3±4.1	0.883	0.000
Postoperative	MAA* (°)	4.0±2.7	4.0±2.9	4.0±2.8	0.960	0.000
	MA% [†] (%)	64.4±11.6	65.0±11.5	64.7±11.2	0.892	0.000
	FTA [‡] (°)	10.2±3.2	10.4±3.4	10.3±3.3	0.960	0.000
	PSA [§] (°)	16.5±4.5	16.1±4.5	16.3±4.5	0.972	0.000
Pre-and postoperative	Correction of MAA* (°)	13.7±2.4	13.8±2.6	13.5±2.6	0.950	0.000
	Change of PSA [§] (°)	4.9±4.3	5.0±3.5	5.0±3.4	0.857	0.000

*MAA, angle between the femoral and tibial mechanical axis; [†]MA%, percentile denotation ((b/a)×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; [‡]FTA, Femorotibial angle; [§]PSA, posterior slope angle of the tibia.

역학적 축과 역학적 축 백분율은 네비게이션 장치 계측치보다 평균 $1.1 \pm 1.9^\circ$, $7.0 \pm 9.9\%$ 크게 계측되었으며, 25예에서 크게, 7예에서 작게 계측되었다.

A군의 술 후 경골의 후방 경사각은 $17.6 \pm 4.9^\circ$ 이었고, B군의 후방 경사각은 $15.0 \pm 3.8^\circ$ 이었다($p=0.103$). A군의 수술 전, 후 경골의 후방 경사 변화각은 5.9 ± 3.6 이었고, B군의 후방 경사 변화각은 4.1 ± 3.2 이었다($p=0.147$) (Table 3). 교정각에 따른 후방 경사 변화각은 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.556$).

고 찰

고식적 방법의 개방형 경골 근위부 절골술의 정확도는 만족스럽지 못하며^{9,18,22,31}, Keppler 등¹⁵은 네비게이션 장치를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술 후 95% 신뢰 수준에서 변형 교정의 오차는 관상면상 1.7° 이내, 시상

면상 2.3° 이내였다고 보고하였다. Saragaglia와 Roberts²⁸는 목표한 교정각의 $\pm 2^\circ$ 이내의 하지 정렬을 보인 예가 고식적 방법의 경우 71%, 네비게이션 장치를 이용한 경우 96%였다고 보고하였다. 저자들의 경우 네비게이션 장치상 술 후 하지의 역학적 축 백분율이 62%가 되도록 계획하였으며, Noyes 등²⁴은 내측 구획의 골관절염에서 역학적 축 백분율이 62%가 되도록 목표할 경우 교정각은 약 3° 의 외반 교정이 된다고 보고하였다. 저자들의 경우 Puddu 금속판 교정 후 네비게이션 장치 상 목표 교정각 3° 의 $\pm 2^\circ$ 이내의 오차를 보인 경우가 91% (29예/32예)였다.

저자들은 방사선 계측을 두 관측자에 의해 독립적으로 시행하였고, 두 관측자의 계측치간에 강한 상관관계를 관찰하였으며($r > 0.8$, $p = 0.000$), 방사선학적 계측치의 신뢰도를 입증할 수 있었다. 네비게이션 장치와 방사선 사진에서 계측한 술 전 하지의 역학적 축, 술 후 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 통계적으로 유의한 상관관계를 보여 네비게이션 장치를 이용한 계측치의 정확도를 입증할 수 있었다. 저자들의 경우 술 후 방사선 사진에서 계측한 하지의 역학적 축과 역학적 축 백분율은 네비게이션 장치 계측치보다 평균 $1.1 \pm 1.9^\circ$, $7.0 \pm 9.9\%$ 크게 계측되었으며, 이는 수술 시 네비게이션 장치에서의 계측은 양와위에서 시행되고 술 후 방사선 사진은 기립위에서 촬영되므로 전 체중 부하로 인해 역학적 축이 증가하는 경향이 있는 것으로 생각하였다.

