

## Robotic Total Knee Arthroplasty - Minimal Follow-up of 3 Years -

Eun Kyoo Song, M.D., Ph.D., Jong Keun Seon, M.D., Ph.D., Sang Jin Park, M.D., Ph.D.,  
Ju Kwon Park, M.D. and Chan Hee Park, M.D.

Center for Joint Disease, Chonnam National University Hwasun Hospital, Jeonnam, Korea

**Purpose:** We wanted to evaluate the clinical and radiographic results of robotic-assisted implantation of TKAs with a minimum follow-up of three years.

**Materials and Methods:** 50 TKAs using ROBODOC<sup>®</sup> (Integrated Surgical Systems, Sacramento, CA, USA) were included in this study. We assessed the radiographic measurements with regard to the change of the mechanical axis and the inclination of the femoral and tibial components. The clinical results were evaluated with using the range of motion (ROM), the Hospital for Special Surgery (HSS) scores and the Western Ontario and McMaster University (WOMAC) scores.

**Results:** The angle formed by the mechanical axis of the femur and tibia was corrected from 6.57° varus to 0.49° valgus. The mean coronal inclination of the femoral and tibial components was 89.52° and 90.12°, respectively, and the mean sagittal inclination of the femoral and tibial components was 1.06° and 85.56°, respectively. There were 45 excellent and 5 acceptable results for the femoral component, and 38 excellent and 11 acceptable results for the tibial components. On the clinical assessment, the ROM improved from 124.9° to 128.4°, and the improvements of the HSS and WOMAC scores were 70.06 to 95.72 and 65.64 to 28.92, respectively.

**Conclusion:** A surgical robot system that has the ability to execute highly precise preoperative planning and intraoperative procedure for TKA provides good clinical and radiographic results at three years follow-up.

**Key Words:** TKA, Surgical robot, Mechanical axis, Inclination

### 서 론

슬관절 전치환술에서 하지의 역학적 정렬과 연부조직의

통신저자 : 박 주 권

☎ 519-809, 전남 화순군 화순읍 일심리 160

화순전남대병원 관절센터

TEL: 061-379-7679, FAX: 061-379-7681

E-mail: park5962@paran.com

\*이 논문은 전남대학교병원 임상의학연구소 학술연구비(CRI09025-1)에 의하여 연구되었음.

접수일: 2009년 2월 27일

수정일: (1차) 2009년 4월 5일, (2차) 2009년 9월 24일,

(3차) 2009년 10월 16일

게재허가일: 2009년 10월 18일

균형은 수술의 성공과 삽입물의 내구성에 중추적 역할을 한다<sup>5,8,12,17</sup>. 따라서, 삽입물이 경골과 대퇴골의 관상면, 시상면, 그리고 횡단면에서 정확하게 정렬을 이루는 것이 슬관절 전치환술의 좋은 결과에 필수적이다. 반면에, 부정확한 역학적 정렬이나 연부조직 불균형이 발생하는 경우 삽입물의 내측과 외측에 가해지는 힘이 동일하지 않게 되고, 마모도 쉽게 일어난다. Jeffery 등<sup>6</sup>은 정렬이 잘된 슬관절 전치환술의 경우 8년간 3%의 삽입물 이완이 있었던 반면 정렬이 부적절한 경우에는 24%의 삽입물 이완율을 보고 하였다.

대부분의 연구에서 적절한 역학적 축의 범위는 내반 3°에서 외반 3°까지로 보고 있으나, 일반적으로 행해지는 슬관절 전치환술의 70% 정도만이 이에 해당한다<sup>9</sup>. 따라서,

하지의 역학적 축과 삽입물의 위치를 더욱 향상시키기 위한 네비게이션 등의 새로운 수술 기법이 개발되었으나, 이 또한 시각적 검사와 수술의 직감에 의존해야 한다. 보다 더 정확한 하지의 역학적 정렬과 적절한 치환물의 위치를 얻기 위해서 로봇을 이용한 슬관절 전치환술이 개발되었다<sup>3,4,15,18</sup>.

