

유관 나사 및 Hybrid형 외고정술을 이용한 당뇨병성 샤르코 족관절 신경관절병증의 관절 유합술

아주대학교 의과대학 정형외과학교실

한경진 · 노형래 · 한승환

Ankle Arthrodesis using Cannulated Screws & Hybrid Type Rigid External Fixation in Diabetic Charcot Neuroarthropathy

Kyeung-Jin Han, M.D., Hyong Rae Roh, M.D., Seung Hwan Han, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

=Abstract=

Purpose: The diabetic charcot neuroarthropathy of ankle is an infrequent site (around 5%), but is definitely the location that, because of the instability and progressive deformity it involves, cause ulceration in a high percentage of patients, and this can then become a reason for amputation. However, the treatment of this disastrous disease is still challenging. We analyzed the clinical and radiological results of ankle arthrodesis by our fixation method in Charcot neuroarthropathy.

Materials and Methods: Seven cases that were diagnosed as charcot neuroarthropathy of ankle arthrodesis were followed for more than 16 months postoperatively. Mean age was 57 years, and the mean follow-up period was 27 months. Anterior approach was used in arthrodesis, and internal fixation by 3 or more cannulated screws and hybrid type external fixation were used. Auto iliac bone for grafting was combined in all cases. External fixator was kept for 3 months without weight-bearing. Then, boots brace was applied for more 3 months allowing partial weight-bearing. Four cases had minor complications such as pin site infection. Preoperative and postoperative AOFAS score, time to fusion and postoperative complications were checked.

Results: Postoperative fusion was completed in all cases, and the mean time to fusion was 3.4 months. No postoperative complication was checked. At the last follow-up, the mean AOFAS score had increased from 54 points to 72 points. Patient's satisfaction was over 80%.

Conclusion: Satisfactory results were obtained after ankle arthrodesis using internal and hybrid type external fixation combined with auto iliac bone graft in charcot neuroarthropathy with minor complications.

Key Words: Ankle, Charcot neuroarthropathy, Arthrodesis, Hybrid type external fixation

서 론

샤르코(Charcot) 신경성 관절병증은 당뇨, 매독, 음주, 나병, 척수공동 증, 류마티스 관절염, 다발성 경화증에 의한 말초 신경병증을 원인으로 하는 신경 외상성 자극에 의한 비 감염성 및 파괴적인 과정으로 관절 탈구와 관절주위 골절을 유발한다.¹⁾ Jean-Martin Charcot이 1868년 처음으로 3기 매독 환자에서 “hypertrophic destructive arthritis”로

Received October 17, 2010 Accepted November 18, 2010

• Seung Hwan Han, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Ajou University School of Medicine, San 5, Woncheon-dong, Youngtong-gu, Suwon 443-749, Korea

Tel: +82-31-219-5221 Fax: +82-31-219-5229

E-mail: osmedic@ajou.ac.kr

보고한 이래 질환을 이해하고자 하는 노력과 발생을 막고자 하는 노력은 생각보다 느리게 진행되었다. 의학계 전반과 정형외과 영역에서 샤르코 신경성 관절병증이 환자의 삶의 질에 상당히 유해한 영향을 끼침에도 불구하고 당뇨 연구에 있어 샤르코 신경성 관절병증이 차지하는 부분은 극히 적은 영역만을 차지하고 있다.¹⁾

