

# 전자기장 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술의 8-10년 추시 결과

조재영\* · 정승현 · 홍성민 · 서정탁 · 최윤영<sup>†</sup> · 이승준<sup>✉</sup>

부산대학교 의학전문대학원 부산대학교병원 정형외과학교실, \*해운대부민병원 정형외과, <sup>†</sup>양산부산대학교병원 영상의학과

## Eight to Ten Year Follow-Up Results of Total Knee Arthroplasty Using Electromagnetic Navigation System

Jae Young Cho, M.D.\*, Seung Hyeon Jeung, M.D., Sung Min Hong, M.D.,  
Jeung Tak Suh, M.D., Ph.D., Yoon Young Choi, M.D.<sup>†</sup>, Seung Joon Rhee, M.D.<sup>✉</sup>

Department of Orthopedic Surgery, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine,

\*Department of Orthopedic Surgery, Bumin Hospital Haeundae, Busan,

<sup>†</sup>Department of Diagnostic Radiology, Pusan National University Yangsan Hospital, Yangsan, Korea

**Purpose:** The purpose of this study was to compare the clinical and radiological results between patients who underwent total knee arthroplasty using the conventional method and the navigation-assisted method.

**Materials and Methods:** A retrospective review of was performed on 32 patients (40 knees) who underwent total knee arthroplasty between February 2004 and December 2006 and were followed-up for 8 to 10 years. Mechanical axis deviation, range of motion, radiologic position of the implants, and subjective clinical scores were measured and compared between 20 navigation-assisted total knee arthroplasties and 20 conventional total knee arthroplasties. Change in the values ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , and  $\delta$  angles) from the immediate postoperative period to the last follow-up were also calculated and compared between the two groups.

**Results:** The mean range of motion in the navigation group was improved to  $121.8^\circ \pm 16.3^\circ$  ( $92^\circ$ – $140^\circ$ ) at the last follow-up, and the Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis Index (WOMAC) score was  $89.8 \pm 5.4$  and the Knee Society score (KSS) was  $91.5 \pm 7.5$ . The mean range of motion in the conventional group was  $112.6^\circ \pm 25.6^\circ$  ( $60^\circ$ – $140^\circ$ ) at the last follow-up. The WOMAC score was  $84.2 \pm 10.6$ , and the KSS was  $81.1 \pm 14.3$ . The  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , and  $\delta$  angles of the implants were not significantly changed until the last follow-up. In the comparison between the two groups, only the mean range of motion ( $p=0.018$ ) and the KSS ( $p=0.038$ ) showed statistically better results in the navigation group than the conventional group.

**Conclusion:** Navigation-assisted total knee arthroplasty showed better KSS and range of motion compared with the conventional group in a cross-sectional study with 8 to 10 years of follow-up results. However, only the KSS showed a significant difference between the two groups by the amount of changes in the clinical and radiological results.

**Key words:** total knee arthroplasty, navigation, long-term

## 서론

Received February 28, 2017 Revised September 3, 2017

Accepted September 5, 2017

<sup>✉</sup>Correspondence to: Seung Joon Rhee, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine, 179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 49241, Korea

TEL: +82-51-240-7248 FAX: +82-51-247-8395 E-mail: rheefury@naver.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6330-0532>

슬관절 전치환술은 진행된 골관절염 또는 류마티스 관절염 환자에서 통증을 감소시키고, 슬관절 기능의 향상을 기대할 수 있는 가장 효과적인 수술적 치료 중 하나이다. 최신의 삽입물과 수술술기의 발전에 힘입어 슬관절 전치환술은 대체적으로 양호한 술

후 결과 및 경과를 예측할 수 있는 수술이 되었음에도 불구하고 수술을 시행 받은 환자의 숫자가 증가하고 술 후 여명 기간이 증가함에 따라 삽입물 해리, 마모 등으로 인해 재치환술을 필요로 하게 되는 경우도 다수 발생하게 되었다.<sup>1)</sup>

슬관절 전치환술의 성공적인 임상 결과와 관련된 인자들 중에는 하지 정렬, 골절제, 연부조직 균형, 삽입물 위치와 고정 등의 수술적인 요인들이 있으며 이는 슬관절 전치환술 후 발생하는 삽입물 해리 및 마모 등과도 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>2-6)</sup> 슬관절 전치환술 시 네비게이션의 사용은 하지 정렬 회복과 삽입물의 정위치, 연부조직 균형에 있어 상당한 도움을 주는 것으로 보고되고 있으며 여러 문헌들에서 양호한 단기 및 중기 추시 결과를 보고하고 있다.<sup>7-10)</sup> 그럼에도 불구하고 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술의 장기 추시 결과에 대한 연구는 아직 부족한 상태로 저자들은 전자기장 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술과 고식적인 방법을 이용한 슬관절 전치환술의 방사선적, 임상적 결과를 비교 분석하여 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술이 장기 추시 시 더 나은 방사선적 및 임상적 결과를 보여줄 가능성이 있는지 알아보고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구대상