국내에서는 2001년부터 시작하여 2,000건이 넘는 슬관절 전치환술에서 로봇이 이용되었다<sup>10</sup>. 그러나 수술용 로봇을 이용한 슬관절 전치환술에 대한 결과는 아직도 많지 않아 본 연구에서는 최소 3년간 추시를 통해 로봇을 이용한 슬관절 전치환술의 임상적, 방사선학적 결과를 평가하고자 하였다.

**대상 및 방법**

**1. 대상**

2004년 7월부터 2005년 9월까지 슬관절 골관절염으로 ROBODOC® (Integrated Surgical Systems, Sacramento, CA, USA) 시스템을 이용한 슬관절 전치환술을 시행받았던 54예 중 최소 3년 이상 추시 가능하였던 50예를 대상으로 후향적 연구를 실시하였으며, 추시기간은 평균 40.3 (37~58)개월이었다. 재치환술 환자들과 슬관절 주위 골절로 내고정물이 삽입되었던 환자들은 연구 대상에서 제외

외하였다.

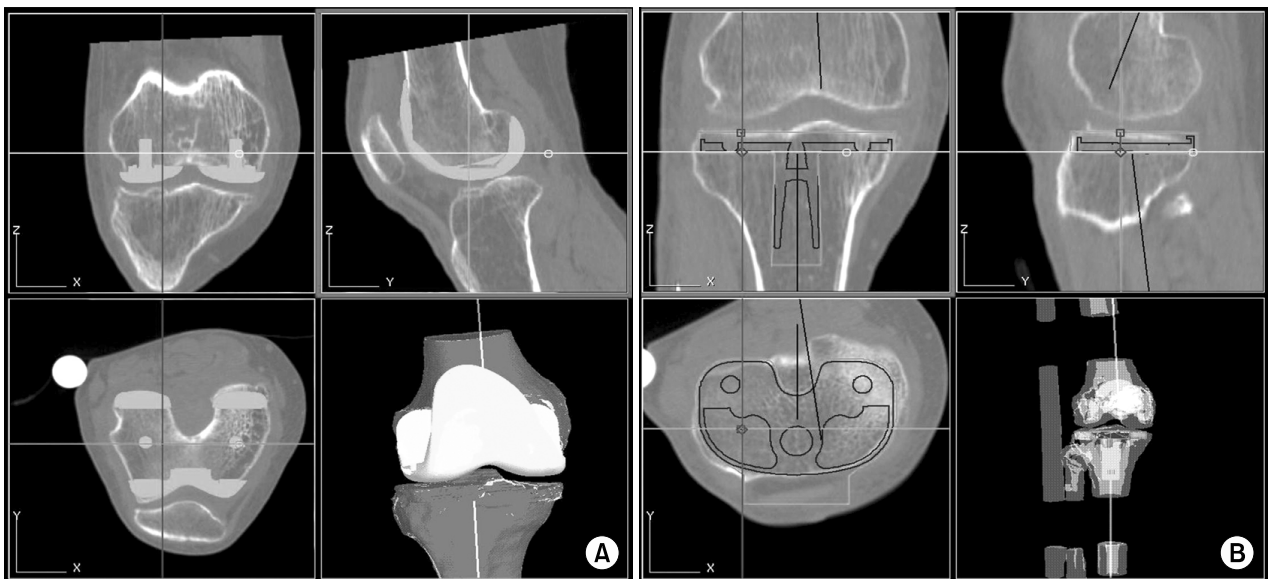
여자가 46명, 남자가 4명이었으며, 평균 나이는 66.1 (37~84)세, 평균 BMI는 26.3 (20.4~37.2) kg/m<sup>2</sup>이었다.

**2. 방법**

**1) 수술 방법**

ROBODOC 시스템은 수술 전 전산화 단층 촬영에 바탕을 둔 수술 전 계획을 하는 ORTHODOC과 수술 보조를 담당하는 수술용 로봇인 ROBODOC의 2개의 구성 요소로 이루어져 있다.

