

## 동일인에서 슬관절 전 치환술 및 단일 구획 치환술 후 보행 분석 비교

최원식 · 김하용 · 김갑중 · 감병섭

을지대학교 의과대학 정형외과학교실

### A Comparison of Gait Analysis after Total Knee Arthroplasty and Unicompartmental Knee Arthroplasty in the Same Patient

Won-Sik Choy, M.D., Ha-Yong Kim, M.D., Kap-Jung Kim, M.D., and Byung-Sup Kam, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Eulji University College of Medicine, Seoul, Korea

**Purpose:** To compare the gait characteristics of unicompartmental knee arthroplasty (UKA) with total knee arthroplasty (TKA) performed on the same patient.

**Materials and Methods:** Twelve female patients with advanced degenerative arthritis of both knee joints were enrolled for the study group. The mean age was 70.3 (64-74) years old. One side of the knee joint had been replaced with UKA and the other side with TKA. The mean follow-up period was 11.8 months for the UKA side and 14.8 months for TKA side. The clinical and radiographic evaluations were performed. The gait features of the study group were assessed using computerized gait analysis. Seven age-matched healthy female volunteers (14 knees) were included as the normal control group.

**Results:** The clinical and radiographic results improved after joint replacement in both groups. The postoperative gait was almost normalized regardless of the type of surgery performed, with the exception of some parameters including the walking speed, mean pelvic tilt, knee flexion at initial contact, peak knee flexion, knee flexion between initial contact and loading response, knee flexion between initial swing phase and mid-stance phase and ankle 3rd rocker. Knee flexion at the initial contact of UKA and TKA groups was similar, and was different from that of the normal control group. At the loading response, the amount of knee flexion was similar between the three groups. Kinetic data of the first peak vertical ground reaction force and hip extension moment at loading response were better in the UKA group.

**Conclusion:** The gait features were normalized in both groups. The UKA group was better normalized than the TKA group in terms of the aspect of the gait features, whereas TKA group showed better correction of deformities.

**Key Words:** Knee, Arthritis, Gait analysis, TKA, UKA

### 서 론

퇴행성 슬관절염의 치료로 인공 관절 치환술은 전치환술(TKA, Total knee arthroplasty)과 단일 구획 치환술(UKA, Unicompartmental knee arthroplasty)이 시행되고 있으며, 관절 전체가 이환된 경우에는 전치환술이, 그리고 관절의 내측 구획만 이환된 경우에는 내측 부분만을 선택적으로 치환하는 단일 구획 치환술(UKA,

Unicompartment knee arthroplasty)이 권장 될 수 있다. 단일 구획 치환술 기법은 과거 80년대 이전의 초기 모델에서 다양한 실패가 보고<sup>5,13,17,19,24)</sup>되어 자취를 감추었으나, 최근 디자인의 변화, 재료의 발달, 그리고 수술술기의 개선으로 성공률이 높아지면서 다시 수술이 시행되고 있다. 단일 구획 치환술은 전 치환술에 비해 외측 구획의 관절 연골과 십자인대를 보존하여, 수술 후 회복

통신저자 : 김 하 용  
대전광역시 서구 둔산동 1306  
을지대학교 의과대학 정형외과학교실  
TEL: 042-611-3280 • FAX: 042-259-1289  
E-mail: hykim@eulji.ac.kr

Address reprint requests to  
Ha-Yong Kim, M.D.  
Department of Orthopaedic Surgery, Eulji University College of Medicine,  
1306, Dunsan-dong, Seo-gu, Daejeon 302-120, Korea  
Tel: +82,42-611-3280, Fax: +82,42-259-1289  
E-mail: hykim@eulji.ac.kr

이 빠르고, 조기 재활이 가능하며 입원기간을 줄일 수 있다. 또한, 삽입물의 마모나 해리가 발생하더라도 재수술이 용이하다는 장점이 있다. 인공 관절 수술에 대한 결과 평가로는 방사선학적 계측, 임상적 결과, 장기 생존율 등 여러 지표가 이용 될 수 있으며, 가장 기능적인 검증 방법으로는 보행 분석 기법이 이용되고 있다. 전 치환술 후의 보행 분석에 대하여는 많은 연구 보고<sup>1,4,7,15,23)</sup> 있었지만, 단일 구획 치환술 후의 환자의 보행 형태에 대한 연구는 상대적으로 적다<sup>6,20,25,28)</sup>. 이에, 본 연구는 동일 환자에서 일측은 슬관절 단일 구획 치환술을 받았고, 다른 일측은 전 치환술을 받은 환자 군을 대상으로 보행 분석을 실시하여 정상 보행의 회복 정도를 비교 분석하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

이환의 정도가 다른 양측의 퇴행성 슬관절염으로 좌·우측 중 한 쪽은 전 치환술을, 다른 한 쪽은 단일 구획 치환술을 받은 환자로 2003년 이후 본원에서 수술 받고, 연구에 자발적 참여에 동의한 12예 24슬관절을 대상으로 하였다. 평균 연령은 70.3세(64-74)이었고, 대상 환자는 모두 여성이었다. 슬관절 단일 구획 치환술로 Oxford Uni Knee system (Biomet Inc., Warsaw, IN, USA)을, 슬관절 전 치환술로는 LCS Knee system(Depuy

Orthopaedics Inc., Warsaw, IN, USA)을 사용하였다.

저자들의 슬관절 단일 구획 치환술의 적응증은 MRI 검사 상 전방 십자 인대가 온전하고, 15° 미만의 슬관절 내반 변형, 10° 미만의 슬관절 굴곡 구축, 내반-외반 스트레스 방사선 사진 상 슬관절의 외측 구획이 온전한 경우로 하였으며, 슬관절 전 치환술의 적응증은 슬관절의 내·외측 구획 모두에 심한 퇴행성 관절염이 있고, 보존적 치료에 반응하지 않는 심한 슬관절 통증이 있는 경우로 하였다.

