



# 불유합의 위험 인자를 가진 족관절 병변에 시행한 족관절 유합술로서 Ilizarov 외고정 기구 장착술 및 자가골 이식술의 유용성

이용식, 남일현, 이태훈, 안길영, 이영현, 이희형, 황성현

포항성모병원 정형외과

## Efficacy of Ilizarov External Fixation and Autologous Bone Grafting for Performing Arthrodesis on the Ankle Arthropathy with Risk Factors

Yong-Sik Lee, Il-Hyun Nam, Tae-Hun Lee, Gil-Yeong Ahn,  
Yeong-Hyeon Lee, Hee-Hyung Lee, Sung-Hyun Hwang

Department of Orthopedic Surgery, Pohang St. Mary's Hospital, Pohang, Korea

**Purpose:** The aim of this study is to evaluate if the Ilizarov external fixation procedure with axial compression can help to obtain fusion across the ankle joint in patients with a high risk of nonunion.

**Materials and Methods:** From January 2006 to December 2015, the study reviewed 17 patients who underwent ankle arthropathy with a high risk of nonunion and who underwent ankle fusion using the Ilizarov external fixator with axial compression and auto bone grafting. After the lateral surface of the ankle joint was exposed through a lateral trans-fibular approach, massive removal of the articular cartilage and excision of any loose or avascular bone were done. With the cortical bone harvested from the pelvis as corticocancellous bone blocks, we inserted the two cortical blocks longitudinally into the anterior and posterior part of the free ankle space from lateral to medial to make the rectangular chamber to fill the cancellous bones. After the Ilizarov external fixator was equipped, we tightened the frame by 5 mm to compress the bone graft space. We accessed the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Ankle-Hindfoot score both preoperatively and postoperatively.

**Results:** The average age at the time of operation was 63.4 years (range, 47~78 years). The mean frame time was 17.4 weeks (range, 15~23 weeks). The average follow-up period was 3.7 years (range, 2~6 years). Osseous fusion was obtained in 15 patients (88.2%). There were two stable pseudarthroses among the rheumatoid arthritis patients, and we continued their follow-up. The mean AOFAS Ankle-Hindfoot score improved from 48.5 to 73.7 points.

**Conclusion:** Ankle arthrodesis using the Ilizarov external fixation with axial compression and auto bone grafting on the ankle arthropathy that had difficult conditions to achieve union is considered one of the useful methods with a correspondingly low incidence of complications.

**Key Words:** Ankle arthropathy, Ilizarov technique, Ankle arthrodesis

## 서론

Received October 14, 2019 Revised November 21, 2019 Accepted November 25, 2019

Corresponding Author: Il-Hyun Nam

Department of Orthopedic Surgery, Pohang St. Mary's Hospital, 17 Daejamdong-gil, Nam-gu, Pohang 37661, Korea

Tel: 82-54-260-8140, Fax: 82-54-260-8010, E-mail: nammd60@hanmail.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1048-9084>

Financial support: None.

Conflict of interest: None.

경골 거골 간 관절의 유합술은 족관절 퇴행성 관절염의 말기 치료에 유용한 방법이다. 류마티스 관절염, 당뇨병에 의한 신경병성 관절염 및 거골의 골괴사증 등으로 인한 불유합의 위험 인자를 가진 족관절 병변에 대한 관절 유합술은 여러 가지 고정 방법의 발전에도 불구하고 완벽한 관절의 유합을 얻기가 상당히 어렵다. 이에 저자들은 이

러한 기존 질환의 불유합의 위험 인자를 가진 환자들에서 자가골 이식술과 함께 시행한 Ilizarov 외고정 기구 장착술을 이용한 족관절 유합술의 유용성에 대한 연구를 문헌 고찰과 함께 보고한다.