수술을 시행받을 슬관절을 15~20° 굴곡 하에 운동 감지 막대를 부착하고 족관절, 경골의 중간부, 슬관절, 대퇴골의 중간부, 그리고 대퇴 골두로 이루어진 5곳에서 전산화 단층 촬영이 시행되었다. 이후 영상 자료는 ORTHODOC으로 전송되고 이를 종합하여 고해상도 화면에 삼차원적 골 단면이 표시된다. 경골과 대퇴골의 표면 모델이 만들어진 후, 첫 단계는 고관절, 슬관절과 족관절의 해부학적 중심에 따라 대퇴골과 경골의 역학적 축을 형성하는 것이며, 이 축들에 따라 골 배열이 이루어진다. 두 번째 단계는 대퇴골 삽입물에 대한 정확한 크기, 위치, 배열, 그리고 회전이 각각 이루어지고, 이와 비슷한 과정이 경골 삽입물에도 적용된다. 적절한 두께의 폴리에틸렌을 선택한 후, 역학적 축에 대하여 삽입물의 배열을 확인하기 위하여 가상 수술



**Fig. 1.** Virtual surgery is conducted to verify femoral (A) and tibial (B) component alignment and size with respect to the established femoral and tibial mechanical axes.

을 시행한다(Fig. 1). 정확한 위치를 확인한 후, 로봇 조정 장치로 입력될 정보가 전송된다.

슬관절 전치환술은 내측 슬개 도달법을 이용하였으며 슬개골을 외번시켜 슬관절을 노출시킨 후, 특수 다리 고정

장치를 이용해 환자의 다리를 110~120°정도 굴곡시켰다 (Fig. 2A). Steinmann pin과 Hoffmann 고정 장치를 이용하여 다리를 로봇에 고정시켰고, 인식 장치를 부착하였다. 로봇의 DIGIMATCH™ 구형 탐지자를 이용하여 표면을