대상 환자 군의 보행 분석 시점은 슬관절 전 치환술 후 평균 14.6개월(6-47)에 단일 구획 치환술 후 평균 11.8개월(6-34)에 시행하였다. 비교 분석을 위하여 단일 구획 치환술을 받은 슬관절을 UKA군(n=12), 전 치환술을 받은 슬관절을 TKA군(n=12)으로 분류하였다(Table 1). 정상 대조군으로는 대상 환자 군과 비슷한 연령대의 건강한 여자 7예로 하였다. 평균 연령은 64.6세(60-73)였다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 임상적 및 방사선학적 평가

임상적 평가로 HSS 점수, WOMAC (The Western Ontario and MacMaster Osteoarthritis Index) 점수, 슬관절의 운동 범위, 내반 불안정성, 선호 슬관절(preferred knee), 우세 슬관절(dominant knee on up-stairs & downstairs), 쪼그려 앉기(squatting) 가능 여

Table 1. Demographics of the Patients and Clinical and Radiographic Results

No.	Age	OP		Preop TFA (°)		Postop TFA (°)		Preop ROM (°)		Postop ROM (°)		Postop HSS score (T/U)	Postop WOMAC score (T/U)
		R	L	T	U	T	U	FC (T/U)	FF (T/U)	FC (T/U)	FF (T/U)		
1	72	T	U	-5	-5	+6	+6	10/5	135/135	4/0	145/155	93/95	16/13
2	74	T	U	-15	+3	+7	+4	15/5	90/130	6/2	145/150	92/95	16/14
3	64	T	U	-9	-6	+6	+4	10/5	130/140	5/3	145/155	93/94	15/12
4	70	U	T	0	+3	+6	+3	5/5	140/140	0/0	145/155	93/95	16/13
5	69	T	U	-6	-7	+5	+4	10/5	135/135	4/0	150/155	93/95	15/13
6	65	U	T	-10	0	+6	+3	10/5	135/135	5/2	150/150	95/96	16/13
7	76	U	T	+5	0	+6	+4	15/10	130/135	6/3	145/150	95/96	16/13
8	67	T	U	0	+1	+4	+7	0/0	135/135	0/0	150/145	98/93	12/15
9	69	T	U	-10	-6	+6	+4	20/10	130/135	4/2	150/155	95/96	15/12
10	76	T	U	-5	-2	+6	+3	20/10	135/135	5/0	145/150	94/95	16/11
11	69	T	U	-1	+2	+5	+3	10/5	135/140	0/0	145/150	94/94	15/13
12	73	T	U	-1	-1	+6	+3	20/10	125/145	5/0	150/150	93/96	16/12

No., number; OP, operation; T, Total knee arthroplasty; U, Unicompartmental knee arthroplasty; Preop, Preoperative; Postop, Postoperative; -, varus; +, valgus; FC, Flexion contracture; FF, Further flexion; R, Right; L, Left.

부를 측정하고, 단순 전후면 기립 방사선 사진에서 대퇴-경골 각(Tibiofemoral angle, TFA)을 측정하였다(Table 1).

## 2) 보행 분석 검사

보행 검사를 통해 대상군과 대조군의 보행 선형 지수, 운동 형상학, 운동 역학 자료를 구하였다. 운동 형상학 자료를 위한 표식자(passive reflective marker) 부착은 Modified Helen-Hayes 방법으로 하였고, 피검자는 7 m의 포착 공간(capture volume)을 본인에게 편안한 속도로 걷도록 하였다. 3차원 운동 포착(3-D motion capture)은 6대의 카메라(Eagle system, Motion Analysis, Santa Rosa, CA, USA)를 이용하였고, 카메라는 1초당 120 frame의 속도(120 Hz)로 각 표지의 이동을 추적하였다. 자료의 처리는 EvaRT와 Orthotrak (Motion Analysis, Santa Rosa, CA, USA) 소프트웨어를 이용하였다. 운동 역학 자료를 얻기 위한 힘판(AMTI force plate, Watertown, Mass, England)은 보행로의

중앙부에 두 개 설치하였고, 여기서 얻어진 자료는 역 동역학(inverse dynamics) 방법으로 소프트웨어 처리하였다.

## 3) 자료 처리 및 분석

보행 분석 자료는 매우 많은 결과물이 산출되어 어떠한 자료가 일차적인 병적 보행인지 파악하기가 쉽지 않으며, 회복의 정도를 나타내는 지표로 어떠한 지표를 검토해야 할지 일치된 의견이 없다. 현재 쓰이고 있는 방법들은 첫째 그래프의 시각적 비교, 둘째 정상 지수(normalcy Index)<sup>10)</sup>, PCA (Principle component analysis), KJF (knee joint function)과 같은 특정 보행 분석 지수를 이용하는 방법, 셋째는 퇴행성 관절염의 알려진 보행 특징 지표를 분석하는 방법들이다. 시각적 비교는 정량화가 되지 못하는 단점이 있으며, 지수를 이용하는 방법들은 주로 뇌성 마비 등의 소아 보행 분석 기법이다. 알려진 퇴행성 슬관절염 환자의 1차 보행 이상은 하지의 내반 정렬, 슬관절의 굴곡 구축, 체중 부하의 제한(수직