## 대상 및 방법

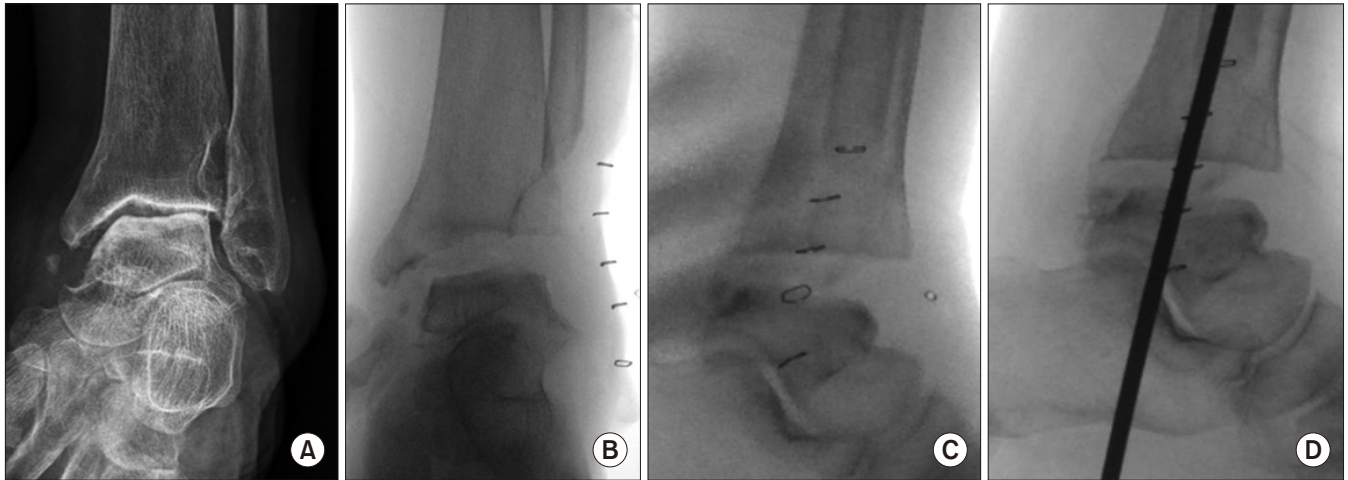
2006년 1월부터 2015년 12월까지 류마티스 관절염, 당뇨병에 의한 신경병성 관절염 및 거골의 골괴사증 등으로 인해 족관절 유합술에 대한 불유합의 위험 인자를 가진 족관절 병변 환자를 대상으로 자가골 이식술을 동반한 Ilizarov 외고정 기구를 이용하여 족관절 유합술을 시행하였던 환자 중 2년 이상 추시가 가능하였던 17예를 대상으로 하였다. 류마티스 관절염 9예, 당뇨병에 의한 신경병성 관절 7예 및 거골의 골괴사증 1예였다. 남자가 10예, 여자가 7예였다. 수술 당시 환자의 평균 연령은 63.4세(47~78세)였으며 평균 추시 기간은 3.7년(2~6년)이었다(Table 1). 수술 방법으로는 환자를 측와위 상태로 후상 장골극에서 이식골을 충분히 얻은 후 측와위 상태를 유지하며 족관절 외측 비골 도달법을 이용하여 비골의 원위 1/3 정도에서 족관절 외과를 따라 원위 비골 말단부까지 약 10 cm가량의 종 절개선을 넣고 비골을 노출시킨 후 족관절의 5~6 cm 근위부에서 경사지게 비골을 절골하고 원위 경비 인대를 절단하여 비골의 원위부를 완전히 제거하였다. 외측으로부터 족관절에 도달한 후 족관절의 경골 원위 관절면 및 거골 상단의 관절면에서 골수의 출혈이 보일 때까지 경화된 연골하골을 충분히 제거하였으며 그 결과 관절 간

격 및 공간을 평균 2.5 cm (2~3 cm)로 만들게 되었다(Fig. 1). 3.2 mm drill bit를 사용하여 거골 및 경골 절단면에 가능한 한 천공을 많이 하여 골수의 출혈을 유도하였다(Fig. 2). 족관절 굴곡 0도, 후족부 외반 5도 및 전족부 외회전 5도를 적절한 족관절 유합 위치로 설정하였으며 전족부의 만족스러운 위치를 확인한 다음 발바닥에서부터 종골과 거골 및 경골을 관통하는 Steinman 핀을 일시적으로 삽입하였다(Fig. 1D). 자가 피질골 및 해면골을 이용하여 가로 세로 3 cm×4 cm 두께, 0.5 cm 크기의 두 개의 피질골편을 만들어 경골 원위 절단면 및 거골 상단의 절단면의 전방 및 후방 부위에 각각 5 mm 가량의 외측에서 내측으로 향하는 가로의 홈을 만들고 미리 만들어 둔 피질골편을 외측에서 내측으로 서로 평행하게 삽입하여 높이 약 2 cm, 앞 뒤 길이 약 2.5 cm 가량의 공간을 만들었다(Fig. 3). 이 공간에 미리 채취한 자가 해면골을 충분히 삽입하였다(Fig. 4). 창상 봉합 후 환자를 다시 양와위 자세로 변경하고 경골 원위부에 두 개의 Ilizarov 외고정 기구 링을 장착하였으며 족부 중족골에는 횡으로 한 개의 강선을, 종골에는 X자로 교차하게 2개의 강선을 삽입하여 발 전체에 개방성 링을 설치한 후 이 링과 두 개의 경골 원위부 링을 서로 견고하게 연결하였다. 외고정 기구를 장착한 다음 경골 원위부의 링과 족부의 링 사이의 거리를 평균 5 mm 정도 단축시켜 골 이식부를 종적으로 압박시켰다(Fig. 5). 압박 시행 후 cortical bone breakage는 경험하지 않았다. 외고정 기구의 안정성 유지 및 족관절의 고정을 위해 서로의 링 사이를 연결하는 추가적인 rod를 설치하였다. 전례의 환자에게 외고정 기구 장착 1주일부터 목발 사용하