2004년 2월부터 2006년 12월까지 부산대학교병원에서 동일한 1인의 술자가 슬관절 전치환술을 시행한 199예의 슬관절(네비게이션군 99예, 고식적 군 100예) 중 최소 8년 추시(8년-10년 2개월, 평균 9년 6개월)가 가능하였던 32명 40예 슬관절을 대상으로 하였다. 연구 대상으로의 포함 기준은 일차성 골관절염 환자로서 인공슬관절 전치환술을 시행 받은 환자로 하였으며, 제외 기준은 15° 이상의 심한 내반변형, 외반변형, 염증성 관절염, 관절 외 변형을 동반한 골관절염 등이었다. 대상자 32명 중 남자가 2명

(2예), 여자가 30명(38예)이었으며 수술 당시의 평균연령은 64.3세(43-75세)였다. 원인 질환은 모든 예에서 퇴행성 관절염이었고 양측 슬관절을 수술 받은 경우가 8명(16예), 단측 수술만 시행 받은 경우가 24명(24예)이었다. 네비게이션군은 단일 네비게이션 시스템(Zimmer® Computer Assisted Solutions Electromagnetic Quad-Sparing™; Zimmer, Warsaw, IN, USA)을 이용하여 슬관절 전치환술을 시행한 20예, 고식적 군은 고식적 방식을 이용하여 슬관절 전치환술을 시행한 20예였다. 수술 전 두 군 간에 성별, 연령, 체질량지수, 하지변형의 정도에 있어서 유의한 차이는 보이지 않았다(Table 1).

### 2. 수술 및 재활방법

모든 수술은 동일 술자에 의하여 시행되었으며, 양 군에서 정중 피부 절개 및 슬개골 내측 도달법을 사용하였다. 대퇴 및 경골 삽입물은 모두 골시멘트를 사용하여 고정하였고 치환물 고안의 특성상 수술 과정에서 후방십자인대는 제거되었다. 슬개골 치환술은 모든 예에서 시행하지 않았고, 슬개골의 퇴행성 변화가 심하여 슬개-대퇴 관절 주행이 좋지 않을 것으로 예상되는 예에서는 골극제거, 미세천공술 등을 시행하였다. 양 군의 수술 순서에 약간의 차이가 있었으며, 네비게이션군의 경우 슬개골 내측 도달법으로 관절낭 절개를 시행한 후 원위 대퇴골과 근위 경골에 각각 네비게이션 인식자를 핀으로 장착하여 슬관절의 주요 지표들을 네비게이션 장치에 등록하는 과정을 거친 후 나머지 수술의 과정을 진행하였다. 골 절제는 양 군 모두에서 measured resection technique을 이용하였으나 고식적 군에서는 대퇴골 절제 완료 후 경골 절제를 시행한 반면, 네비게이션 군에서는 대퇴 원위부 절제 후 경골 절제를 먼저 시행하고 다시 대퇴골의 나머지 부분들에 대한 절제를 시행하였다.

술 후 처치는 수술 당일부터 대퇴사두근 강화 운동을 시작하였고, 수술 후 3일째 배액관이 제거된 후부터 수동적 관절 운동과

Table 1. Patient Demographics and Preoperative Clinical Measurements

Variable	Navigation group	Conventional group	p-value
Subject	20	20	
Gender (M:F)	0:20	2:18	0.147
Age (yr)	66.1±8.2 (43-75)	63.8±4.4 (57-70)	0.134
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.6±3.2	25.1±2.6	0.057
Mechanical axis (°)	7.0±5.8 (-6.2-18.1)	9.9±4.3 (2.5-17.9)	0.121
ROM (°)	120±9.6 (100-135)	115.8±22.0 (60-130)	0.052
WOMAC	53.4±9.1 (36-67)	54.2±12.2 (34-74)	0.935
KSS	59.9±7.8 (43-78)	60.1±13.3 (32-83)	0.758

Values are presented as number only, mean±standard deviation (range), or mean±standard deviation only. M, male; F, female; BMI, body mass index; ROM, range of motion; WOMAC, Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis Index; KSS, Knee Society score.

함께 능동적 관절 운동을 시작하였다. 수술 후 1주일째부터 체중 부하 보행을 시작하였다.