Table 2. Gait Parameters for Analysis and Results of Each Group

Parameters	TKA	UKA	Control
1. Walking speed (cm/sec)	83.9 ( $\pm 17.0$ )	73.6 ( $\pm 8.3$ )	109.3 ( $\pm 8.7$ ) <sup>§</sup>
2. Cadence (steps/min)	105.2 ( $\pm 16.2$ )	105.2 ( $\pm 16.2$ )	117.1 ( $\pm 6.3$ ) <sup>§</sup>
3. Stride length (cm)	89.9 ( $\pm 14.3$ )	89.9 ( $\pm 14.3$ )	112.6 ( $\pm 6.95$ ) <sup>§</sup>
4. Time to toe off (%cycle)	62.8 ( $\pm 4.7$ )	63.3 ( $\pm 2.6$ )	61.5 ( $\pm 1.0$ )
5. Mean Pelvic tilt ( $^{\circ}$ )	9.0 ( $\pm 5.3$ )	9.0 ( $\pm 5.3$ )	14.5 ( $\pm 2.0$ ) <sup>§</sup>
6. Min hip flexion ( $^{\circ}$ )	-2.7 ( $\pm 10.7$ )	-2.3 ( $\pm 9.8$ )	-2.4 ( $\pm 2.8$ )
7. HEM at LR (J)	0.4 ( $\pm 0.1$ )	0.5 ( $\pm 0.3$ )	0.7 ( $\pm 0.2$ ) <sup>†</sup>
8. Knee flexion at IC ( $^{\circ}$ )	14.7 ( $\pm 7.3$ )	12.8 ( $\pm 4.6$ )	8.8 ( $\pm 3.0$ ) <sup>§</sup>
9. Knee flexion at LR ( $^{\circ}$ )	22.2 ( $\pm 5.3$ )	23.5 ( $\pm 4.7$ )	23.0 ( $\pm 4.9$ )
10. Knee extension at MST ( $^{\circ}$ )	15.9 ( $\pm 7.4$ )	16.5 ( $\pm 5.1$ )	14.0 ( $\pm 4.2$ )
11. Knee flexion at ISW ( $^{\circ}$ )	59.0 ( $\pm 5.6$ )	59.8 ( $\pm 5.3$ )	67.1 ( $\pm 5.1$ ) <sup>§</sup>
12. ROM (IC-LR) ( $^{\circ}$ )	8.1 ( $\pm 3.6$ )	10.9 ( $\pm 3.4$ ) <sup>*</sup>	15.5 ( $\pm 2.8$ ) <sup>§</sup>
13. ROM (MST-ISW) ( $^{\circ}$ )	46.1 ( $\pm 7.6$ )	46.5 ( $\pm 6.8$ )	56.1 ( $\pm 4.4$ ) <sup>§</sup>
14. Knee valgus ( $^{\circ}$ )	2.6 ( $\pm 3.6$ )	-2.0 ( $\pm 4.9$ ) <sup>*</sup>	-2.7 ( $\pm 3.7$ ) <sup>†</sup>
15. Knee rotation ( $^{\circ}$ )	-9.5 ( $\pm 5.7$ ) <sup>*</sup>	-14.6 ( $\pm 6.3$ )	-7.2 ( $\pm 5.7$ )
16. Max KEM during MST (J)	-0.001 ( $\pm 0.026$ )	-0.019 ( $\pm 0.018$ )	0.004 ( $\pm 0.028$ )
17. Max KVM during MST (J)	0.000 ( $\pm 0.049$ )	-0.008 ( $\pm 0.014$ )	-0.026 ( $\pm 0.014$ )
18. Ankle 2 <sup>nd</sup> rocker ( $^{\circ}$ )	16.9 ( $\pm 2.7$ )	17.5 ( $\pm 2.8$ )	15.6 ( $\pm 2.3$ )
19. Ankle 3 <sup>rd</sup> rocker ( $^{\circ}$ )	-5.5 ( $\pm 6.0$ )	-3.9 ( $\pm 5.3$ )	-10.4 ( $\pm 4.5$ ) <sup>§</sup>
20. Push-off moment (J)	1.01 ( $\pm 0.16$ )	1.14 ( $\pm 0.21$ ) <sup>*</sup>	1.10 ( $\pm 0.18$ )
21. 1 <sup>st</sup> peak of v-GRF (J)	1.02 ( $\pm 0.10$ )	1.07 ( $\pm 0.85$ ) <sup>*</sup>	1.08 ( $\pm 0.14$ )
22. 2 <sup>nd</sup> peak of v-GRF (J)	1.03 ( $\pm 0.05$ )	1.05 ( $\pm 0.05$ )	1.01 ( $\pm 0.12$ )

Parameter 1-4 for the linear parameters, 5-7 for the hip and pelvis, 8-17 for the knee, 18-20 for the ankle and 21-22 for the ground reaction force. <sup>\*</sup>, statistical significance between the TKA group and UKA group. <sup>†</sup>, statistical significance between the TKA group and control group. <sup>‡</sup>, statistical significance between the UKA group and control group. <sup>§</sup>, statistical significance between both groups and the control group. Max, maximum; min, minimum; IC, initial contact; LR, loading response; MST, midstance; ISW, initial swing; HEM, hip extensor moment; KEM, knee extensor moment; KVM, Knee varus moment; v-GRF, vertical ground reaction force.

지면 반발력의 감소) 등이며, 이에 대한 보상 기전은 보행 속도와 단하지 지지기의 감소, 관절 안정성을 증가시키기 위한 슬관절 신전근과 굴곡근의 동시 수축, 밸런스를 유지하기 위한 족배 굴곡과 고관절 굴곡 등이 지적되고 있다. 이에 본 연구에서는 분석을 위한 변수로 슬관절염과 관련이 있는 22개의 변수를 설정하여 분석하였으며 (Table 2), UKA군과 TKA군 간의 상관관계는 Independent T-test로 통계 처리하였다. 통계적 유의수준은 95% 신뢰 구간으로 하였다.

## 결 과

### 1. 임상적 및 방사선학적 결과(Table 1)

최종 추시 시 평균 HSS 점수는 UKA군이  $95 \pm 0.95$ 점, TKA군이  $94 \pm 1.60$ 점이었고, WOMAC 점수는 UKA군은  $12.8 \pm 1.03$ 점, TKA군은  $15.3 \pm 1.15$ 점이었다. 양 군간 HSS 점수는 통계학적으로 의미있는 차이가 없었으나 ( $p > 0.05$ ), WOMAC 점수는 UKA군이 TKA군에 비하여 우수하였다( $p < 0.05$ ). 수술 후 평균 굴곡 구축은 UKA군이  $1.0 \pm 1.28^\circ$ , TKA군은  $3.7 \pm 2.31^\circ$ 였고, 수술 전과 비교해 볼 때 각각 UKA군이 평균  $5.25^\circ$ , TKA군이 평균  $8.4^\circ$ 의 굴곡 구축이 개선되었다. 평균 최대 굴곡은 UKA군이  $151.7 \pm 3.26^\circ$ , TKA군은  $147.1 \pm 2.57^\circ$ 였고, 수술 전과 비교해 볼 때 각각 UKA군이 평균  $15^\circ$ , TKA군이 평균  $17.5^\circ$ 의 개선을 보였다. 선호 슬관절은 UKA군은 9예, TKA군은 1예, '좌우간 차이 없음'이 2예였고, 우세 슬관절은 선호 슬관절과 동일하였다. 또한, 전 예에서 쪼그려 앉기 자세가 가능하였으며, 내반 불안정성도 전 예에서 개선되었다.

수술 전 평균 대퇴-경골 각은 UKA군이 내반  $1.9 \pm 4.08^\circ$ , TKA군이 내반  $5.6 \pm 6.27^\circ$ 였고, 수술 후 평균 대

퇴-경골 각은 UKA군은 외반  $4.0 \pm 1.28^\circ$ , TKA군은 외반  $5.8 \pm 0.75^\circ$ 였으며 통계학적인 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). 수술을 통한 UKA군은 평균  $5.5^\circ$ , TKA군은 평균  $10.5^\circ$ 의 변형 교정이 되었으며 이는 양 군간 통계학적인 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).