개방형 경골 근위부 절골술에서 췌기 개방(wedge

Table 2. Radiological Measurements and Measurements using the Navigation System

	X-ray	Navigation	r	p
Preoperative MAA* (°)	-9.5 ± 3.4	-8.8 ± 2.6	0.679	0.000
Postoperative MAA* (°)	4.0 ± 2.8	2.9 ± 2.0	0.734	0.000
MA%† (%)	64.7 ± 11.2	57.7 ± 8.9	0.543	0.001

*MAA, angle between the femoral and tibial mechanical axis; †MA%, percentile denotation ((b/a)×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.

Table 3. Radiological Measurements between Groups A and B

		Group A (n=16)	Group B [¶] (n=16)	p
Preoperative	MAA* (°)	-10.5 ± 3.9	-8.5 ± 2.6	0.086
	MA%† (%)	7.6 ± 14.1	11.4 ± 13.1	0.432
	FTA‡ (°)	-3.6 ± 2.8	-1.4 ± 3.8	0.024
	PSA§ (°)	11.7 ± 4.4	10.9 ± 4.1	0.576
Postoperative	MAA* (°)	3.6 ± 3.3	4.4 ± 2.1	0.410
	MA%† (%)	66.2 ± 15.1	63.2 ± 5.3	0.454
	FTA‡ (°)	10.1 ± 3.4	10.5 ± 3.3	0.752
Pre- and postoperative	PSA§ (°)	17.6 ± 4.9	15.0 ± 3.8	0.103
	Correction angle of MAA*	14.1 ± 2.7	12.9 ± 2.6	0.185
	Change of PSA§	5.9 ± 3.6	4.1 ± 3.2	0.147

*MAA, angle between the femoral and tibial mechanical axis; †MA%, percentile denotation ((b/a)×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; ‡FTA, Femorotibial angle; §PSA, posterior slope angle of the tibia; ||Group A, 16 earlier cases among the 32 consecutive cases in whom an open wedge high tibial osteotomy were performed; ¶Group B, the latter 16 cases among the 32 consecutive cases in whom the open wedge high tibial osteotomy were performed.

opening)은 경첩축(hinge axis) 위치를 정하고, 뼈기 크기를 결정하는 중요한 과정이다. 경첩축이 과도하게 내측일 경우 뼈기 개방이 어려울 수 있으며, 무리한 개방시 경골 고평부 골절이 발생할 수 있고, 과도하게 외측일 경우 외측 피질골의 손상으로 내고정물을 사용한 고정력이 부족하거나, 교정각의 소실이 발생할 수 있다³¹⁾. 뼈기의 3차원적 위치를 잘 못 선정하면 절골술 후 후방 경사각의 증가나 경골 회전 변형을 초래할 수 있으므로 주의를 요한다²⁷⁾. 그러나, 고식적 방법의 개방형 경골 근위부 절골술은 경첩축의 위치를 정확하게 조정하기 어렵고, 전후면상 수직으로 위치하지 않을 경우 전후면상 변형의 교정이 시상면상 굴곡 변형이나 횡면상 회전 변형을 일으킬 위험이 있다^{15,31)}. 네비게이션 장치를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술은 뼈기의 크기와 경첩축을 조절하고, 뼈기의 3차원적 위치를 예측하여 보다 정확한 절골술을 시행할 수 있는 장점이 있다³¹⁾. 저자들의 경우 뼈기 개방을 위한 회전 중심(center of rotation)을 네비게이션 장치를 이용하여 조정하여 쉽고 안전하게 뼈기 개방을 하였으며, 고평부 골절이나, 외측 피질골 손상이 발생한 예는 없었다.