### 3. 임상적 및 방사선적 평가

임상적 평가는 술 전과 술 후 8-10년째 추시 시 Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis Index (WOMAC) 점수와 Knee Society score (KSS)를 각각 평가하여 이를 비교하였다. 관절 운동 범위의 평가는 술 전과 최종 추시 시의 완전 신전, 완전 굴곡 상태의 측방 사진에서 대퇴골과 경골의 장축에 평행한 선을 그은 후 각도를 측정하여 슬관절 굴곡 각도 및 굴곡 구축 각도를 측정하였다. 방사선적 평가는 체중부하 전후면 사진을 이용하여 기계적 축, 대퇴삽입물의 관상면상 경사도( $\alpha$ ), 경골 삽입물의 관상면상 경사도( $\beta$ )를 측정하였고, 대퇴 삽입물의 시상면상 경사도( $\gamma$ )와 경골 삽입물의 시상면상 경사도( $\delta$ )는 슬관절 측면 방사선 사진에서 측정하였다. 기계적 축의 기준을 0°로 하여, 편향 정도는 내반을(+), 외반은(-)로 정의하였다. 미국방사선학회의 인공슬관절 전치환술 방사선적 평가 기준(The Knee Society total knee arthroplasty roentgenographic evaluation and scoring system, TKA-RESS)<sup>[11]</sup>에 근거하여 골-시멘트 또는 골-인공관절 치환물 간의 접촉면 구역을 설정하여 대퇴골 치환물에서는 측면 방사선 사진상 7구역, 경골 치환물에서는 전후면 방사선 사진상 7구역, 측면 사진상 3구역으로 나누어 각 구역의 방사선 투과성 선의 폭을 0.5 mm 단위로 기입하였고, 각각의 수치를 합한 점수를 총 점수로 하여 4점 이하면 의미가 없는 것으로, 5점에서 9점 사이면 진행 여부에 대한 지속적인 추시가 필요한 것으로, 10점 이상이면 임상 증상과 관계없이 치환물 고정 실패의 가능성이 매우 큰 것으로 평가하였다. 또한 치환물의 위치 변화나 치우침이 관찰되면 방사선 투과성 선의 존재 여부와는 상관없이 고정 실패로 간주하였다. 또한 폴리에틸렌 마모 정도를 비교하기 위하여 수술 후와 최종 추시 시 슬관절 전후면 방사선상에서 대퇴 삽입물 내과의 최하단부에서 경골 삽입물까지의 수직 거리와 대퇴 삽입물 외과의 최하단부에서 경골 삽입물까지의 수직 거리를 측정하였다(Fig. 1).

### 4. 통계적 분석

각 군 내에서 수술 전과 수술 후의 관절 운동 범위, WOMAC 점수 및 KSS 등의 임상적 지표 비교, 수술 전과 최종 추시 시의 방사선적 측정치 비교에는 Wilcoxon signed rank test를 이용하여 분석하였으며, 고식적 군과 네비게이션군의 결과 비교에는 Mann-Whitney test를 이용하였다. IBM SPSS Statistics ver. 21.0 for Windows (IBM Co., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하였고, 신뢰구간은 95%로 하였다.

## 결 과

### 1. 임상적 결과

네비게이션군에서는 평균 운동 범위는 수술 전  $120.0^\circ \pm 9.6^\circ$  ( $100^\circ$ - $135^\circ$ ), 최종 추시 시  $121.8^\circ \pm 16.3^\circ$  ( $92^\circ$ - $140^\circ$ )로 측정되었다( $p > 0.05$ ). WOMAC score는 수술 전  $53.4 \pm 9.1$ 점에서 최종 추시 시  $89.8 \pm 5.4$ 점으로( $p < 0.05$ ), KSS는 수술 전  $59.9 \pm 7.8$ 점에서 최종 추시 시  $91.5 \pm 7.5$ 점으로 각각 향상되었다( $p < 0.05$ ). 고식적 군에서는 평균 운동 범위는 수술 전  $115.8^\circ \pm 22.0^\circ$  ( $60^\circ$ - $130^\circ$ )로 측정되었고, 최종 추시 시  $112.6^\circ \pm 25.6^\circ$  ( $60^\circ$ - $140^\circ$ )로 측정되었다( $p > 0.05$ ). WOMAC score는 수술 전  $54.2 \pm 12.2$ 점에서 최종 추시 시  $84.2 \pm 10.6$ 점으로( $p < 0.05$ ), KSS는 수술 전  $60.1 \pm 13.3$ 점에서 최종 추시 시  $81.1 \pm 14.3$ 점으로 각각 향상되었다( $p < 0.05$ ). 최종 추시 시 평균 WOMAC 점수는 네비게이션군과 고식적 군에서 차이가 없었으나( $p = 0.157$ ), KSS는 네비게이션군에서 고식적 군에 비하여 통계적으로 유의하게 좋은 결과를 보였다( $p = 0.038$ ) (Table 2-6).

### 2. 방사선학적 결과

수술 전 전후면 방사선 사진상 대퇴-경골간 각은 네비게이션군에서 수술 전 평균  $7.0^\circ \pm 5.8^\circ$  ( $-6.2^\circ$ - $18.1^\circ$ )였고 수술 후 최종 추시 시 평균  $-1.0^\circ \pm 2.9^\circ$  ( $-4.5^\circ$ - $4.3^\circ$ )를 나타내었으며, 고식적 군에서 수술 전 평균  $9.9^\circ \pm 4.3^\circ$  ( $2.5^\circ$ - $17.9^\circ$ )였고 수술 후 최종 추시 시 평균  $0.2^\circ \pm 2.6^\circ$  ( $-3.8^\circ$ - $4.4^\circ$ )를 나타내었다.

치환물의 위치 변화는 네비게이션군에서 수술 직후 전후면



Figure 1. To compare the degree of polyethylene wear, the distance from the lowest end of the medial condyle of the femoral component to the tibial component and the distance from the lowest end of the lateral condyle of femoral component to the tibial component were measured at plain anteroposterior radiography.