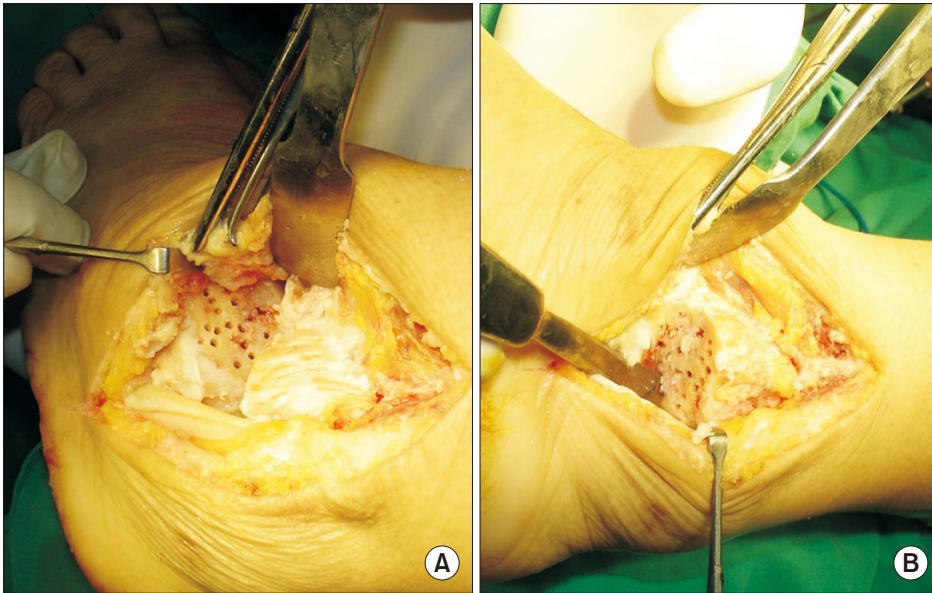
**Table 1.** Patient Group

Case	Age (yr)	Sex	Diagnosis	Follow-up (yr)	Duration of external fixation (wk)	Time to fusion (wk)	Complications	AOFAS Ankle-Hindfoot score	
								Pre	Post
1	59	Female	Rheumatoid arthritis	2	23	20	Superficial infection	48	75
2	66	Female	Rheumatoid arthritis	3	15	Pseudoarthrosis	Superficial infection	30	68
3	70	Female	Rheumatoid arthritis	6	19	22	Superficial infection	53	73
4	72	Male	Rheumatoid arthritis	3	19	23	Superficial infection	37	76
5	47	Female	Rheumatoid arthritis	6	15	Pseudoarthrosis	Superficial infection	35	62
6	72	Male	Rheumatoid arthritis	2	16	21	Superficial infection	56	76
7	78	Male	Rheumatoid arthritis	4	15	20	Superficial infection	44	77
8	65	Female	Rheumatoid arthritis	2	20	31	Superficial infection	66	73
9	63	Female	Rheumatoid arthritis	2	19	21	Superficial infection	70	72
10	66	Male	Neuropathic arthropathy	6	15	23	Superficial infection	55	77
11	63	Male	Neuropathic arthropathy	3	18	23	Pin breakage	48	73
12	74	Female	Neuropathic arthropathy	4	17	23	Superficial infection	47	75
13	57	Male	Neuropathic arthropathy	3	21	24	Superficial infection	43	76
14	57	Male	Neuropathic arthropathy	5	17	19	Superficial infection	40	75
15	65	Male	Neuropathic arthropathy	6	15	26	Pin breakage	52	70
16	51	Male	Neuropathic arthropathy	3	18	20	Superficial infection	48	77
17	53	Male	Osteonecrosis of talus	3	14	38	Superficial infection	53	78
Average	63.4			3.7	17.4	23.6		48.5	73.7

AOFAS: American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Pre: preoperative, Post: postoperative.



**Figure 1.** (A) The left ankle of a 78-year-old female with rheumatoid arthritis shows marked secondary arthritis. (B, C) Articular cartilage and sclerotic avascular bone around the ankle joint were massively removed. (D) Temporary fixation through the calcaneus, talus, and tibia was done using a Steinman pin.