경골 근위부 절골술 전, 후 경골 후방 경사각의 변화에 대한 보고가 많으며 일반적으로 돛형과 폐쇄형 절골술에서 감소하고, 개방형 절골술에서 증가하는 경향이 있다^{11,14,17,20,21)}. Giffin 등¹⁰⁾은 개방형 경골 근위부 절골술 후 평균 4°의 경골 후방 경사각의 증가를 보고하였고, Yoon 등³³⁾은 평균 2.8°의 증가를 보고하였다. 개방형 절골술 후 경골 후방 경사각의 증가는 체중 부하시 접촉 압력을 집중시키고 슬관절 신전을 제한하며 전방십자인대의 인장 부하 증가와 슬관절 전방 불안정성을 초래할 수 있다^{23,27)}. Dejour 등⁸⁾은 이론적으로 경골 후방 경사각이 10°초과할 때 마다 3배의 전방 전위 장력을 받는다고 하여 경골 후방 경사각이 10°가 넘는 전방십자인대 손상과 연관된 골관절염 환자에서는 폐쇄형 경골 근위부 절골술을 시행할 것을 추천하였다.

Hohmann 등¹³⁾은 경골 근위부 절골술 시 전후면상 교정각에 따른 경골의 후방 경사 변화각은 상관성이 없다($p=0.739$)고 보고하였고, 저자들의 경우도 마찬가지였으며($p=0.556$), 이는 경골 후방 경사각의 증가에 영향을 미칠 수 있는 다양한 원인이 있을 것으로 생각하였다. 개방형 절골술 시 후방 경사각의 증가를 피하기 위해 신연

거나 고정 금속판을 후방에 위치시키는 방법, 충분한 후방 연부 조직 박리를 시행하는 방법과 후방 뼈기의 비정방형 추가 확장(asymmetrical opening) 등이 소개되어 지고 있다^{18,23,27)}. Rodner 등²⁷⁾은 전방 금속판 고정의 경우 후방 금속판 고정의 경우보다 평균 6.6°의 경골 후방 경사각의 증가가 있었다고 보고하였다. Noyes 등²³⁾은 개방형 절골술에서 술 전 경골 후방 경사각을 유지하기 위해서는 후방 간격이 전방 간격의 2배가 되어야 한다고 주장하였다. 저자들의 경우 후방 경사각의 증가는 평균 5.3°였으며, 그 원인으로써 교정각의 크기가 컸고, 블록 모양이 직사각형 형태를 가진 Puddu 금속판을 사용하여 Noyes가 추천한 것처럼²³⁾ 전, 후방 개방 간격을 차이있게 할 수 없었으며, 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, 충분한 후방 연부 조직 박리를 시행하였다. 연구 초기 16예(A군)에서의 후방 경사각의 변화는 평균 5.9°였으며, 연구 후기 16예(B군)에서의 후방 경사각의 변화는 4.1°로 차이가 있었으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 개방형 경골 근위부 절골술 시 경골 후방 경사각이 증가하는 경향을 고려하여 충분한 후방 연부 조직 유리술, 완전한 후방 피질골의 절골, 고정 금속판의 후방 위치, 후방 뼈기의 비정방형 확장과 경골 후방 경사각의 네비게이션 장치를 이용한 계측을 위한 software의 개발 등 면밀한 주의가 필요하리라 생각된다.

결론

네비게이션 장치와 방사선학적 계측치는 통계적으로 유의한 상관 관계를 보여 네비게이션 장치상 계측치의 신뢰도를 입증할 수 있었다. 그러므로, 네비게이션 장치를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술은 교정각을 실시간으로 확인 하고, 술 후 교정각을 예상할 수 있어 수술 중 이를 조절할 수 있으므로 보다 정확하게 수술할 수 있었다.