Table 2. Comparisons of the Clinical Results at the Last Follow-Up

Variable	Navigation group	Conventional group	p-value
ROM (°)	121.8±16.3 (92–140)	112.6±25.6 (60–140)	0.018
WOMAC	89.8±5.4 (80–98)	84.2±10.6 (63–96)	0.157
KSS	91.5±7.5 (95–103)	81.1±14.3 (60–98)	0.038

Values are presented as mean±standard deviation (range). ROM, range of motion; WOMAC, Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis Index; KSS, Knee Society score.

Table 3. Comparisons of the Radiographical Measurements at the Immediate Postoperative Period

Variable	Navigation group	Conventional group	p-value
Mechanical axis (°)	-0.8±3.4 (-7.1–6.9)	0.5±2.1 (-2.3–5.6)	0.117
α angle (°)	92.8±3.0 (88.8–99.9)	90.3±2.1 (84.5–95.4)	0.110
β angle (°)	91.3±2.3 (85.2–94.8)	90.3±3.4 (84.3–93.7)	0.303
γ angle (°)	3.2±1.9 (0.1–6.5)	8.8±5.6 (0.6–17.0)	0.001
δ angle (°)	85.4±1.7 (82.1–88.9)	85.6±3.1 (80.6–93.8)	0.813
Medial gap (mm)	5.9±0.8 (4.5–7.6)	7.0±1.4 (4.9–10.2)	0.018
Lateral gap (mm)	6.0±0.8 (4.8–7.6)	7.2±1.4 (4.9–10.0)	0.006

Values are presented as mean±standard deviation (range).

Table 4. Comparisons of the Radiographical Measurements at the Last Follow-Up

Variable	Navigation group	Conventional group	p-value
Mechanical axis (°)	-1.0±2.9 (-4.5–4.3)	0.2±2.6 (-3.8–4.4)	0.302
α angle (°)	92.6±3.4 (87.9–99.3)	89.0±3.2 (83.7–93.8)	0.011
β angle (°)	90.5±2.5 (84.8–95.0)	90.5±1.9 (85.3–93.6)	0.899
γ angle (°)	4.1±1.9 (0.7–7.3)	8.7±6.1 (0.4–18.2)	0.023
δ angle (°)	85.2±1.6 (81.5–88.6)	85.4±3.2 (83.0–92.8)	0.659
Medial gap (mm)	4.5±0.7 (3.4–6.0)	5.1±1.4 (2.5–7.4)	0.108
Lateral gap (mm)	4.7±0.9 (3.2–6.0)	5.5±1.3 (3.0–7.6)	0.052

Values are presented as mean±standard deviation (range).

Table 5. Comparisons between the Preoperative and Last Follow-Up Clinical Results in Each Group

Variable	Navigation group			Conventional group		
	Preoperative	Last follow-up	p-value	Preoperative	Last follow-up	p-value
ROM (°)	120.0±9.6 (100–135)	121.8±16.3 (92–140)	0.185	115.8±22.0 (60–130)	112.6±25.6 (60–140)	0.737
WOMAC	53.4±9.1 (36–67)	89.8±5.4 (80–98)	<0.05	54.2±12.2 (34–74)	84.2±10.6 (63–96)	<0.05
KSS	59.9±7.8 (43–78)	91.5±7.5 (95–103)	<0.05	60.1±13.3 (32–83)	81.1±14.3 (60–98)	<0.05

Values are presented as mean±standard deviation (range). ROM, range of motion; WOMAC, Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis Index; KSS, Knee Society score.

방사선 사진상 대퇴골 치환물의 외반각(α)은 평균 92.8°±3.0° (88.8°–99.9°), 경골 치환물의 내반각(β)은 평균 91.3°±2.3° (85.2°–94.8°), 측면 사진상 대퇴골 치환물의 굴곡각(γ)은 평균 3.2°±1.9° (0.1°–6.5°), 경골 치환물의 후방 경사각(δ)은 평균 85.4°±1.7°

(82.1°–88.9°)로 측정되었다. 최종 추시 시 외반각(α)은 평균 92.6°±3.4° (87.9°–99.3°), 내반각(β)은 평균 90.5°±2.5° (84.8°–95.0°), 굴곡각(γ)은 평균 4.1°±1.9° (0.7°–7.3°), 후방 경사각(δ)은 평균 85.2°±1.6° (81.5°–88.6°)였다. 수술 직후에 비하여 최종 추시 시 굴곡

Table 6. Comparisons between the Immediate Postoperative and Last Follow-Up Radiological Results in Each Group