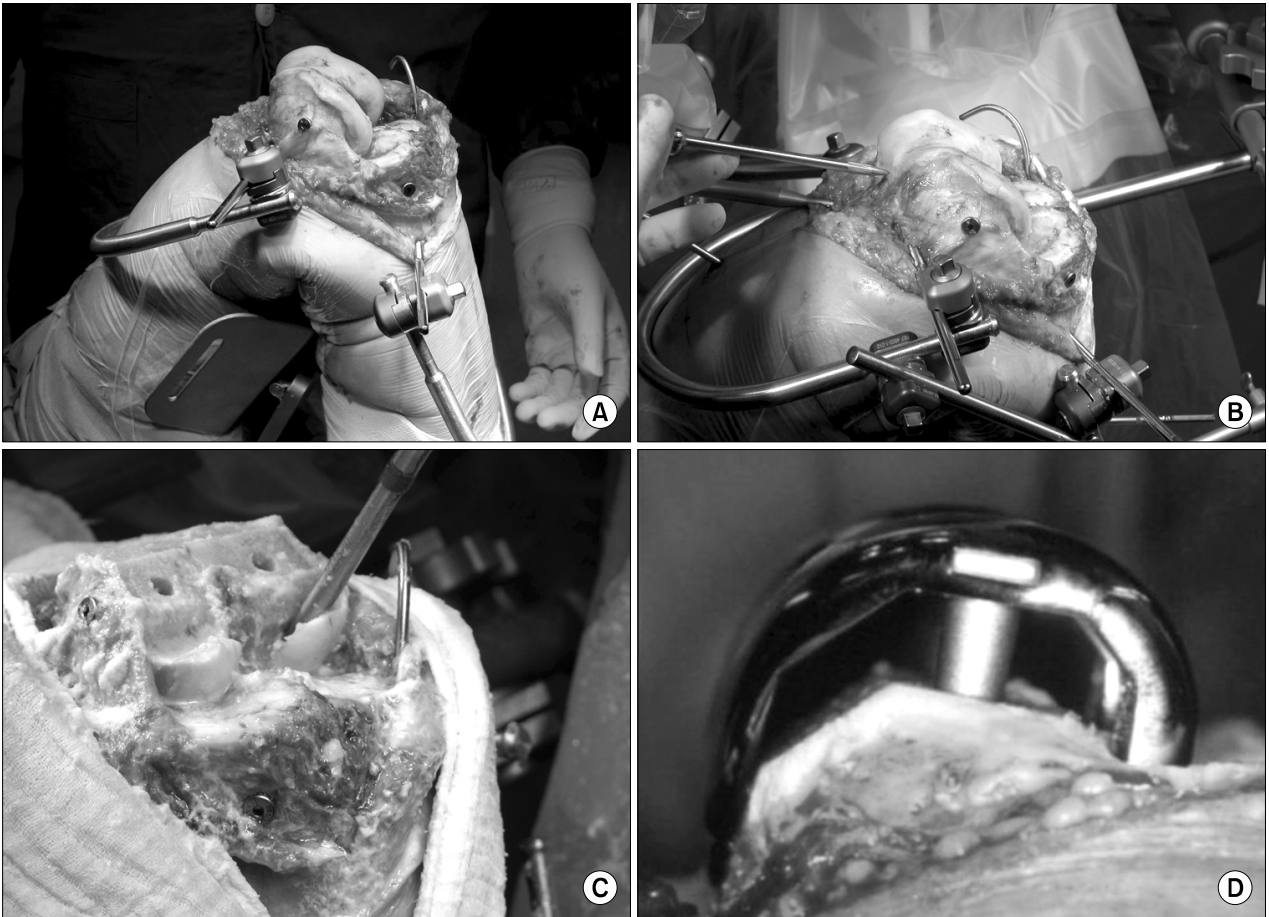


Fig. 2. Photograph shows ROBODOC surgical procedure. Fixation between patient's leg and surgical robot (A). Registration (B). Milling by surgical robot (C). Implantation (D).

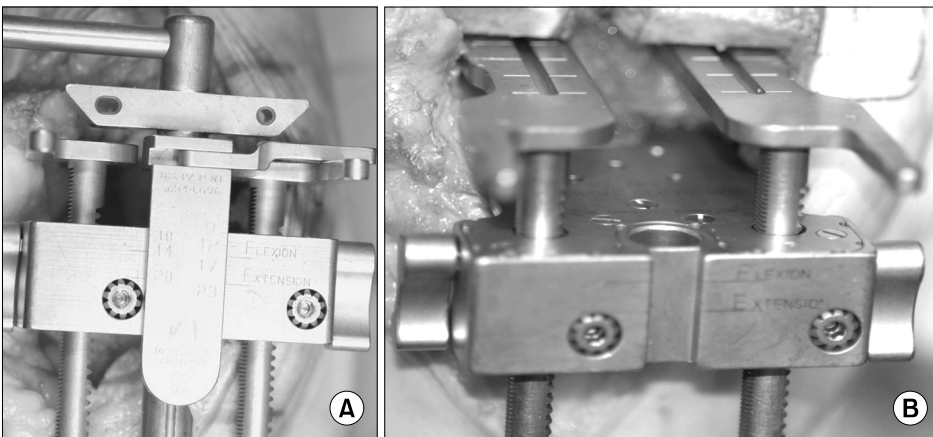


Fig. 3. Intraoperative measurement of extension (A) and flexion (B) gaps using the tensor after robotic bone milling.

등록하고 확인 과정을 끝낸 후, 대퇴골과 경골에 대한 절삭을 실시하고 이후 로봇을 제거한 후 연부 조직 유리술을 실시하여 연부 조직 균형을 맞추었다(Fig. 2B, Fig 2C). 최대로 신전된 상태와 90° 굴곡 상태에서 신전 간격 및 굴곡 간격을 측정하고, 내-외측 차이 값을 mm로 표시하였으며(Fig. 3), 굴곡 간격이 신전 간격보다 3 mm 이내로 크고, 굴곡 및 신전시에 내측 외측 간격의 차이가 3 mm 이하인 경우 “균형적” 이라고 평가하고<sup>5)</sup>, 삽입물을 삽입하였다(Fig. 2D). 평균 수술 시간은 99 (85~122)분이었다.

2) 연구방법

방사선학적 결과는 역학적 축의 변화와 대퇴골과 경골의 삽입물의 경사도로 측정하였다. 수술 후 최종 평가에서는 기립 전후 방사선 촬영으로 대퇴골( $\theta$ , optimum, 90) 및 경골 삽입물( $\beta$ , optimum, 90)의 관상면 상의 경사도와, 측면 경골 방사선 촬영으로 대퇴골( $\gamma$ , optimum, 0) 및 경골 삽입물( $\delta$ , optimum, 83)의 시상면 경사도를 측정하였다. 측정은 2명의 정형외과 의사에 의하여 각각 5회씩 시행되었다.