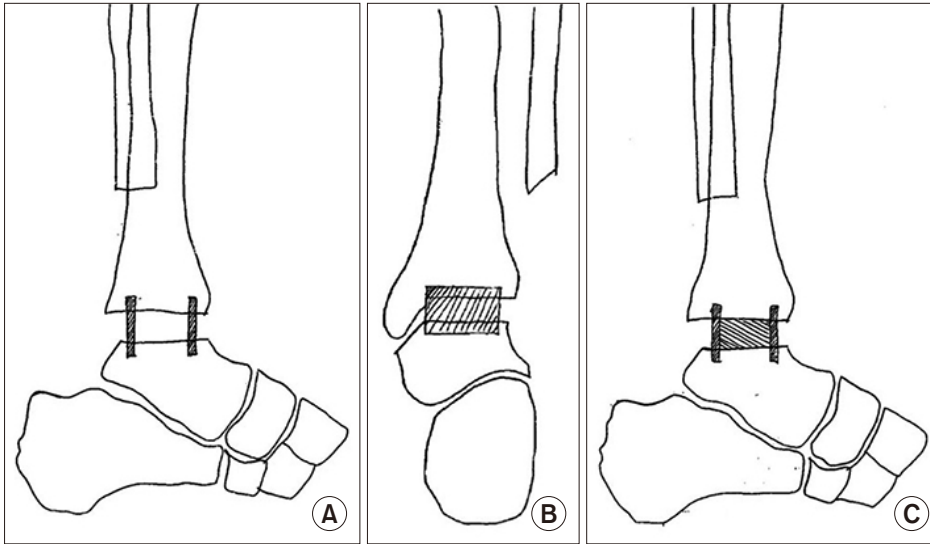
**Figure 2.** Multiple drilling was done on both talar (A) and distal tibial surface (B).

에 부분 체중부하를 시작하였다. 수술 후 2주일 간격으로 방사선 촬영을 시행하였으며 방사선 소견상 골유합 소견이 보이면 외고정 기구의 고정을 이완시켜 C-arm 촬영하에 족관절 유합 부위의 운동이 없음을 확인한 후 외고정 기구를 제거하였다. 그 후 상당 기간(평균 9.2주) 동안 단하지 보조기 착용을 시행하였다. 임상적 평가 방법으로는 American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS)의 발목-후족부 기능 평가 지수(Ankle-Hinfoot score)를 이용하여 술 전 및 최종 추시 시 측정하여 평가하였다. 본 연구는 포항성모병원 임상연구윤리위원회(Institutional Review Board)로부터 승인을 받았다.

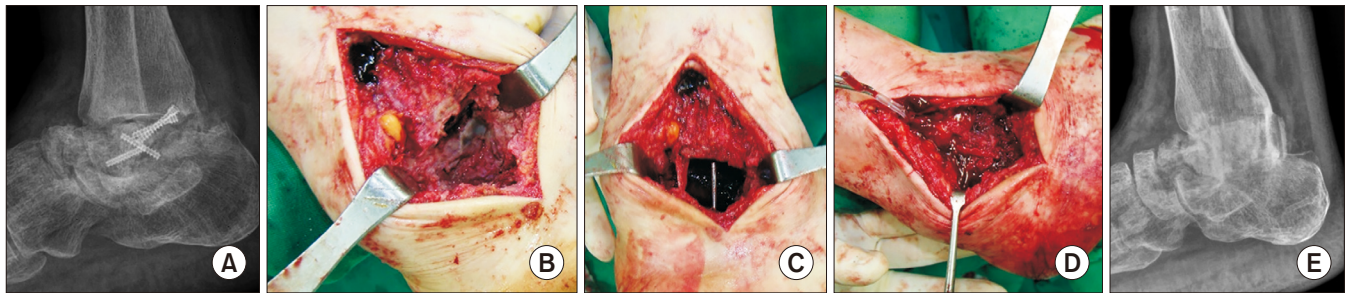
## 결 과

외고정 기구의 고정 기간은 평균 17.4주(15~23주)였다. 외고정 기구를 제거한 후에도 평균 9.2주 동안 관절 고정형 단하지 보조기 착용을 추가로 착용하게 하였다. 15예에서(88.2%) 수술 후 평균 23.6주(18~38주)에서 방사선 소견상 완전한 족관절 유합을 얻었다(Fig. 6). 경골 원위부 및 거골의 경화된 골을 충분히 제거해 비어 있는 공간(평균 2.5 cm)을 확보할 수 있었다. 족관절의 변형이 있는 경우, 이 공간을 활용해 교정을 용이하게 시행할 수 있었다. 이 공간에 자가 해면골을 충분히 이식한 결과로 15예 환자의 최종 추시 시 양하지 길이의 차이는 없었고 또한 만족할 만한 족관절의 고정 위치를 얻을 수 있었다. 2예의 류마티스 관절염 환자에서 불유합이 발생하