당뇨 환자에서 샤르코 신경성 관절병증이 동반된 경우에 대한 역학은 확실하지 않으며 당뇨 환자에서 샤르코 신경성 관절병증의 유병률은 0.08~7.5%까지 다양하게 보고되고 있다.²⁾ 샤르코 신경성 관절병증은 당뇨 신경병증의 심각한 후기 합병증으로 발목 관절을 약 5%에서 침범하며, 특히 발목관절이 연관되었을 때는 불안정성 및 변형 등이 올 수 있다. 감각 신경병증으로 인해 발목 관절과 발에 대해 무감각해지며 발과 발목 사이에서 정렬을 잃어 내과 또는 외과 돌출이 일어나 궤양을 유발시킬 수 있으며 이는 골수염을 일으키고 절단까지 이르게 한다.²⁾ 심각한 샤르코 신경성 관절병증에서 관절 유합술이 가장 널리 사용되는 치료 방법이며 보존적 치료와 비교하여 관절 유합술이 결과가 우수한 것으로 알려져 있다.³⁾ 그러나 진행성 골 파괴로 인한 골의 소실, 당뇨 자체에 의한 신생 골 형성 능력 저하, 혈류 공급의 저하 및 신경병증에 의한 감각 소실 등은 유합을 저해하거나 지연시키는 것으로 알려져 그 치료가 어려운 것으로 알려져 있다.¹⁻³⁾ 관절 유합술의 방법에는 크게 외고정술과 내고정술로 나눌 수 있으며 현재까지 많은 방법들이 보고되고 있으며 그 종류로는 역행성 골수 정, 일리자로프(Illizarov), 금속판, 유관 나사 등을 이용한 방법들이 있으며 각각의 방법들에서 유합 성공률은 다양하게 보고되고 있으며 합병증도 다양하게 보고되고 있다.²⁻⁷⁾ 관절 유합술의 합병증으로는 불유합, 감염, 신경혈관 손상 및 반사성 교감신경 이영양증 등이 보고되고 있다. 이에 본 연구자들은 족관절 당뇨병성 샤르코 관절병증에서 저자들이 고안한 견고한 관절 고정법을 이용하여 양호한 임상경과를 얻었기에 그 결과를 보고하고자 하는 바이다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2007년 3월부터 2009년 2월까지 본원에 내원한 환자들 중 당뇨신경병증이 동반된 족관절 샤르코 관절병증으로 진단 받고 족관절 유합술을 시행받았던 7예를 대상으로 하였다. 남자 1명과 여자 6명이었으며 평균 나이는 57세(42~75세)이었고, 수술 시행 이후 평균 추시 기간은 27개월(16~36개월)이었다. 수술 전 6예에서 족관절 부종을, 3예에서 통증을 호소하였으며, 4예에서 보행 불편을 호소하였으며, 증상의 이환 기간은 평균 2년 7개월(1개월~6년)이었다 (Table 1). 3개월 이상의 보존적 치료에도 통증이 조절되지 않는 경우, 족관절 불안정으로 인한 보행 불편, 보조기 사용에도 불구하고 추적 관찰 방사선 검사상 관절 파괴 및 변형이 진행되는 경우 족관절 유합술을 시행하였다.

2. 방법

샤르코 신경병성 관절병증의 진단은 선별검사로 단 섬유 (mono filament) 검사상 9지점에서 3지점 이상 감각을 느끼지 못하는 경우, 추가적인 신경병증의 진단을 위해 진동각 역치 검사(vibration perception test)와 전류역치 검사(current perception test)를 시행하였으며, 관절병증의 진단과 관절 파괴 정도를 파악하기 위해 자기공명영상 검사, 전신 골 주사 검사 및 혈액 검사를 시행하였다. 혈액 검사에는 감염 및 염증의 정도를 평가하기 위해 백혈구 수치, C 반응성 단백질, 적혈구 침강 속도를 측정하였으며 질병의 활성도를 평가하기 위해 알칼리성 인산분해 효소를 측정하였다.

수술 시 마취 방법은 전신, 척수 또는 경막 외 마취법을 사용하였으며 앙아위 자세로 진행되었다. 지혈대는 사용하지 않았으며 수술 방법은 7예에서 모두 전방 도달법을 시행하였다. 추가적인 박리 후 관절 부위 노출 후 큐렛(curette)

Table 1. Demographics

No.	Age	Gender	Site	Chief complaint	Symptom duration
1	58	Female	Right	Swelling, instability	1 Month
2	74	Female	Right	Swelling, Pain	4 Years
3	75	Male	Left	Pain, Instability	3 Years
4	53	Female	Left	Swelling, Pain	4 Years
5	45	Female	Left	Swelling	6 Years
6	42	Female	Right	Swelling, Instability	1 Year
7	55	Female	Left	Swelling, Instability	6 Months

및 절골기 등을 이용하여 파괴된 관절 연골을 제거하였으며, 가능한 연골하 골은 보존하였다. 관절 파괴로 인해 발생한 유리체 및 골편들은 가능한 모두 제거를 하였다. 족관절