결과의 판정은 측정값들이 최적(optimum)값의 2° 이내 일 경우에는 “우수”, 2~3° 범위에서는 “만족” 그리고 3° 초과할 경우에는 “불량”으로 정하였다.

임상 결과는 관절 운동 범위(ROM; Range of motion),

HSS (Hospital for Special Surgery) 점수, WOMAC (Western Ontario and McMaster University scores) 점수로 평가하였다.

통계학적 분석은 Paired t-test를 이용하여 통계적 유의성을 검증하였으며, 관찰자간, 관찰자내 변이는 Pearson’s correlation analysis를 이용하여 검증하였다. SPSS 통계 프로그램(SPSS for Windows Release 11.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였고, 신뢰 구간은 95%로 하였다.

결 과

굴곡 신전 간격 균형은 45예(90%)에서 이루어졌다. 1예(2%)에서 굴곡 간격이 4 mm 더 컸고, 4예(8%)에서 굴곡 간격이 평균 3.5 mm (3~4) 더 작았다(Table 1). 굴곡 신전 간격에서 내측 외측 차이 평균값 불균형은 0.8 mm였으며, 3 mm 이상의 불균형을 보인 예는 없었다(Table 2).

대퇴골과 경골의 역학적 축이 이루는 각은 평균 6.57° 내반 (25.07° 내반~17.58° 외반)에서 평균 0.49° 내반 (2.16° 내반~2.07° 외반)으로 향상되었다( $p < 0.05$ ). 46명의 환자들에서 대퇴골과 경골의 역학적 축이 이루는 각

Table 1. Summary of Flexion-extension Gap

Flexion-extension gap balance	Number (%)
Balanced	45 (90)
Tight in flexion	4 (8)
Tight in extension	1 (2)

Table 2. Summary of Medial and Lateral Gap Asymmetry

	Values
Extension, mean $\pm$ SD (mm)	0.8 $\pm$ 0.4
Flexion, mean $\pm$ SD (mm)	0.8 $\pm$ 0.9
Asymmetry in flexion (No.)	
Balanced within 1 mm difference	21
Within 1~3 mm difference	29
More than 3 mm difference	0

Table 3. Summary of Leg and Component Alignments

	Mean $\pm$ SD (degrees)	Excellent (number)	Acceptable (number)	Outlier (number)
Mechanical axis, leg	0.49 $\pm$ 0.7*	46	4	0
Coronal inclination, femur	89.52 $\pm$ 1.3	48	2	0
tibia	90.12 $\pm$ 1.9	48	2	0
Sagittal inclination, tibia	85.59 $\pm$ 1.9	38	11	1
femur	1.06 $\pm$ 0.9	45	5	0

\*: indicates varus mechanical axes.

이 “우수”의 결과를 보였으며, 4명의 환자에서는 “만족”의 결과를 가졌다. 최종 추시에서 대퇴골과 경골의 관상면 평균 경사도는 89.52° 와 90.12°로 측정되었다. “불량”의 값은 없었으며, 96%는 “우수”의 결과를, 4%에서는 “만족”의 결과를 가진 것으로 분류되었다. 또한, 대퇴골과 경골 삽입물의 시상면 평균 경사도는 각각 1.06°, 85.56°로 측정되었다. 대퇴골에 대해서는 45예에서 “우수”의 결과를, 5예에서 “만족”의 결과를 보였으며, 경골에 대해서는 38예에서 “우수”의 결과를, 11예에서 “만족”의 결과를 그리고 1예에서 “불량”의 결과를 나타냈다(Table 3). “불량”의 결과를 가진 1예의 환자는 최종 추시에서 0~120°의 운동 범위를 가졌다.

Pearson’s correlation analysis를 이용하여 관찰자간, 관찰자내 변이에 대해 검정하였으며, 관찰자간 변이에서 Pearson’s correlation coefficient는 최대 0.781 (p=0.003)부터 최소 0.611 (p=0.018)이었으며, 관찰자내 변이에서 Pearson’s correlation coefficient는 최대 0.894 (p=0.000)부터 최소 0.718 (p=0.018)로 이들 모두 통계적 유의성은 관찰되지 않았다.