## 2. 보행분석 결과

### 1) 보행 선형 지수(Parameter 1-4 of Table 2)

UKA군과 TKA군의 보행 선형 지수를 측정하여 정상 대조군과 비교하였다(Table 2). 보행 속도(walking speed)는 양 군의 평균치가 정상 대조군의 평균치에 미치지 못하였지만( $p < 0.05$ ), 일반적으로 받아들여지는 보행 속도의 평균값에는 도달되었다.<sup>8)</sup> 분속수(cadence)는 대상 환자군이 105.2 (steps/min), 정상 대조군이 117.1 (steps/min)로 100 (steps/min) 이상 측정되어 대상 환자군과 정상 대조군 사이에 특별한 이상이 없는 것으로 나타났다. 통계학적으로는 의미 있는 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). Chung 등<sup>8)</sup>의 정상 한국인 보행의 표준치 중 해당 연령 군의 표준치와 비교해 볼 때 정상인에 비하여 보행 속도가 다소 감소되었으며, 이는 수술 후 분속수(cadence)는 정상에 가깝게 회복되었지만, 활보장(stride length)이 정상에 미치지 못하여 보행 속도가 적게 회복된 것으로 나타났다.

### 2) 운동 형상학 및 운동 역학

#### (1) 골반 및 고관절(Parameter 5-7 of Table 2)(Fig. 1, 2)

양 군 모두에서 수술 후 골반의 운동 형상학과 운동 역학은 정상화되었다. 즉, 관상면, 시상면, 횡단면에서 골반 움직임은 정상적인 사인 파를 보였다(Fig. 2). 골반 전 경사가 수술 전 및 동일 연령 정상 대조군의 평균 치와

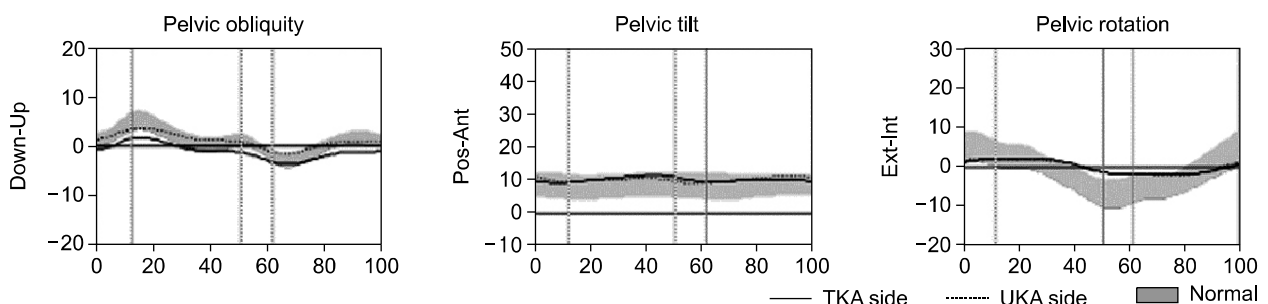
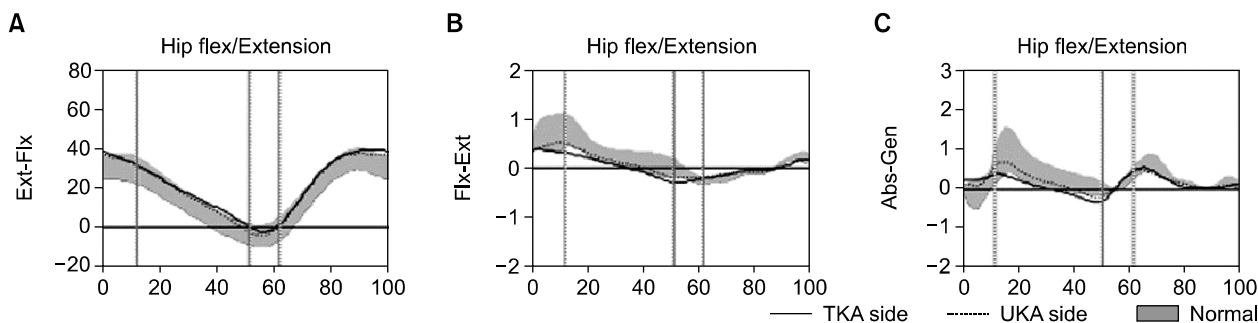
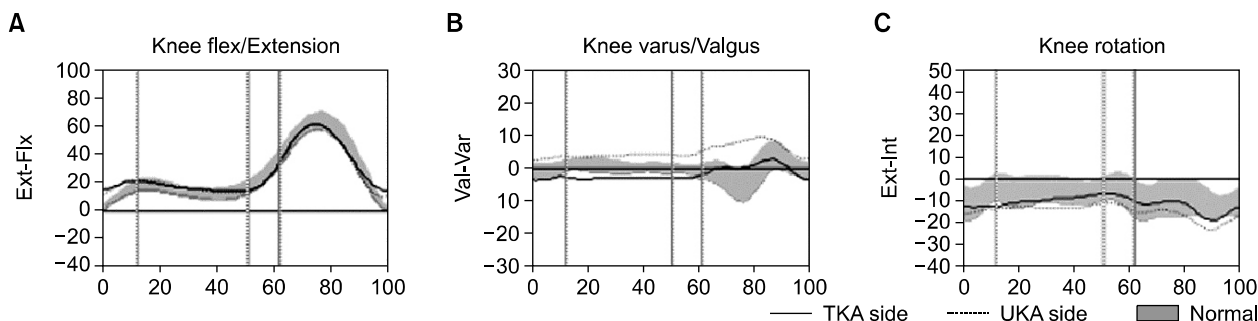


Fig. 1. Pelvic kinematics of the UKA and TKA groups. The pelvic motions of both groups showed a normal sinusoidal pattern.



**Fig. 2.** Kinematic and kinetic results of the hip joint in the sagittal plane. The hip motion in the sagittal plane (A) were normalized in both UKA and TKA groups. The amount of extensor moment (B) and power generation (C) at the loading response were still less than those in the normal control group.



**Fig. 3.** Knee joint kinematics of the UKA and TKA group. The knee joints of the UKA and TKA groups were not fully extended at the initial contact compared with the normal control group, but rather flexed about 14° (A). Knee joint alignment in the coronal plane was corrected in the TKA group (B). The knee joint of the UKA group still shows slight varus alignment (B). Tibial external torsion was well corrected in the TKA side than in the UKA side (C).