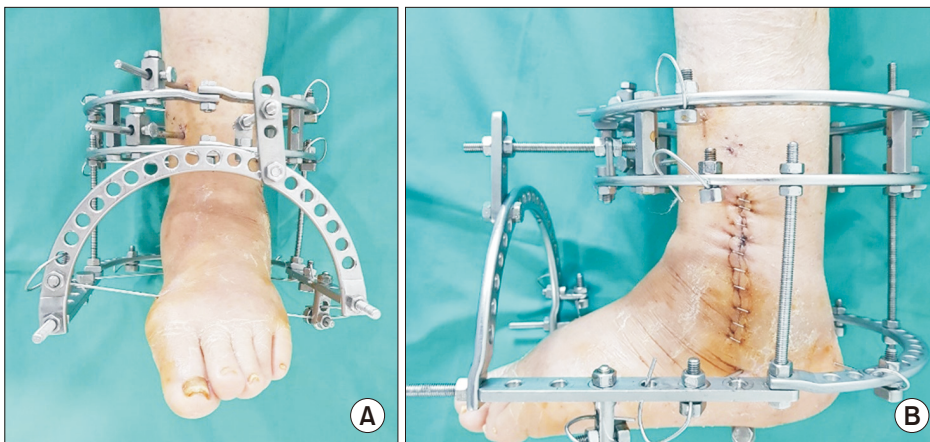




**Figure 3.** Illustrations of making the rectangular chamber (A) and filling bone graft (B, C).



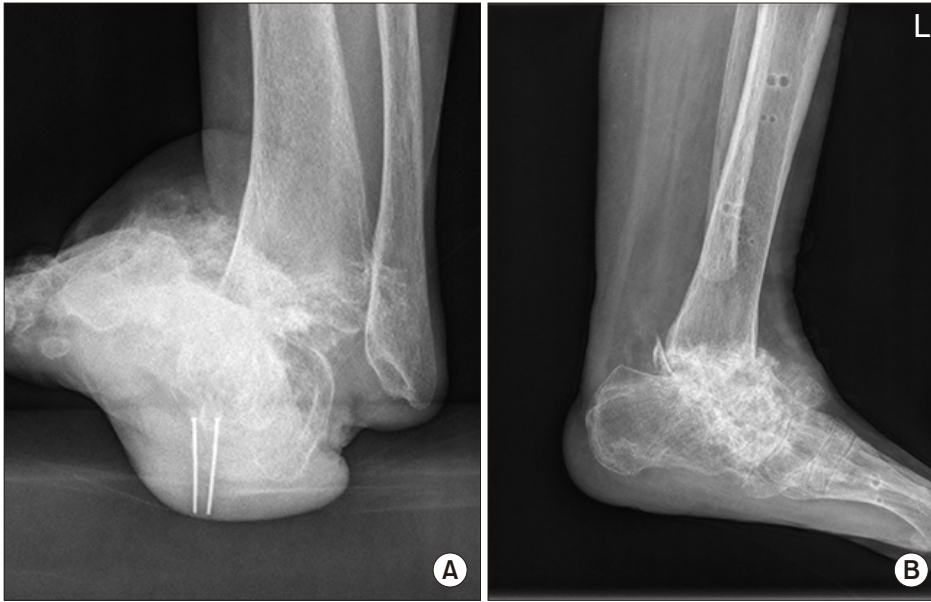
**Figure 4.** (A) A 53-year-old male, lateral radiograph showed avascular necrosis of the talar body due to comminuted fracture of the talus. (B) Necrotic talar body was removed completely. (C) We inserted two cortical blocks longitudinally into the anterior and posterior part of free ankle space from lateral to medial to make a rectangular chamber. (D) We filled the chamber with the autogenous cancellous bones. (E) We confirmed the solid bony union at 26 weeks after operation.



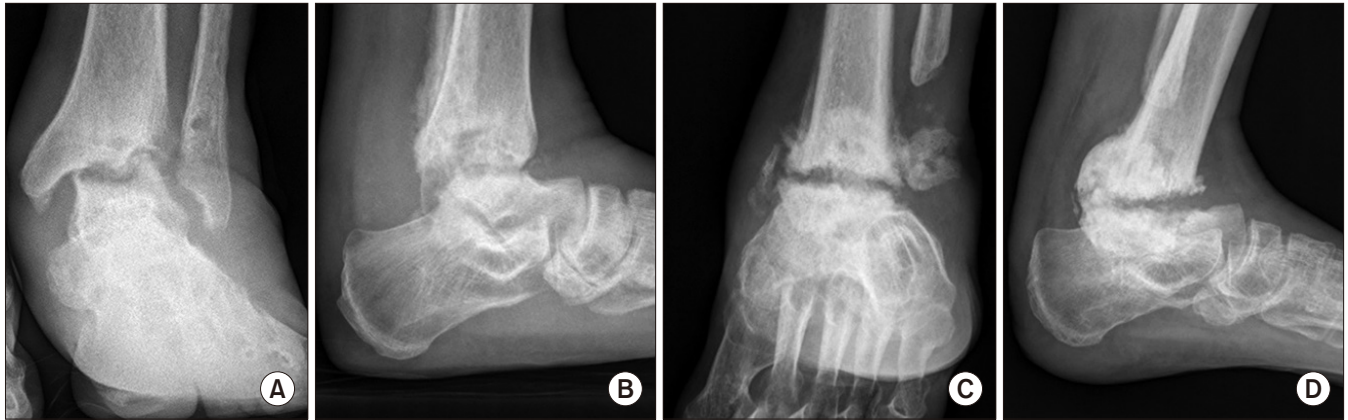
**Figure 5.** (A, B) After the Ilizarov external fixator which was composed of two tibial rings and one foot plate was equipped, we tightened the frame by 5 mm to compress the bone graft space.