임상적 평가에서 수술 전 HSS 점수가 70.06 (62~75)에서 최종 추시상 95.72 (92~100)로 향상되었고, WOMAC 점수는 평균 65.64 (61~70)에서 28.92 (24~35)로 향상되었다(p<0.05). 운동범위는 평균 124.9 (100~140)°에서 128.4 (120~140)°로 향상되었다(p<0.05).

1예에서 핀 주위에 장액종(seroma)이 형성되었고, 2예에서는 슬개건에 부분적인 손상을 보였다. 술 후 감염, 슬개건 파열, 슬개골 불안정증, 신경 손상 등은 보이지 않았고, 최종 추시 상 삽입물 주위의 해리를 보이는 경우도 없었다.

## 고 찰

슬관절 전치환술에서 배열의 정확성을 향상시키기 위하여 역학적 배열 지침이 만들어졌지만, 이 기술은 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 예를 들어 골 경계의 해부학적 변이와 수술사의 잘못된 시각적 판단이 있을 수 있다. 따라서, 하지의 역학적 축의 정렬과 치환물 위치의 정확성 향상을 위해서 네비게이션 시스템이 개발되었고, 이것은 하지와 구성 요소들의 배열의 오차를 줄여 주는 목적으로 연구 되고 있으며, 이러한 네비게이션을 이용한 슬관절 전

치환술에 대한 좋은 결과가 몇몇 그룹들에 의해 보고되었다<sup>7,9,13,14,16</sup>. 하지만, 현재의 네비게이션 또한 절제 블록(cutting blocks)과 진동 톱(oscillating saws)에 의존하기 때문에 네비게이션 시스템의 몇몇 부분들은 부정확의 원인으로 주목되었다<sup>11</sup>. 따라서, 슬관절 전치환술에 있어서 삽입물의 배열과 골 절제의 정확성을 더욱 높이기 위하여 로봇이 개발되었다<sup>4,18</sup>. 로봇의 정확성을 평가하기 위하여 이루어진 사체 실험에서, 축에 대한 오차는 최대 2°에서 평균 1°, 진이 오차는 최대 2 mm에서 평균 1 mm였다. 전산화 단층 촬영을 이용한 3차원적 수술 전 계획, 수술의 선호도, 수술용 로봇이 유기적으로 종합되어, 삽입물의 고도로 정확한 위치 선택이 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 모든 경우에 삽입물의 위치와 배열에 있어서 우수한 결과를 보여주었고, 이러한 결과는 CASPAR<sup>®</sup> 시스템을 이용한 Decking 등<sup>3</sup>)의 결과와 일치한다. 특히 시상면의 배열과 관련하여, Wasielewski 등<sup>19</sup>)은 경골의 후방 경사가 대퇴골의 rollback과 후방십자인대에 가해지는 힘, 움직임의 범위에 영향을 미친다고 보고하였다. Park과 Lee<sup>10</sup>)는 외측 단면의 대퇴골과 경골의 굴곡각의 합이 전방 침범과 여러 곳의 마모를 방지하는데 중요하고, 시상 단면의 정확한 배열에 있어서 로봇을 이용한 수술이 탁월한 효과가 있다고 하였다. 물론, 슬관절 전치환술에서 고도의 정확성이 필요한지 여부는 여전히 의문시되지만, 로봇을 이용한 본 연구에서 얻어진 우수한 해부학적 정렬은 삽입물의 내구성과 아울러 마모 및 이완 등을 감소시킬 수 있을 것이라고 추론해 볼 수 있겠다.

로봇을 이용한 슬관절 전치환술에서 연부조직 균형에 대한 논란이 있기도 하지만 이에 대한 보고는 이루어진 바 없다. 연부조직 균형이 슬관절 전치환술의 가장 본질적인 문제로 남아있으며, 삽입물들로 채워진 공간을 최대한 활용하고, 부속 인대들에 가해지는 힘을 동일하게 하기 위해서는 굴곡, 신전 간격이 정확하게 균형을 이루어야 한다<sup>1,6,17,20</sup>.

저자들은 절삭(milling) 작업과 기존의 내측 연부조직을 유리하는 과정을 통하여 90%에서 균형이 잘 잡힌 직사각형의 굴곡 신전 간격을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 슬관절 치환술에서 3 mm의 굴곡신전 간격이 외측에서 13.5%, 내측에서 10.6%였다고 보고한 Griffin 등<sup>5</sup>)의 결과보다 우수하고, 8.4%에서 3 mm 이상의 불균형을 보고한 Winemaker<sup>20</sup>)의 결과와는 큰 차이를 보이지 않는다.