비교하여 통계학적으로 유의하게 감소하였다( $p < 0.05$ ). 고관절 굴곡의 정도는 정상화되었다. 퇴행성 슬관절염 환자는 시상면에서 고관절이 굴곡된 자세로 보행을 하므로 고관절 신전 모우먼트(internal hip extension moment)가 과도하게 걸리는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 수술 후 UKA군이나 TKA군의 고관절 신전 모우먼트는 양 군간 통계학적인 차이는 없었으나( $p > 0.05$ ), 정상 대조군과 TKA군과는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

## (2) 슬관절(Parameter 8-17 of Table 2)(Fig. 3)

초기 입각기에 슬관절 굴곡 정도는 TKA군이 평균 14.7°, UKA군이 평균 12.8°로 양 군간 유사하였으나( $p > 0.05$ ), 정상 대조군의 슬관절 굴곡 정도 8.8°와 비교할 때 양군 모두 초기 입각기에 굴곡위를 보였다( $p < 0.05$ ). 하중 반응기의 슬관절의 굴곡 정도는 UKA군이 평균 23.5°, TKA군이 평균 22.2° ( $p > 0.05$ )이었으며,

중간 입각기에 슬관절의 신전은 TKA군이 평균 15.9°, UKA군이 평균 16.5° ( $p > 0.05$ )이었다. 초기 입각기와 하중 반응기 사이의 슬관절 운동 범위는 TKA군이 평균 8.1°로 UKA군(10.9°)에 비해 유의하게 감소되어 있었고( $p < 0.05$ ), 또한 양군 모두 정상 대조군(15.5°)에 비하여 유의하게 감소되어 있었다( $p < 0.05$ ). 초기 유각기의 슬관절 굴곡(peak knee flexion)은 TKA군과 UKA군 모두 평균 59.0°, 59.8°로 거의 비슷하였지만( $p > 0.05$ ), 정상 대조군(67.1°)에 비하여는 감소되어 있었다( $p < 0.05$ ). 중간 입각기의 슬관절 내-외반 각도는 TKA군이 평균 외반 2.6°, UKA군이 평균 내반 2.0°였으며, 양 군간 통계학적으로 유의하게 TKA군에서 내반 변형의 교정 정도가 좋았다( $p < 0.05$ ). 중간 입각기에 슬관절 최대 신전 모우먼트와 슬관절 내반 모우먼트는 UKA군과 TKA군 모두에서 정상화되었으며, 정상 대조군과 통계적 유의성을 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). 횡단면상에서 슬관절 회전(정골 염전)은 TKA군이 9.5°로 UKA군의 14.6°에 비하여

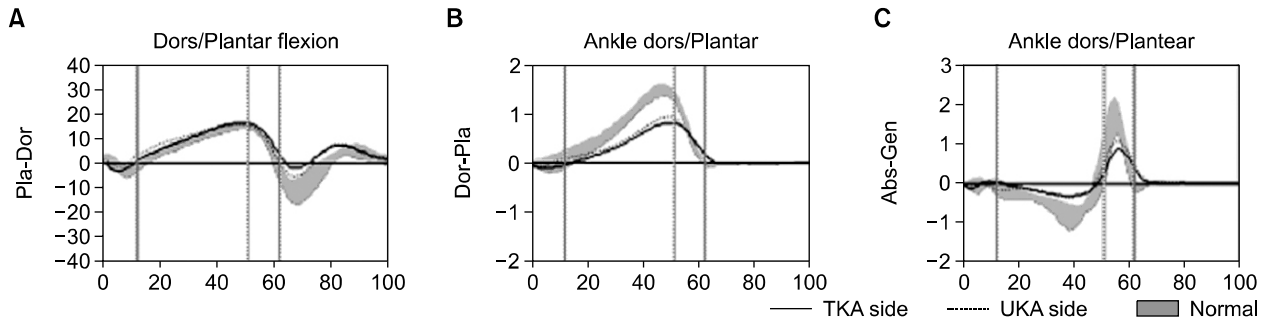


Fig. 4. Kinematic and kinetic results of the ankle joint in the sagittal plane. The first and second rockers were quite similar in the three groups, but the third rockers of the UKA and TKA group were less than the normal control group (A). The ankle push off moment (B) and power generation (C) of TKA group were  $\leq$ UKA group.

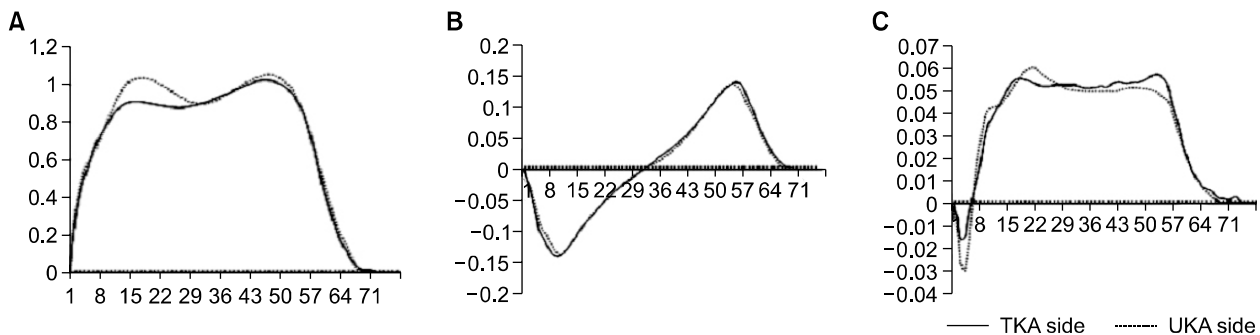


Fig. 5. Ground Reaction Force (GRF) of the UKA and TKA groups. The vertical GRF (A) showed two peaks during the loading response and push-off period. The first peak of the vertical GRF was almost normalized in the UKA side. The second peak of the vertical GRF was similar in both groups.

정상에 가깝게 교정된 것을 보였다( $p < 0.05$ ).