였으나 술 후 2년 이상 추시 상에서 통증 없는 안정된 가관절 형성의 소견을 보였다(Fig. 7). 수술 후 주기적인 창상 처치에도 불구하고 핀 주위 표재성 감염은 전례에서 동반되었으며 핀이나 강선 주위의 피부 절개술과 피하조직으로의 항생제 투여 등의 국소적인 치료를 시

행하여 심부 감염 등의 심각한 염증은 경험하지 않았다. Ilizarov 외 고정 기구의 핀이나 강선의 파손은 당뇨병에 의한 신경병성 관절 환자 2예에서 발생하여 핀이나 강선의 재삽입술을 시행하였다. 수술 후 절개 부위의 과사나 심부 감염 등은 경험하지 않았다. 술 전 및 최



**Figure 6.** (A) Anteroposterior radiograph of a 65-year-old male with diabetic charcot neuroarthropathic joint. (B) We confirmed the solid bony union at 38 weeks after operation.



**Figure 7.** (A, B) Radiographs of 47-year-old female with rheumatoid arthritis of the left ankle joint, before the operation. (C, D) Radiographs of stable pseudarthrosis at 6 years of follow-up after operation.

중 추시 시 AOFAS의 발목-후족부 기능 평가 지수는 평균 48.5점에서 73.7점으로 향상되었다.

## 고 찰

족관절 유합술과 족관절 인공관절 치환술은 족관절 퇴행성 관절염의 말기 치료에 대표적으로 사용하는 두 가지 방법이다.<sup>1-6)</sup> 최근 발표되는 보고에 의하면 족관절 인공관절 치환술의 결과가 족관절 유합술에 비해 다소 우수하다고 보고된다. 그러나 인공 관절 치환술 후에 합병증이 발생하면 해결방법이 어려워 전 세계적으로는 족관절 유합술이 좀 더 많이 사용된다고 한다.<sup>1,2)</sup> 족관절 유합술은 수술 방법 (나사못이나 철판을 이용한 내고정술, 골수강 내고정술, 외고정 기구를 이용한 압박 고정술, 내시경을 이용한 관절 유합술)과 수술의사의 수술 능력 및 대상 환자의 질병 유무 등의 다양한 요인들이 관절 유

합에 영향을 미치기 때문에 관절 유합의 성공률은 다소의 편차를 보인다.<sup>2-7)</sup> 특히 류마티스 관절염, 당뇨병에 의한 신경병성 관절 및 거골의 골괴사증 등으로 인한 불유합의 위험 인자를 가진 족관절 병변의 관절 유합술은 고정 방법의 발전에도 불구하고 완벽한 관절 유합을 얻기가 상당히 어렵다.<sup>8-11)</sup>

족관절 유합술을 위한 관절내 도달 방법으로는 주로 전방 도달법과 외측 비골 도달법을 사용한다. 외측 비골 도달법은 전방 도달법에 비해 두꺼운 연부조직층을 확보할 수 있어 수술 후 피부의 괴사나 감염의 빈도가 상대적으로 낮다. 또한 비골 신경과 비복 신경의 사이로 도달이 가능해 수술 후 이들 신경 손상의 가능성이 매우 낮으며 전방 도달법에 비해 족관절이나 거골하 관절 및 족근골 등 등을 동시에 도달할 수 있어 뼈의 절단, 변형의 교정 및 관절 고정 위치의 안정화에 유리한 장점을 가진다고 한다.<sup>12)</sup> 저자들은 전례에서 외측 비골 도달법을 사용하였다.