불균형적인 차이를 해결하기 위해서 굴곡이 팽팽했던 예에서 후방십자인대를 부분적으로 이완시켜 주었고, 굴곡이 느슨했던 1예에서는 5년 추시상 운동범위의 제한은 보이지 않았으며, 술 후 삼입물 이완이나 폴리에틸렌 마모 등의 합병증도 보이지 않았다.

본 연구는 슬개골의 정복을 고려하지 않은 채 간격이 한 번만 측정되었다는 한계점을 가진다.

지금까지 수술용 로봇을 이용한 슬관절 전치환술의 결과에 대한 보고는 많지 않았다. Bellemans 등<sup>2)</sup>은 25예에서 CASPAR<sup>®</sup>시스템(URS, OrthoRastatt, Germany)을 이용하여 평균 5년 간의 추시를 통해 삼입물 위치 선택과 배열에 대한 우수한 결과를 보고하였다. 하지만, 긴 수술 시간, 시스템의 복잡한 기술과 고가의 수술 비용 등으로 인해 그들은 더 이상 이 수술 방법을 사용하지 않게 되었다고 했다. Park과 Lee<sup>10)</sup>는 32명의 환자들 중 6명에서 초기에 표층의 감염, 슬개골 인대 파열, 슬개골 탈구, 과상 골절, 슬개골 골절, 비골 신경 손상과 같은 높은 합병증률을 보고하였다. 본 연구에서는 초기 숙련 기간 이후의 평균 수술 시간은 99분(85~122분)이었다. 수술과 관련하여 1예에서 핀 주위에 장액종(seroma)이 형성되었고, 2예에서는 슬개골 인대에 부분 손상이 발생하였으나 환자의 신전 기전에는 영향을 주지 않았다.

## 결 론

비록 장기적인 추시를 위해서는 보다 많은 연구가 필요하겠지만, 최소 3년 간의 추시 결과에서 로봇을 이용한 슬관절 전치환술은 비교적 좋은 임상적, 방사선학적 결과를 보여 주었다. 또한 로봇을 이용한 슬관절 전치환술은 정확한 수술 전 계획과 수술 절차로 인해 정확한 배열을 이룰 수 있다는 명백한 장점이 있지만, 긴 수술 시간과 수술 도중에 수술 전 계획을 변경할 수 없다는 단점은 추후 보완되어야 할 문제라 여겨진다.

## REFERENCES

1. Asano H, Hoshino A, Wilton TJ: *Soft-tissue tension total knee arthroplasty*. *J Arthroplasty*, 19: 558-561, 2004.
2. Bellemans J, Vandenuecker H, Vanlauwe J: *Robot-assisted total knee arthroplasty*. *Clin Orthop Relat Res*, (464): 111-116, 2007.
3. Decking J, Theis C, Achenbach T, Roth E, Nafe B, Eckardt A: *Robotic total knee arthroplasty: the accuracy of CT-based component placement*. *Acta Orthop Scand*, 75: 573-579, 2004.
4. Fadda M, Marcacci M, Toksvig-Larsen S, Wang T, Meneghello R: *Improving accuracy of bone resections using robotics tool holder and a high speed milling cutting tool*. *J Med Eng Technol*, 22: 280-284, 1998.
5. Griffin FM, Insall JN, Scuderi GR: *Accuracy of soft tissue balancing in total knee arthroplasty*. *J Arthroplasty*, 15: 970-973, 2000.
6. Jeffery RS, Morris RW, Denham RA: *Coronal alignment after total knee replacement*. *J Bone Joint Surg Br*, 73: 709-714, 1991.
7. Jenny JY, Boeri C: *Computer-assisted implantation of total knee prostheses: a case-control comparative study with classical instrumentation*. *Comput Aided Surg*, 6: 217-220, 2001.
8. Laskin RS, Riegèr MA: *The surgical technique for performing a total knee replacement arthroplasty*. *Orthop Clin North Am*, 20: 31-48, 1989.
9. Mielke RK, Clemens U, Jens JH, Kershally S: *Navigation in knee endoprosthesis implantation--preliminary experiences and prospective comparative study with conventional implantation technique*. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 139: 109-116, 2001.
10. Park SE, Lee CT: *Comparison of robotic-assisted and conventional manual implantation of a primary total knee arthroplasty*. *J Arthroplasty*, 22: 1054-1059, 2007.
11. Plaskos C, Hodgson AJ, Inkpen K, McGraw RW: *Bone cutting errors in total knee arthroplasty*. *J Arthroplasty*, 17: 698-705, 2002.
12. Ritter MA, Faris PM, Keating EM, Meding JB: *Postoperative alignment of total knee replacement; Its effect on survival*. *Clin Orthop Relat Res*. (299): 153-156, 1994.
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*, 87: 18-28, 2001.
14. Seon JK, Song EK: *The accuracy of lower extremity alignment in a total knee arthroplasty using computer-*