### (3) 족관절(Parameter 18–20 of Table 2)(Fig. 4)

시상면상에서의 족관절의 입각기 최대 족배 굴곡(제 2차 호(2<sup>nd</sup> rocker))은 세 군간에 유사하였다. 입각기 최대 족저 굴곡(제 3차 호(3<sup>rd</sup> rocker))은 TKA군( $-5.5^\circ$ )과 UKA군( $-3.9^\circ$ ) 모두에서 족저 굴곡의 정도가 정상 대조군( $-10.4^\circ$ )에는 미치지 못했다( $p < 0.05$ ). 운동 역학 그래프 상에서 발들림(push-off) 모우먼트는 양 군간 통계학적 차이가 있었으며( $p < 0.05$ ), UKA군이 정상 대조군에 가까운 결과를 보였다.

### (4) 수직 지면 반발력(Parameter 21–22 of Table 2)(Fig. 5)

수직 지면 반발력은 입각기 동안 두 번의 봉우리를 보이는데, 제1차 봉우리(1<sup>st</sup> peak of vertical GRF)는 하중 반응기(loading response)에, 제2차 봉우리(2<sup>nd</sup> peak of vertical GRF)는 발들림기(push-off)에 나타난다. 수직

지면 반발력의 1차 봉우리는 UKA군(1.1)에서 TKA군(0.9)에 비하여 더욱 정상에 가까운 결과를 보였다( $p < 0.05$ ). 제2차 봉우리는 세 군간에 유사하게 측정되었다.

## 고 찰

퇴행성 슬관절염이 단일 구획에만 제한된 경우 이환된 구획만을 치환하는 단일 구획 치환술이 수술적 적응이 될 수 있다<sup>2,13</sup>. 슬관절의 내, 외측 모두를 치환하는 전 치환술에 비해 단일 구획 치환술은 환자들의 골 변형과 연부 조직의 구축이 상대적으로 덜 심하므로 수술 도중 뼈의 절제나 연부 조직의 유리술 면에서 수술의 범위가 적고, 전방 십자 인대 등의 지지 구조물을 유지할 수 있다. 많은 저자들이 수술 후 임상적인 비교에서 단일 구획 치환술이 전 치환술에 비하여 양호하다고 보고하고 있다<sup>2,6,26</sup>. Laurencin 등<sup>18</sup>)은 임상적으로 수술 후 최대 굴곡이 UKA군은  $123^\circ$ , TKA군은  $110^\circ$ , 선회 슬관절은 UKA군 44%, TKA군 12%를 보였다고 보고하였다. 본

연구에서는 굴곡 구축은 양 군에서 거의 교정되었고, 최대 굴곡은 Laurencin 등<sup>18)</sup>의 보고와 같이 UKA군에서 좀 더 좋은 결과를 보였다. 선호 슬관절과 우세 슬관절의 평가에서도 UKA군에서 75% (9예)로 TKA군보다 많았다.

슬관절 전 치환술 후 환자는 보행 능력의 회복이라는 측면에서 일반적으로 좋은 결과를 보이는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서 TKA군과 UKA군 모두에서 수술 후 정상에 가까운 보행 양상을 보였다(Table 2). 그러나 Murray 등<sup>21)</sup>, Skinner 등<sup>27)</sup>, Collopy 등<sup>9)</sup>과 Olsson과 Barck<sup>22)</sup>는 슬관절 전 치환술 후 보행 능력은 향상되었지만, 그 형태는 정상 보행과는 일정 부분 다르다고 보고하였다. 정상 보행의 형태에 비하여 활보장(stride)이 작고, 입각기에 슬관절 굴곡의 감소, 슬관절 굴곡-신전 모우먼트 값의 비정상적인 보행 패턴을 보인다고 알려져 있다<sup>12,21)</sup>. 본 연구에서도 인공 슬관절 치환술 후 이와 유사한 보행 패턴을 보였으나, 모우먼트 값은 정상과 유사하게 측정되었다.

Mattsson 등<sup>20)</sup>에 의하면 UKA 후 보행 속도(walking speed)가 향상되며, 그 정도는 수술 후 치료 척도(parameters)로도 이용될 수 있다고 보고하였다. Mattsson 등<sup>20)</sup>, Weidenhielm 등<sup>29)</sup>은 단일 구획 치환술 후 보행 속도, 단일 하지 지지(single limb support), 보장(step length)은 증가하는 것으로 보고하였다. 이러한 보고는 수술 전과 후를 비교한 것으로, 본 연구에서 이에 대한 조사는 제외되었다. 수술 후 환자들은 단일 하지 지지 등 많은 지표가 정상화되었지만, 활보장은 정상보다 짧았고(UKA 93%, TKA 90%), 이로 인해 보행 속도는 정상의 84% 정도이었다. 활보장이 여전히 짧은 것은 수술 후 잔여 변형으로서의 슬관절 굴곡 구축과 연관이 있으리라 사료된다.

시상면상의 운동 형상학적인 측면에서 퇴행성 슬관절염 환자는 고관절 굴곡, 슬관절 굴곡, 족관절 과도 배굴(hyper-dorsiflexion)이라는 엉거주춤한 자세(crouching position)가 특징적이다<sup>14)</sup>. 본 연구에서 TKA 군과 UKA군 모두에서 입각기의 골반 전 경사, 고관절 굴곡, 슬관절 굴곡 구축, 족관절의 제2호(second rocker)가 호전되어 중간 입각기에는 곧은 자세를 보여 정상 대조군과 비교하여 많은 변수에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 통계적 차이를 보인 것은 네 가지였는

데, 첫째는 TKA군과 UKA군 모두에서 대조군에 비교하여 초기 입각기에 슬관절이 굴곡 경향을 보였다. 이는 잔여 굴곡 구축이 보행 동안에 불리하게 작용함을 단적으로 보여준 것이다. 둘째는 TKA군이 UKA군에 비교하여 초기 입각기-하중 반응기 간의 관절 운동 범위가 적었다는 점이다. 이 기간은 체중 흡수기(weight acceptance)에 해당되며, 이 구간 동안 스프링과 같이 약간의 굴곡을 통해 충격을 흡수한다. 여러 저자들은 슬관절 전 치환술 후 하중 반응기에 적절한 슬관절 굴곡을 하지 못한다고 하였다<sup>7,23)</sup>. 본 연구에서도 하중 반응기에 TKA군이 UKA군에 비하여 덜 굴곡한 것으로 나타났다. 이에 대한 설명으로 Dorr 등<sup>11)</sup>은 정상 연골면 간의 마찰 계수 보다, 수술로 삽입된 금속과 플라스틱 사이의 마찰 계수가 더 크고, 수술 전 동통으로 인한 경직된 슬관절 보행(stiff knee gait)이 슬관절화된 때문이라고 하였다. 반면에 다른 저자들은 대퇴사두근의 필요를 감소 또는 회피하려는 현상 즉, 대퇴사두근 회피 현상(quadriceps avoidance pattern)때문이라고 하였다<sup>1,6)</sup>. 셋째는 유각기의 슬관절 최대 굴곡(peak knee flexion)의 정도로, 양측 슬관절염 환자를 대상으로 김<sup>16)</sup>의 연구 결과(49°)에 비하여 상당 부분 회복되었지만, 정상 대조군에 비하여는 감소되어 있었다. Webster 등<sup>28)</sup>은 단일 구획 치환술 후 12명 환자 중 8명에서 정상적인 슬관절 굴곡이 회복됨을 보고 하였다. 좀 더 장기 추시 후에 굴곡의 정도가 회복 되는지 여부는 앞으로의 과제라고 할 수 있겠다. 넷째는 골반 전 경사각으로 수술 후 평균 9°로 정상 대조군의 14.5°보다 감소하여, 20대 중반의 한국인 평균치와 유사하였다<sup>8)</sup>.