위험 인자가 많은 집단에 시행하는 수술에서는 관절면의 연골하골 부위의 혈액순환 장애로 인해 경화된 부분을 충분히 제거해 혈액순환이 가능한 관절 절단면을 노출시킬 수 있다. 또한 증등도(15도 이상)의 족관절의 변형이 동반된 경우에는 변형을 교정할 수 있는 공간적인 여유를 마련하여 적절한 관절 고정의 위치를 얻기 위해 경골과 거골의 관절면 말단을 충분히 제거하는 것이 중요하다. 저자들의 경우 경골 하단부와 거골 상단 관절면을 충분히 제거하여 평균 2.5 cm 정도의 공간을 얻을 수 있었다. 거골의 무혈성 괴사의 경우에는 거골체 전체를 제거하였으며 자연스럽게 충분한 공간을 얻었다. 만족할 만한 족관절의 고정위치를 얻은 후 경화된 골조직의 제거로 인해 마련된 공간에 골이식을 시행하는 것은 관절 유합에 큰 도움을 줄 수 있는 방법으로 판단된다. 골이식 방법으로 자가골 이식술과 동종골 이식술이 있는데 자가골 이식술이 관절 유합의 성공률에서 보다 좋은 결과를 얻을 수 있다고 한다.<sup>13)</sup> 저자들은 3 cm×4 cm×0.5 cm 크기의 두 개의 피질골편으로 족관절의 전후방에 외측에서 내측으로 세워져 삽입하여 높이 약 2 cm, 전후방 폭이 약 2.0~2.5 cm 가량의 공간을 만들고 여기에 자가골을 충분히 이식하였다. 족관절 유합술 후 해당 하지의 단축은 2.5 cm 미만이어야 정상적인 보행 주기를 유지할 수 있다. 저자들의 방법은 해당 하지의 단축을 예방하고 족관절의 변형이 있는 경우에도 족관절의 만족할 만한 고정위치를 쉽게 얻을 수 있으며 족관절 유합을 보다 성공적으로 완성하는 데 도움이 되었다고 생각한다.

Charnley<sup>14)</sup>가 1951년에 외고정 기구를 이용하여 관절 압박 고정술을 발표하였으며 Ilizarov와 Okulov<sup>15)</sup>가 1976년에 원형의 축성 압박이 가능한 원형 외고정 기구를 이용한 관절 유합술을 발표한 이래 많은 저자들이 동일한 방법으로 우수한 관절 유합술의 결과를 얻었다고 발표하였다.<sup>11,12,16)</sup> 화농성 관절염 등의 활동성 감염이나 신경병성 관절, 대량의 골손실이 있는 경우, 심한 골다공증이 동반된 경우 및 광범위한 연부조직의 문제점이 동반되어 내고정술을 하기 힘든 경우에도 외고정 기구를 사용할 수 있다.<sup>11)</sup> Ilizarov 외고정술은 일반적인 내고정술보다 다소 강한 외고정력을 바탕으로 지속적인 축성 압박을 이용하여 관절 고정을 얻기 어려운 환경에도 불구하고 최종적인 관절의 유합을 유도할 수 있다. 저자들은 류마티스 관절염, 당뇨병에 의한 신경병성 관절 및 거골의 골괴사증 등으로 족관절이 파괴된 경우의 관절 유합술에 Ilizarov 외고정 기구 장착술을 시행하였는데 저자들의 경험은 관절의 성공적인 유합을 얻기 위해 일반적인 퇴행성 관절염 환자에서 골유합을 얻기 위한 외고정 기구 고정기간(평균 8주)보다 약 2배 더 긴 고정기간(평균 17.4주)이 요구되었고 지속적이고 보다 더 견고한 축성 압박 고정이 필요하였다. Ilizarov 외고정 기구는 기구의 복잡성, 부피가 커서 환자들이 느끼는 불편함, 핀이 외부에 노출되어 발생하는 감염 등의 제한점을 가지고 있으나 이를 적절히 견고하게 착용시키면 골유합부 주위의 전단력, 비틀림 스트레스 및 축성부하 등에 대해서 안정적인 고정력을 얻을 수 있다.

이로 인해 초기 체중부하가 가능하고 체중부하 시 골유합 부위에 미세한 압박과 신연의 움직임을 유발하여 골유합 부위의 골생성을 유도하고 골성 치유를 향상시킨다고 한다.<sup>11-13,15,16)</sup> 저자들은 수술 후 1주째부터 부분 체중부하 보행을 실시하였으며 수술 후 6주째까지 저울에 환자의 발을 부하시켜 30 kg 이하까지의 감각으로 체중부하를 허용하였다. 수술 6주 이후부터는 40 kg까지 환자가 체중부하 시 통증을 느끼지 않는 범위에서 점차적으로 체중부하를 증가시켰다. 불유합의 위험 인자를 가진 환자들은 고유 감각 신경의 손상으로 인해 다소 과도한 체중부하를 하게 되는데 이 결과 핀이나 강선 주위의 감염 혹은 핀이나 강선의 파손을 유발한다.<sup>11,12)</sup> 저자들은 핀이나 강선 주위의 피부 절제술과 피하조직으로의 항생제 투여 등의 국소적인 치료를 주기적으로 시행하여 심부 감염 등의 심각한 염증은 경험하지 않았다. Ilizarov 외고정 기구의 핀이나 강선의 파손은 당뇨병에 의한 신경병성 관절 환자 2예에서 발생하여 핀이나 강선의 재삽입술을 시행하였다.