참고문헌

1. Amendola A, Fowler PJ, Litchfield R, Kirkley S,

- Clatworthy M:** *Opening wedge high tibial osteotomy using a novel technique: early results and complications.* *J Knee Surg*, 17: 164-169, 2004.
2. **Asik M, Sen C, Kilic B, Goksan SB, Ciftci F, Taser OF:** *High tibial osteotomy with Puddu plate for the treatment of varus gonarthrosis.* *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14: 948-954, 2006.
 3. **Bae DK, Mun MS, Kwon OS:** *A newly designed miniplate staple for high tibial osteotomy.* *Bull Hosp Jt Dis*, 56: 167-170, 1997.
 4. **Bae DK, Yoon KH, Kwon OS, Kim YC, Shin DJ:** *Results and survivorship of high tibial osteotomy.* *J Korean Orthop Assoc*, 37: 357-363, 2002.
 5. **Bauer GC, Insall J, Koshino T:** *Tibial osteotomy in gonarthrosis (osteo-arthritis of the knee).* *J Bone Joint Surg Am*, 51: 1545-1563, 1969.
 6. **Coventry MB, Ilstrup DM, Wallrichs SL:** *Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases.* *J Bone Joint Surg Am*, 75: 196-201, 1993.
 7. **Dahl MT:** *Preoperative planning in deformity correction and limb lengthening surgery.* *Instr Course Lect*, 49: 503-509, 2000.
 8. **Dejour H, Neyret P, Boileau P, Donell ST:** *Anterior cruciate reconstruction combined with valgus tibial osteotomy.* *Clin Orthop Relat Res*, 299: 220-228, 1994.
 9. **Ellis RE, Tso CY, Rudan JF, Harrison MM:** *A surgical planning and guidance system for high tibial osteotomy.* *Comput Aided Surg*, 4: 264-274, 1999.
 10. **Giffin JR, Stabile KJ, Zantop T, Vogrin TM, Woo SL, Harner CD:** *Importance of tibial slope for stability of the posterior cruciate ligament deficient knee.* *Am J Sports Med*, 35: 1443-1449, 2007.
 11. **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*, 32: 376-382, 2004.
 12. **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*, 14: 917-921, 2006.
 13. **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*, 14: 454-459, 2006.
 14. **Kaper BP, Bourne RB, Rorabeck CH, Macdonald SJ:** *Patellar infera after high tibial osteotomy.* *J Arthroplasty*, 16: 168-173, 2001.
 15. **Keppler P, Gebhard F, Grützner PA, et al:** *Computer aided high tibial open wedge osteotomy.* *Injury*, 35(Suppl 1): S68-S78, 2004.
 16. **Kirgis A, Albrecht S:** *Palsy of the deep peroneal nerve after proximal tibial osteotomy. An anatomical study.* *J Bone Joint Surg Am*, 74: 1180-1185, 1992.
 17. **Lerat JL, Moyen B, Garin C, Mandrino A, Besse JL, Brunet-Guedj E:** *Anterior laxity and internal arthritis of the knee. Results of the reconstruction of the anterior cruciate ligament associated with tibial osteotomy.* *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 79: 365-374, 1993.
 18. **Marti CB, Gautier E, Wachtl SW, Jakob RP:** *Accuracy of frontal and sagittal plane correction in open-wedge high tibial osteotomy.* *Arthroscopy*, 20: 366-372, 2004.
 19. **Moreland JR, Bassett LW, Hanker GJ:** *Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity.* *J Bone Joint Surg Am*, 69: 745-749, 1987.
 20. **Nakamura E, Mizuta H, Kudo S, Takagi K, Sakamoto K:** *Open-wedge osteotomy of the proximal tibia hemicallotasis.* *J Bone Joint Surg Br*, 83: 1111-1115, 2001.
 21. **Naudie DD, Amendola A, Fowler PJ:** *Opening wedge high tibial osteotomy for symptomatic hyperextension-varus thrust.* *Am J Sports Med*, 32: 60-70, 2004.
 22. **Noyes FR, Barber-Westin SD, Hewett TE:** *High tibial osteotomy and ligament reconstruction for varus angulated anterior cruciate ligament-deficient knees.* *Am J Sports Med*, 28: 282-296, 2000.
 23. **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*, 33: 378-387, 2005.
 24. **Noyes FR, Mayfield W, Barber-Westin SD, Albright JC, Heckmann TP:** *Opening wedge high tibial osteotomy: an operative technique and rehabilitation program to decrease*