- assisted navigation system. *J Korean Orthop Assoc*, 39: 566-571, 2004.
15. Siebert W, Mai S, Kober R, Heeckt PF: *Technique and first clinical results of robot-assisted total knee replacement. Knee*, 9: 173-180, 2002.
  16. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H, Banzer D, Zink A: *Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. A prospective, randomised study. J Bone Joint Surg Br*, 85: 830-835, 2003.
  17. Takahashi T, Wada Y, Yamamoto H: *Soft-tissue balancing with pressure distribution during total knee arthroplasty. J Bone Joint Surg Br*, 79: 235-239, 1997.
  18. Van Ham G, Denis K, Vander Sloten J, et al: *Machining and accuracy studies for a tibial knee implant using a force-controlled robot. Comput Aided Surg*, 3: 123-133, 1998.
  19. Wasielewski RC, Galante JO, Leighty RM, Natarajan RN, Rosenberg AG: *Wear patterns on retrieved polyethylene tibial inserts and their relationship to technical considerations during total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res*, (273): 31-43, 1994.
  20. Winemaker MJ: *Perfect balance in total knee arthroplasty: the elusive compromise. J Arthroplasty*, 17: 2-10, 2002.

## Robodoc 시스템을 이용한 슬관절 전치환술 - 최소 3년 추시 결과 -

전남대학교 의과대학 정형외과학교실, 화순전남대병원 관절센터

송은규 · 선종근 · 박상진 · 박주권 · 박찬희

**목적:** 로봇을 이용한 슬관절 전치환술의 최소 3년 추시 상 임상적, 방사선학적 결과를 평가하고자 하였다.  
**대상 및 방법:** 로봇을 이용한 슬관절 전치환술 50예를 대상으로 하였으며, 방사선학적 결과는 역학 축의 변화와 대퇴골과 경골 사이의 경사도를 통해 평가되었다. 임상적 결과는 능동 운동범위(ROM: Range of motion), HSS (Hospital for special surgery) 점수와 WOMAC (Western Ontario and McMaster University) 점수를 통하여 평가되었다.

**결과:** 대퇴골과 경골의 역학적 축이 이루는 각은 평균 내반 6.57°에서 내반 0.49°로 교정되었다. 대퇴골과 경골의 평균 관상 단면 경사도 값은 89.52°와 90.12°였으며, 시상 단면 경사도 값은 1.06°와 85.56°였다. 삽입물의 경사도는 대퇴골은 45°에서 “우수”의 결과를, 5°에서 “만족”의 결과를 보였으며, 경골은 38°에서 “우수”의 결과를, 11°에서 “만족”의 결과를 나타냈다. 임상적 평가에서, 운동범위는 술 전 124.9°에서 최종 추시 상 128.4°로 향상되었으며, HSS 점수는 70.06에서 95.72로 WOMAC 점수는 65.64에서 28.92로 향상되었다.

**결론:** 최소 3년간의 추시 결과, 정확한 수술 전 계획과 수술 절차를 실행할 수 있는 수술용 로봇을 이용한 슬관절 전치환술은 비교적 우수한 임상적, 방사선학적 결과를 보여, 퇴행성 슬관절염 환자에게 안정적이고 효과적인 치료 방법이라 여겨진다.

**색인 단어:** 슬관절 전치환술, 수술 로봇, 역학적 축, 경사도