Variable	Navigation group			Conventional group		
	Postoperative	Last follow-up	p-value	Postoperative	Last follow-up	p-value
Mechanical axis (°)	7.0±5.8 (-6.2–18.1)	-1.0±2.9 (-4.5–4.3)	<0.05	9.9±4.3 (2.5–17.9)	0.2±2.6 (-3.8–4.4)	<0.05
α angle (°)	92.8±3.0 (88.8–99.9)	92.6±3.4 (87.9–99.3)	0.266	90.3±2.1 (84.5–95.4)	89.0±3.2 (83.7–93.8)	0.213
β angle (°)	91.3±2.3 (85.2–94.8)	90.5±2.5 (84.8–95.0)	0.192	90.3±3.4 (84.3–93.7)	90.5±1.9 (85.3–93.6)	0.473
γ angle (°)	3.2±1.9 (0.1–6.5)	4.1±1.9 (0.7–7.3)	0.008	8.8±5.6 (0.6–17.0)	8.7±6.1 (0.4–18.2)	0.880
δ angle (°)	85.4±1.7 (82.1–88.9)	85.2±1.6 (81.5–88.6)	0.172	85.6±3.1 (80.6–93.8)	85.4±3.2 (83.0–92.8)	0.950
Medial gap (mm)	5.9±0.8 (4.5–7.6)	4.5±0.7 (3.4–6.0)	<0.05	7.0±1.4 (4.9–10.2)	5.1±1.4 (2.5–7.4)	<0.05
Lateral gap (mm)	6.0±0.8 (4.8–7.6)	4.7±0.9 (3.2–6.0)	<0.05	7.2±1.4 (4.9–10.0)	5.5±1.3 (3.0–7.6)	<0.05

Values are presented as mean±standard deviation (range).

Table 7. Comparisons of the Change Amount from the Immediate Postoperative Period to the Last Follow-Up between the Navigation Group and Conventional Group

Variable	Navigation group	Conventional group	p-value
Δ Mechanical axis (°)	-0.2±1.0 (-6.9–1.5)	-0.2±1.3 (-2.7–2.3)	0.786
Δ ROM (°)	8.5±17.0 (-33–40)	1.4±34.6 (-52–64)	0.385
Δ WOMAC	35.5±10.4 (19–50)	30.0±11.6 (4–48)	0.257
Δ KSS	31.6±11.1 (10–55)	21.0±17.0 (-10–63)	0.013
Δ α angle (°)	0.03±1.7 (-4.2–1.8)	-0.4±1.3 (-4.2–1.6)	0.254
Δ β angle (°)	-1.1±1.0 (-3.8–3.5)	-0.3±0.9 (-3.5–1.9)	0.159
Δ γ angle (°)	0.9±1.4 (-1.6–4.9)	0.4±1.1 (-6.6–2.3)	0.231
Δ δ angle (°)	-0.3±0.9 (-1.6–4.9)	-0.03±27.7 (-83.3–80.5)	0.862
Δ Medial gap (mm)	-1.4±0.6 (-2.7–0.6)	-1.6±1.8 (-4.0–0.3)	0.081
Δ Lateral gap (mm)	-1.4±0.7 (-2.7–0.1)	-1.3±1.8 (-3.1–0.6)	0.289

Values are presented as mean±standard deviation (range). ROM, range of motion; WOMAC, Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis Index; KSS, Knee Society score.

각을( $p=0.008$ ) 제외한 치환물의 위치와 정렬에 유의한 변화는 없었으며, 두 시점 사이에 각 삽입물의 외반각( $\alpha$ ) ( $p=0.266$ ), 내반각( $\beta$ ) ( $p=0.192$ ), 굴곡각( $\gamma$ ) ( $p=0.008$ ), 후방 경사각( $\delta$ ) ( $p=0.172$ )에서 5° 이상의 큰 차이가 발생한 경우는 없었다. 방사선 투과성선은 총 20예 중 2예(10.0%)에서 관찰되었고 모든 예가 대퇴치환물의 전면부 1구역에서 발생하였다. 방사선 투과성선 점수의 합계는 평균 1점으로 측정되어 의미 있는 정도는 아니었다.

고식적 군에서 수술 직후 전후면 방사선 사진상 대퇴골 치환물의 외반각( $\alpha$ )은 평균  $90.3^\circ \pm 2.1^\circ$  ( $84.5^\circ$ – $95.4^\circ$ ), 경골 치환물의 내반각( $\beta$ )은 평균  $90.3^\circ \pm 3.4^\circ$  ( $84.3^\circ$ – $93.7^\circ$ ), 측면 사진상 대퇴골 치환물의 굴곡각( $\gamma$ )은 평균  $8.8^\circ \pm 5.6^\circ$  ( $0.6^\circ$ – $17.0^\circ$ ), 경골 치환물의 후방 경사각( $\delta$ )은 평균  $85.6^\circ \pm 3.1^\circ$  ( $80.6^\circ$ – $93.8^\circ$ )였고, 최종 추시 시 외반각( $\alpha$ )은 평균  $89.0^\circ \pm 3.2^\circ$  ( $83.7^\circ$ – $93.8^\circ$ ), 내반각( $\beta$ )은 평균  $90.5^\circ \pm 1.9^\circ$  ( $85.3^\circ$ – $93.6^\circ$ ), 굴곡각( $\gamma$ )은 평균  $8.7^\circ \pm 6.1^\circ$  ( $0.4^\circ$ – $18.2^\circ$ ), 후방 경사각( $\delta$ )은 평균  $85.4^\circ \pm 3.2^\circ$  ( $83.0^\circ$ – $92.8^\circ$ )였다. 고식적 군에서는