- complications and promote early union and function. *Am J Sports Med*, 34: 1262-1273, 2006.
25. **Oswald MH, Jakob RP, Schneider E, Hoogewoud HM:** *Osteotomies: the surgical treatment of the valgus knee. Sports Med Arthrosc*, 8: 419-426, 1993.
 26. **Puddu G, Cipolla M, Cerullo G, Franco V, Gianni E:** *Osteotomies: the surgical treatment of the valgus knee. Sports Med Arthrosc*, 15: 15-22, 2007.
 27. **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*, 34: 1431-1441, 2006.
 28. **Saragaglia D, Roberts J:** *Navigated osteotomies around the knee in 170 patients with osteoarthritis secondary to genu varum. Orthopedics*, 28(Suppl 10): S1269-S1274, 2005.
 29. **Staubli AE, De Simoni C, Babst R, Lobenhoffer P:** *TomoFix: a new LCP-concept for open wedge osteotomy of the medial proximal tibia—early results in 92 cases. Injury*, 34 (Suppl 2): S55-S62, 2003.
 30. **Torgerson WR Jr, Kettelkamp DB, Igou RA Jr, Leach RE:** *Tibial osteotomy for the treatment of degenerative arthritis of the knee. Clin Orthop Relat Res*, 101: 46-52, 1974.
 31. **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*, 10: 73-85, 2005.
 32. **Wright JG, Treble N, Feinstein AR:** *Measurement of lower limb alignment using long radiographs. J Bone Joint Surg Br*, 73: 721-723, 1991.
 33. **Yoon KH, Bae DK, Park JW, Hwang DW, Park HC, Oh H:** *The clinical and radiological results of open wedge high tibial valgus osteotomy -short term results-. J Korean Knee Soc*, 17: 193-198, 2005.

= 국문초록 =

목적: 네비게이션 장치를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술에서 네비게이션 장치와 방사선 사진 상 계측치를 비교 분석하고자 한다.

대상 및 방법: 2005년 7월부터 2007년 1월까지 퇴행성 슬관절염으로 네비게이션 장치를 이용하여 개방형 경골 근위부 절골술을 시행한 32명의 환자를 대상으로 하였다. 교정각은 역학적 축 백분율이 62%가 되도록 계획하였고, 역학적 축과 역학적 축 백분율을 계측하였다. 방사선 사진상 역학적 축과 역학적 축 백분율을 계측하였다. 네비게이션 장치와 방사선 사진상 계측치를 비교하였다.

결과: 네비게이션 장치에서 절골 전 역학적 축은 내반 8.8°였고, 절골면 고정 후 역학적 축은 외반 2.9°, 역학적 축 백분율은 57.7%이었다. 방사선 사진상 역학적 축과 역학적 축 백분율은 술 전 평균 내반 9.7°, 10.2%였으며, 술 후 평균 외반 4.0°, 64.4%였다. 네비게이션 장치와 방사선 사진 상 계측치는 상관관계가 있었다($r > 0.5$, $p < 0.001$).

결론: 네비게이션 장치를 이용한 개방형 경골 근위부 절골술 시 네비게이션 장치와 방사선 사진 상 계측치는 유의한 상관 관계가 있었다. 그러므로, 수술 중 네비게이션 장치 상 교정각을 신뢰할 수 있고, 술 후 교정각을 예상할 수 있어 수술 중 이를 조절할 수 있을 것으로 사료된다.

색인 단어: 슬관절, 퇴행성 관절염, 개방형 경골 근위부 절골술, 네비게이션 장치