골 변형의 교정이라는 측면에서 관상면 상에서 슬관절의 내반 정렬과 횡단면 상에서의 경골 염전에 대한 교정은 TKA군에서 더욱 정상적으로 교정되었다( $p < 0.05$ ). 이는 수술의 범위와 밀접한 연관이 있으리라 추정된다. 전 치환술의 경우 수술자의 술기에 따라 골과 연부 조직의 완벽한 교정이 가능한데 반해, 단일 구획 치환술의 경우에는 슬관절의 내측 구획만을 치환하므로 완전한 의미의 교정 절골술을 시행 하는데 제한이 따른다. 이러한 잔여 골 변형, 특히 단일 구획 치환술 후 내반 변형이 남아 있는 경우, 보행 도중 외적 내반 모우먼트가 걸려 인공 관절의 수명에 좋지 않은 영향을 줄 수 있으므로, 잔존하는 내반 변형이 인공 관절의 수명에 어떠한 영향을 주는가에 대하여는 장기 추시가 필요하리라 사료된다.

운동 역학적 측면에서 하중 부하기의 수직 지면 반발력, 초기 입각기에 고관절 신전 힘 생성, 말기 입각기 시 족관절 발들림(push-off) 힘 등은 UKA군에서 더 대조군과 유사한 결과 보였다. 이런 결과가 의미하는 것은 좀 더 나은 입각기의 안정성(수직 지면 반발력)과 전방 추진력(힘 생산 근육—고관절 신전근, 족저 굴곡근)의 제공이라고 할 수 있다. UKA군에서 운동 역학적인 면에서 좀 더 나은 이유는 전술한 운동 형상학적 이유와 많은 인체 조직을 보존하였다는 이유 외에도, 관절염의 이환 정도가 덜 하기 때문에, 슬관절 자체와 근육 등의 주변 구조물이 좀 더 건강한 상태에서 수술이 시행되었다는 점도 중요한 이유가 될 수 있을 것으로 사료된다.

UKA군과 TKA군의 비교 연구를 통해 밝혀진 것은, 수술 후 UKA군이 관상면 상에서의 병적 내반 변형의 교정은 조금 덜 되었지만, 시상면 상에서의 슬관절 굴곡—신전이나, 운동 역학적 분석에서 좀 더 정상 보행에 접근되어 있었다는 점이다. 이러한 결과를 보인 데는 여러 가지 이유가 있을 수 있다. Barrett 등<sup>3)</sup>은 골관절염의 진행 정도에 따라 위치 감각(proprioception)이 소실된다고 하였는데, UKA군은 보존된 골 및 인대 조직 등으로 위치 감각의 훼손이 적다고 사료된다. Dennis 등<sup>10)</sup>은 정상 슬관절 역학에서 전방 십자인대가 중요한 역할을 한다고 보고하였으며, 그 외 여러 저자들은 단일 구획 치환술 후 십자인대 보존으로 더욱 정상에 가까운 기능을 할 것으로 보고하였다<sup>6,25)</sup>.

## 결 론

만성 퇴행성 관절염으로 수술적 치료를 받은 환자에서 단일 구획 치환술과 전 치환술 후 보행의 양상이 정상에 가까운 회복을 보였다. 골 변형 교정이라는 측면에서 대퇴—경골 각의 교정과 슬관절 염전 교정은 슬관절 전 치환술을 받은 군에서 더욱 정상적인 정렬을 보였다. 그러나 기능적인 면에서 시상면 상에서 하중 반응기의 슬관절 굴곡의 정도와 수직 지면 반발력, 초기 입각기의 고관절 신전 모우먼트 등에서 단일 구획 치환술이 더욱 정상에 가까운 회복을 보였다. 본 연구가 수술 후 추시 기간이 1년여 정도로 단기 연구의 한계를 가지고 있으며, 향후 장기적인 회복 정도에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

## 참고문헌

1. Andriacchi TP: Functional analysis of pre and post-knee surgery: total knee arthroplasty and ACL reconstruction. *J Biomech Eng*, 115: 575-581, 1993.
2. Argenson JN, Chevrol-Benkeddache Y, Aubaniac JM: Modern unicompartamental knee arthroplasty with cement: a three to ten-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*, 84: 2235-2239, 2002.
3. Barrett DS, Cobb AG, Bentley G: Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg Br*, 73: 53-56, 1991.
4. Berman AT, Zarro VJ, Bosacco SJ, Israelite C: Quantitative gait analysis after unilateral or bilateral total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am*, 69: 1340-1345, 1987.
5. Cameron HU, Jung YB: A comparison of unicompartamental knee replacement with total knee replacement. *Orthop Rev*, 17: 983-988, 1988.
6. Chassin EP, Mikosz RP, Andriacchi TP, Rosenberg AG: Functional analysis of cemented medial unicompartamental knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 11: 553-559, 1996.
7. Chung CY, Seong SC, Lee MC, Moon YW, Kim TG, Lim ST: Gait analysis after total knee arthroplasty. *J Korean Orthop Assoc*, 32: 1290-1301, 1997.
8. Chung CY, Park MS, Choi IH, Cho TJ, Yoo WJ, Kim JY: Three dimensional gait analysis in normal Korean: a preliminary report. *J Korean Orthop Assoc*, 40: 83-88, 2005.
9. Collopy MC, Murray MP, Gardenr GM, DiUlio RA, Gore DR: Kinesiologic measurements of functional performance before and after geometric total knee replacement: one-year follow-up of twenty cases. *Clin Orthop Relat Res*, 126: 196-202, 1977.
10. Dennis D, Komistek R, Scuderi G, et al: In vivo three-dimensional determination of kinematics for subjects with a normal knee or a unicompartamental or total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am*, 83(Suppl 2 Pt 2): 104-115, 2001.
11. Dorr LD, Ochsner JL, Gronley J, Perry J: Functional comparison of posterior cruciate-retained versus cruciate-sacrificed total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 236: 36-43, 1988.
12. Ferkul D, Peat M, Woodbury MG: Changes in temporal characteristics and knee joint angles in total knee arthroplasty patients. *Physiotherapy Canada*, 34: 313-318, 1982.