수술 직후부터 최종 추시 시에 이르기까지 외반각을( $p=0.013$ ) 제외한 치환물의 위치와 정렬에 유의한 변화는 없었으며, 각 삽입물의 외반각( $\alpha$ ) ( $p=0.013$ ), 내반각( $\beta$ ) ( $p=0.473$ ), 굴곡각( $\gamma$ ) ( $p=0.880$ ), 후방 경사각( $\delta$ ) ( $p=0.950$ )에 있어 5° 이상의 큰 변화는 발생하지 않았다. 방사선 투과성선은 총 20예 중 3예(15.0%)에서 관찰되었으며, 2예에서는 대퇴골에서만 발생하였고, 1예에서 대퇴골과 경골에서 동시에 발생하였다. 대퇴골에서 발생한 경우 치환물의 1구역에서 3예가 발생하였으며, 경골의 경우 시상면상 전방의 1구역에서 1예가 있었다. 방사선 투과성선 점수의 합계는 대퇴부에서 평균 1점이었으며 경골의 경우도 평균 1점이었다.

네비게이션을 이용한 군에서 수술 직후 대퇴 및 경골 삽입물 사이의 거리는 내과에서  $5.9 \pm 0.8$  mm, 외과에서  $6.0 \pm 0.8$  mm로 측정되었으며, 최종 추시 시에는 내과에서  $4.5 \pm 0.7$  mm, 외과에서  $4.7 \pm 0.9$  mm로 측정되었다. 고식적 군에서는 수술 직후 내과에서  $7.0 \pm 1.4$  mm, 외과에서  $7.2 \pm 1.4$  mm로 측정되었으며, 최종 추시



시에는 내과에서  $5.1 \pm 1.4$  mm, 외과에서  $5.5 \pm 1.3$  mm로 측정되었다. 두 군의 수술 직후와 최종 추시 시, 대퇴 및 경골 삽입물의 사이의 거리 변화 정도를 계산한 결과, 네비게이션군에서는 대퇴 및 경골 삽입물 사이의 거리 변화는 내과에서  $-1.4 \pm 0.6$  mm, 외과에서  $-1.4 \pm 0.7$  mm로 측정되었으며, 고식적 군에서는 내과에서  $-1.6 \pm 1.8$  mm, 외과에서  $-1.3 \pm 1.8$  mm로 측정되었고, 두 군 간의 비교통계에서는 유의한 차이는 없었다( $p=0.081$ ,  $p=0.289$ ) (Table 3, 4, 7).

## 고 찰

고식적 방법에 비하여 네비게이션 시스템을 이용한 슬관절 전치환술에서 향상된 하지 역학적 축의 정렬과 적절한 치환물의 위치를 구현할 수 있다는 보고들이 있다.<sup>12-15</sup> 이러한 결과는 대부분 단기 추시 결과에 국한되어 있으며, 방사선적으로 좋은 결과가 중장기적 추시에 이르기까지 좋은 방사선적 및 임상적 결과까지 이어지는가에 대한 연구는 많지 않다. 단기 연구로 Seon과 Song<sup>14</sup>은 97예를 네비게이션군과 고식적 군으로 무작위 배정하여 1년간 추시관찰한 결과, Hospital for Special Surgery와 WOMAC 점수에서 최소침습적 네비게이션 사용군이 고식적 군보다 기능적으로 우수하다는 결과를 보고한 바 있다. 반면에 Decking 등<sup>15</sup>은 52명의 환자를 3개월 추시관찰 시 네비게이션 사용군과 고식적 군에서 KSS와 WOMAC 점수에 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. Choong 등<sup>16</sup>은 115명 환자의 12개월 추시관찰로 네비게이션군에서 정렬이 더 우수함을 보였고, KSS와 12-Item Short Form Survey (SF-12) 점수에 있어 네비게이션을 사용한 슬관절 전치환술이 기능적으로 더 우수한 결과를 보인다고 보고한 바 있다. 이보다 더 장기적 추시관찰 연구로, Ishida 등<sup>17</sup>은 각각 30예의 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술군과 고식적 방법을 이용한 군 간의 5년 추시 비교연구를 통해 네비게이션군에서 고식적 군보다 관절 운동 범위와 KSS 점수가 향상되었음을 보고하였다( $p=0.01$ ). 이에 반해 Kamat 등<sup>18</sup>은 5년 이상 추시 가능하였던 565예 슬관절 전치환술 환자에서 Oxford Knee Scores를 이용한 임상적 결과 비교에서 두 군 간에 차이가 없다고 보고하였다. 가장 최근 연구 중 Kim 등<sup>19</sup>은 162명의 전향적, 무작위, 이중맹검을 통한 12년의 장기 추시 연구에서 양 군에서 임상적, 방사선적 차이가 없었다는 것을 밝히기도 하였다.

저자들의 이번 연구에서는 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술 후 8-10년 장기 추시 결과에 대해 고식적 군과의 비교연구를 시행하였으며, WOMAC 점수는 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 KSS ( $p=0.038$ ) 및 관절 운동 범위( $p=0.02$ )에 있어서는 네비게이션을 이용한 군에서 고식적 군에 비해 통계적으로 유의하게 좋은 결과를 보인다는 결론을 얻었다( $p<0.05$ ). 이는 mechanical axis 등을 고려할 때 통계적으로 유의하지는 않지

만 고식적 군에서 좀 더 변형이 심한 환자들이 대상이 되었던 점과 연관이 있을 것으로 추정된다.