관절 유합의 성공률에 대해서는 관절경을 이용한 관절 유합술이 평균 94% (70%~100%), 관혈적 정복술이 평균 89% (64%~100%) 그리고 외고정 기구를 이용한 압박 고정술이 평균 90% (83%~100%)로 보고되고 있다.<sup>1-5,7,10-12,16)</sup> 저자들은 평균 88.2%의 관절 유합률을 얻었으나 최근 5년 내의 수술에서 100%의 골유합을 이루었으므로 경험이 많아질수록 결과가 좋아지기를 기대한다.

## 결론

류마티스 관절염, 당뇨병에 의한 신경병성 관절염 및 거골의 골괴사증 등 족관절 유합술의 불유합의 위험 인자를 가진 족관절 병변에서 자가 골이식술과 함께 Ilizarov 외고정 기구 장착술을 이용한 족관절 유합술은 비교적 심각한 합병증 없이 관절 유합을 이룰 수 있는 유용한 방법 중의 하나이다. 증례의 수가 충분하지 않은 점이 본 연구의 제한점으로 생각된다.

## REFERENCES

1. Yasui Y, Hannon CP, Seow D, Kennedy JG. Ankle arthrodesis: a systematic approach and review of the literature. *World J Orthop.* 2016;7:700-8. doi: 10.5312/wjo.v7.i11.700.
2. Glick JM, Morgan CD, Myerson MS, Sampson TG, Mann JA. Ankle arthrodesis using an arthroscopic method: long-term follow-up of 34 cases. *Arthroscopy.* 1996;12:428-34. doi: 10.1016/s0749-8063(96)90036-5.
3. Townshend D, Di Silvestro M, Krause F, Penner M, Younger A, Glazebrook M, et al. Arthroscopic versus open ankle arthrodesis: a multicenter comparative case series. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95:98-102. doi: 10.2106/JBJS.K.01240.
4. Colman AB, Pomeroy GC. Transfibular ankle arthrodesis with



- rigid internal fixation: an assessment of outcome. *Foot Ankle Int.* 2007;28:303-7. doi: 10.3113/FAI.2007.0303.
5. Cameron SE, Ullrich P. Arthroscopic arthrodesis of the ankle joint. *Arthroscopy.* 2000;16:21-6. doi: 0.1016/s0749-8063(00)90123-3.
  6. Mann RA, Van Manen JW, Wapner K, Martin J. Ankle fusion. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):49-55.
  7. Clifford C, Berg S, McCann K, Hutchinson B. A biomechanical comparison of internal fixation techniques for ankle arthrodesis. *J Foot Ankle Surg.* 2015;54:188-91. doi: 10.1053/j.jfas.2014.06.002.
  8. Early JS, Hansen ST. Surgical reconstruction of the diabetic foot: a salvage approach for midfoot collapse. *Foot Ankle Int.* 1996;17:325-30. doi: 10.1177/107110079601700605.
  9. Sammarco GJ, Conti SF. Surgical treatment of neuroarthropathic foot deformity. *Foot Ankle Int.* 1998;19:102-9. doi: 10.1177/107110079801900209.
  10. Yousry AH, Abdalhady AM. Management of diabetic neuropathic ankle arthropathy by arthrodesis using an Ilizarov frame. *Acta Orthop Belg.* 2010;76:821-6.
  11. El-Alfy B. Arthrodesis of the ankle joint by Ilizarov external fixator in patients with infection or poor bone stock. *Foot Ankle Surg.* 2010;16:96-100. doi: 10.1016/j.fas.2009.06.004.
  12. Onodera T, Majima T, Kasahara Y, Takahashi D, Yamazaki S, Ando R, et al. Outcome of transfibular ankle arthrodesis with Ilizarov apparatus. *Foot Ankle Int.* 2012;33:964-8. doi: 10.3113/FAI.2012.0964.
  13. Campbell P. Arthrodesis of the ankle with modified distraction-compression and bone-grafting. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72:552-6.
  14. Charnley J. Compression arthrodesis of the ankle and shoulder. *J Bone Joint Surg Br.* 1951;33:180-91.
  15. Ilizarov GA, Okulov GV. [Compression arthrodesis of the ankle joint and adjacent foot joints]. *Ortop Travmatol Protez.* 1976;(11):54-7. Russian.
  16. Fragomen AT, Borst E, Schachter L, Lyman S, Rozbruch SR. Complex ankle arthrodesis using the Ilizarov method yields high rate of fusion. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470:2864-73. doi: 10.1007/s11999-012-2470-9.