1. Andriacchi TP: Functional analysis of pre and post-knee



13. **Insall J, Walker P:** Unicdylar knee replacement. *Clin Orthop Relat Res*, 120: 83-85, 1976.
14. **Kaufman KR, Hughes C, Morrey BF, Morrey M, An KN:** Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis. *J Biomech*, 34: 907-915, 2001.
15. **Kettelkamp DB, Nascia R:** Biomechanics and knee replacement arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 94: 8-14, 1973.
16. **Kim HY:** Gait Analysis of the Patients with Degenerative Arthritis in the Bilateral Knee Joints. Dissertation of Doctor's degree, Graduate School of Medicine, WonKwang University, 2006.
17. **Laskin RS:** Unicompartmental tibiofemoral resurfacing arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*, 60: 182-185, 1978.
18. **Laurencin CT, Zelicof SB, Scott RD, Ewald FC:** Unicompartmental versus total knee arthroplasty in the same patient. A comparative study. *Clin Orthop Relat Res*, 273: 151-156, 1991.
19. **Marmor L:** Unicompartmental arthroplasty of the knee with a minimum ten-year follow-up period. *Clin Orthop Relat Res*, 228: 171-177, 1988.
20. **Mattsson E, Olsson E, Brostrom LA:** Assessment of walking before and after unicompartmental knee arthroplasty. A comparison of different methods. *Scand J Rehabil Med*, 22: 45-50, 1990.
21. **Murray MP, Gore DR, Laney WH, Gardner GM, Mollinger LA:** Kinesiologic measurements of functional performance before and after double compartment Marmor knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 173: 191-199, 1983.
22. **Olsson E, Barck A:** Correlation between clinical examination and quantitative gait analysis in patients operated upon with the Gunston-Hult knee prosthesis. *Scand J Rehabil Med*, 18: 101-106, 1986.
23. **Otsuki T, Nawata K, Okuno M:** Quantitative evaluation of gait pattern in patients with osteoarthritis of the knee before and after total knee arthroplasty. Gait analysis using a pressure measuring system. *J Orthop Sci*, 4: 99-105, 1999.
24. **Padgett DE, Stern SH, Insall JN:** Revision total knee arthroplasty for failed unicompartmental replacement. *J Bone Joint Surg Am*, 73: 186-190, 1991.
25. **Patil S, Colwell CW, Ezzet KA, D'Lima DD:** Can normal knee kinematics be restored with unicompartmental knee replacement? *J Bone Joint Surg Am*, 87: 332-338, 2005.
26. **Scott RD, Cobb AG, McQueary FG, Thornhill TS:** Unicompartmental knee arthroplasty. Eight- to 12-year follow-up evaluation with survivorship analysis. *Clin Orthop Relat Res*, 271: 96-100, 1991.
27. **Skinner HB, Barrack RL, Cook SD, Haddad RJ Jr:** Ambulatory function in total knee arthroplasty. *South Med J*, 76: 1237-1240, 1983.
28. **Webster KE, Wittwer JE, Feller JA:** Quantitative gait analysis after medial unicompartmental knee arthroplasty for osteoarthritis. *J Arthroplasty*, 18: 751-759, 2003.
29. **Weidenhielm L, Olsson E, Broström LA, Börjesson-Hederström M, Mattsson E:** Improvement in gait one year after surgery for knee osteoarthritis: a comparison between high tibial osteotomy and prosthetic replacement in a prospective randomized study. *Scand J Rehabil Med*, 25: 25-31, 1993.

**= 국문초록 =**

**목 적:** 동일 환자에서 시행한 슬관절 단일 구획 치환술(UKA)과 전 치환술(TKA) 후 보행을 비교하고자 하였다.

**대상 및 방법:** 동일 환자에서 슬관절 전 치환술과 단일 구획 치환술을 받은 12예를 대상으로 하였다. 평균 연령은 70.3세(64-74)였다. 보행 분석은 슬관절 전 치환술 후 평균 14.6개월, 단일 구획 치환술 후 11.8개월에 시행하였다. 임상적, 방사선 평가 및 3차원 보행 분석을 시행하였다. 비슷한 연령대의 여자 7예를 대조군으로 하였다.

**결 과:** 양 군 모두 임상적, 방사선학적으로 호전되었다. 보행 속도, 골반 경사, 초기 입각기의 슬관절 굴곡, 최대 슬관절 굴곡, 초기 입각기에서 하중 반응기 사이의 슬관절 운동 범위와 중간 입각기에서 초기 유각기 사이의 슬관절 운동 범위 및 족관절의 3호 족저 굴곡을 제외하고 양 군에서 정상 보행 형태를 보였다. 시상면상 초기 입각기에서 양 군의 슬관절 굴곡 정도가 유사했으나 정상 대조군과 차이가 있었으며, 하중 반응기에서는 양 군과 정상 대조군 간에 차이는 거의 없었다. 운동 역학에서 말기 입각기의 발들림 모우먼트, 하중 반응기의 수직 지면 반발력, 초기 입각기의 고관절 신전 모우먼트 및 힘 값에서 UKA군이 정상에 가까운 결과를 보였다.

**결 론:** 단일 구획 치환술과 전 치환술 후 보행 양상은 정상에 가깝게 회복되었다. 골 변형 교정은 전 치환술을 시행 받은 군에서 더욱 정상적인 정렬을 보였으며, 운동 역학적으로는 지면 반발력 등의 측면에서 UKA군이 더욱 정상에 가깝게 회복되었다.

**색인 단어:** 슬관절, 퇴행성 관절염, 보행 분석, 전 치환술, 단일 구획 치환술