방사선적 결과는 수술 후 체중부하 전후면 사진에서 기계적인 축이 네비게이션군에서  $1^\circ$  외반, 고식적 군에서  $0.2^\circ$  내반으로 유의한 차이가 없었으며( $p=0.302$ ), 대퇴 삽입물의 관상면상 경사도( $\alpha$ )의 평균 값은 각각  $92.6^\circ$ 와  $89.0^\circ$ , 시상면상 경사도( $\psi$ )는 평균 각각  $4.1^\circ$ ,  $8.7^\circ$  ( $p=0.023$ )로 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.011$ ). 이는 대퇴골 절제 시 네비게이션을 사용할 경우 대퇴골 시상면  $3^\circ$  굴곡 절제를 기본 사항으로 권하고 있어 고식적 군에 비하여 다소 많게 수술 시 적용된 시상면 경사도의 차이가 술 후까지 유지된 것으로 생각해 볼 수 있다. 이에 반해 전후면 사진에서 경골 삽입물의 관상면상 경사도( $\beta$ )는 네비게이션군  $90.5^\circ$ , 고식적 군  $90.5^\circ$ , 시상면상의 경사도( $\delta$ )는 네비게이션군  $85.2^\circ$ , 고식적 군  $85.4^\circ$ 로 평균값 비교에 있어서 유의한 차이는 없었다. 대퇴 및 경골 삽입물 사이의 거리는 수술 직후와 최종 추시 시 비교에서 양 군에서 유의하게 감소하였으나 변화량의 군 간 비교에서 양 군 사이에 차이가 없는 것으로 보아 양 군에서 폴리에틸렌 삽입물의 마모 정도에 영향을 미치는 인대균형에 있어 유의한 차이는 없었음을 유추할 수 있었다.

본 연구의 결과 중-장기 추시 시의 단면 연구에서 네비게이션군이 고식적 군에 비하여 KSS 및 관절 운동 범위에서 유의하게 좋은 결과를 보였다. 그러나 최초 수술 시점에 비하여 최종 추시 시의 변화량 비교에 있어서는 대퇴골 치환물의 위치 변화를 제외하고는 임상적, 방사선적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이에 따라 더 장기적인 추시에 따른 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 비교적 적은 환자군의 수, 무작위 배정 전향적 비교 연구가 아니며, 관절 운동 범위와 KSS 등의 임상적인 평가지표들과 방사선적인 평가 지표들 간의 상호 연관성에 대한 분석이 이루어지지 못했다는 점이다.

## 결 론

네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술을 시행한 후 8-10년 추시 결과 관절 운동 범위와 KSS가 고식적 군에 비해 유의하게 높았다. 따라서 중장기적으로 인공슬관절 전치환술에 네비게이션을 이용함으로써 고식적 방법을 이용한 것보다 임상적으로 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 방사선적 지표들의 변화에는 유의한 차이가 없었으며 또한 술 전 및 술 후 대비 최종 추시 시 지표들의 변화량은 KSS를 제외하고는 유의한 차이를 보이지 않았고 추시 경과상에서 발생하는 큰 차이를 발견할 수는 없었다. 향후 추가적인 장기 추시의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

## REFERENCES

1. Hamilton DF, Howie CR, Burnett R, Simpson AH, Patton JT. Dealing with the predicted increase in demand for revision total knee arthroplasty: challenges, risks and opportunities. *Bone Joint J.* 2015;97:723-8.
2. Andriacchi TP. Biomechanics and gait analysis in total knee replacement. *Orthop Rev.* 1988;17:470-3.
3. Bai B, Baez J, Testa N, Kummer FJ. Effect of posterior cut angle on tibial component loading. *J Arthroplasty.* 2000;15:916-20.
4. Laskin RS. Total knee arthroplasty using an uncemented, polyethylene tibial implant. A seven-year follow-up study. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;288:270-6.
5. Matsuda S, Miura H, Nagamine R, et al. Posterior tibial slope in the normal and varus knee. *Am J Knee Surg.* 1999;12:165-8.
6. Mihalko WM, Krackow KA. Posterior cruciate ligament effects on the flexion space in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;360:243-50.
7. B  this H, Perlick L, Tingart M, L  ring C, Zurakowski D, Grifka J. Alignment in total knee arthroplasty. A comparison of computer-assisted surgery with the conventional technique. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86:682-7.
8. Anderson KC, Buehler KC, Markel DC. Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: comparison with conventional methods. *J Arthroplasty.* 2005;20:S132-8.
9. Clemens U, Miehle RK. Experience using the latest OrthoPilot TKA software: a comparative study. *Surg Technol Int.* 2003;11:265-73.
10. Matsumoto T, Muratsu H, Tsumura N, et al. Joint gap kinematics in posterior-stabilized total knee arthroplasty measured by a new tensor with the navigation system. *J Biomech Eng.* 2006;128:867-71.
11. Ewald FC. The Knee Society total knee arthroplasty roentgenographic evaluation and scoring system. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;248:9-12.
12. Stulberg SD, Yaffe MA, Koo SS. Computer-assisted surgery versus manual total knee arthroplasty: a case-controlled study. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88 Suppl 4:47-54.
13. Saragaglia D, Picard F, Chaussard C, Montbarbon E, Leitner F, Cinquin P. Computer-assisted knee arthroplasty: comparison with a conventional procedure. Results of 50 cases in a prospective randomized study. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2001;87:18-28.
14. Seon JK, Song EK. Navigation-assisted less invasive total knee arthroplasty compared with conventional total knee arthroplasty: a randomized prospective trial. *J Arthroplasty.* 2006;21:777-82.
15. Decking R, Markmann Y, Fuchs J, Puhl W, Scharf HP. Leg axis after computer-navigated total knee arthroplasty: a prospective randomized trial comparing computer-navigated and manual implantation. *J Arthroplasty.* 2005;20:282-8.
16. Choong PF, Dowsey MM, Stoney JD. Does accurate anatomical alignment result in better function and quality of life? Comparing conventional and computer-assisted total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2009;24:560-9.
17. Ishida K, Matsumoto T, Tsumura N, et al. Mid-term outcomes of computer-assisted total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19:1107-12.
18. Kamat YD, Aurakzai KM, Adhikari AR, Matthews D, Kallairajah Y, Field RE. Does computer navigation in total knee arthroplasty improve patient outcome at midterm follow-up? *Int Orthop.* 2009;33:1567-70.
19. Kim YH, Park JW, Kim JS. The clinical outcome of computer-navigated compared with conventional knee arthroplasty in the same patients: a prospective, randomized, double-blind, long-term study. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99:989-96.

# 전자기장 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술의 8-10년 추시 결과

조재영\* · 정승현 · 홍성민 · 서정탁 · 최윤영<sup>†</sup> · 이승준<sup>✉</sup>

부산대학교 의학전문대학원 부산대학교병원 정형외과학교실, \*해운대부민병원 정형외과, <sup>†</sup>양산부산대학교병원 영상의학과

**목적:** 전자기장 네비게이션 시스템을 이용한 슬관절 전치환술과 고식적 방식을 이용한 전치환술 후 8-10년간 추시 가능하였던 환자들에서 임상적 및 방사선적 결과를 비교 분석하고자 하였다.

**대상 및 방법:** 2004년 2월부터 2006년 12월까지 슬관절 전치환술을 시행 받은 후 8-10년 이상 추시가 가능하였던 환자 32명 40예 슬관절을 대상으로 각각 네비게이션군, 고식적 군으로 나누어 술 전 및 최종 추시 시의 관절 가동 각도, 슬관절 점수 및 기능 점수를 측정하였고 비교 대조하여 분석하였다. 또한 같은 시기의 대퇴골 치환물의 외반각( $\alpha$ ), 굴곡각( $\gamma$ ) 및 경골 치환물의 내반각( $\beta$ ), 후방 경사각( $\delta$ )을 측정하여 삽입물의 정렬을 비교하였다.

**결과:** 네비게이션군에서 평균 운동 범위는 최종 추시 시  $121.8^\circ \pm 16.3^\circ$  ( $92^\circ - 140^\circ$ )로 호전되었고, Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis Index (WOMAC) score는  $89.8 \pm 5.4$ 점으로, Knee Society score (KSS)는  $91.5 \pm 7.5$ 점으로 각각 향상되었다. 고식적 군에서 평균 운동 범위는 최종 추시 시  $112.6^\circ \pm 25.6^\circ$  ( $60^\circ - 140^\circ$ )로 측정되었다. WOMAC score는  $84.2 \pm 10.6$ 점, KSS는  $81.1 \pm 14.3$ 점으로 각각 향상되었다. 삽입물의 외반각( $\alpha$ ), 내반각( $\beta$ ), 굴곡각( $\gamma$ ), 후방 경사각( $\delta$ )은 두 군 모두에서 수술 직후에 비하여 최종 추시 시까지 유의한 변화를 보이지 않았다. 두 군의 비교에 있어서는 평균 운동 범위( $p=0.018$ )와 KSS ( $p=0.038$ )만이 네비게이션군에서 고식적 군에 비하여 통계적으로 유의하게 좋은 결과를 보였다.

**결론:** 네비게이션을 이용한 슬관절 전치환술을 시행한 군에서 8-10년 추시결과 관절 운동 범위와 KSS가 고식적 군에 비해 유의하게 높았다. 그러나 술 전 및 술 후 대비 최종 추시 시 지표들의 변화량은 KSS를 제외하고는 고식적 군과 유의한 차이를 보이지 않았다.

**색인단어:** 인공 슬관절 전치환술, 전자기장 네비게이션, 장기 추시

접수일 2017년 2월 28일 수정일 2017년 9월 3일 게재확정일 2017년 9월 5일

<sup>✉</sup>책임저자 이승준

49241, 부산시 서구 구덕로 179, 부산대학교 의학전문대학원 부산대학교병원 정형외과학교실

TEL 051-240-7248, FAX 051-247-8395, E-mail rheefury@naver.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6330-0532>