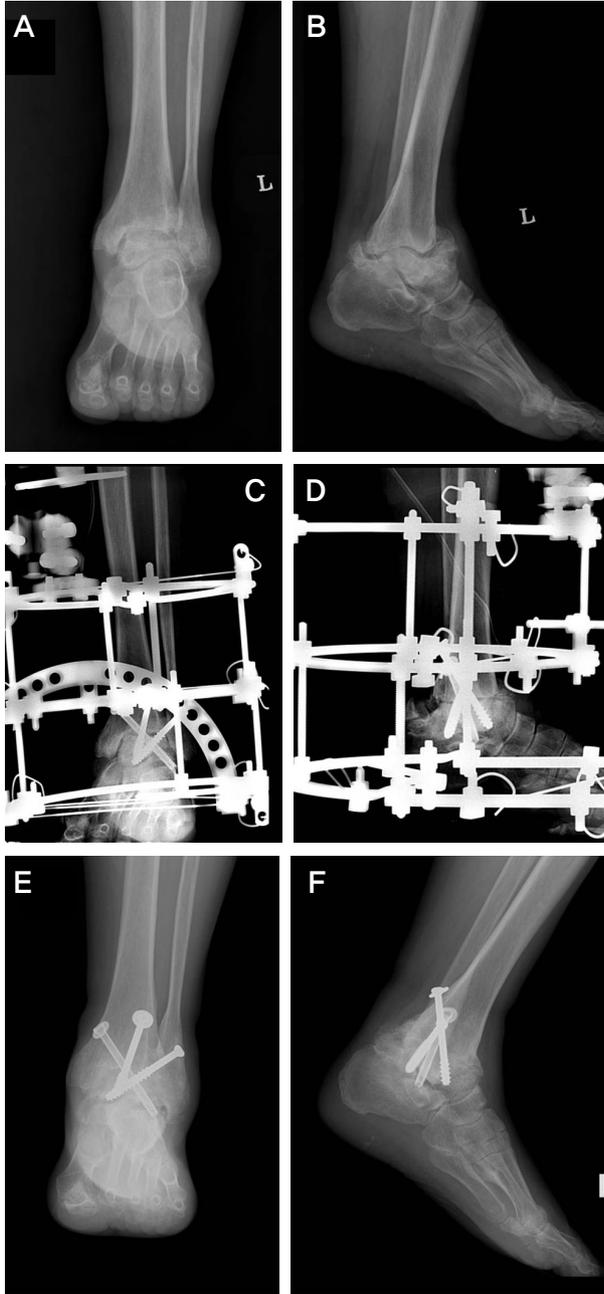


Figure 1. Forty five year old female patient with diabetic charcot ankle neuroarthropathy. Preoperative antero-posterior and lateral radiograph of left ankle show severe destructive changes in distal tibia and talus body with soft tissue swelling (A, B). Postoperative radiographs show well aligned ankle arthrodesis operation state with internal and external fixation (C, D). Last follow-up (1 year 8 months) radiograph shows completely fused ankle joint with remained cannulated screws (E, F).

변형이 동반되어 있는 경우, 가능한 내고정 이전에 건 및 인대를 조작하여 관절을 중립상태로 유지하였으며, 수술 중 영상증폭장치로 전후면 및 측면 사진을 촬영하여 족관절의 중립 위를 확인하였다. 일부 골 파괴가 있는 경우 경골 및 거골의 일부분을 절골하여 가능한 접촉면이 넓게 되도록 하였다. 족관절의 높이와 유합할 골들의 접촉이 잘 유지되는 것을 확인하면서 처음으로 경골 후 상방부위에서 거골 두 중심방향으로 6.5 mm 유관나사를 삽입하였으며, 추가로 비골 외측 및 경골 내측에서 거골 체로 2개의 6.5 mm 유관나사 2개를 삽입하였다. 골 유합 촉진을 위하여 수술 부위 동 측의 전상 장골 극 부위에서 해면 골을 채취 후 유합 부위 골을 이식하였으며, 가능한 골 결손 부위를 이식 골로 채워 빈 공간이 없도록 하였다. 고정 상태 보강을 위하여 혼합형(hybrid)의 외고정 장치를 추가로 적용하였다. 근위 부 경골에는 단일형(mono type)의 외고정기를 이용하여 고정하였으며 원위 부 경골 및 족부에는 일리자로브 외고정기를 이용하여 고정하였다. 각각의 ring과 tube에는 유연성 핀 1개와 함께, 1개 이상의 나사를 사용하여 고정하였으며, 나사 간의 축 상면 각을 최소 60도 이상 되도록 경골에 삽입하였다. 고정 후 5~10 mm 정도 족관절을 압박하였다. 수술 중 배양검사 및 병리조직검사를 시행하였다 (Fig. 1).

수술 후 외고정 장치는 3개월 유지하였고 비 체중 부하 3개월 실시 후 방사선 소견상 유합 소견 관찰 시까지 외고정 장치를 유지하였다. 외고정 장치 제거 후 부츠형(boot type) 보조기를 추가적으로 3개월 더 착용하였으며 그 기간 동안 부분체중부하를 허용하였다. 보조기 제거 후에는 호상형(rocker bottom) 신발을 착용하게 하였으며 체중부하를 허용하였다.

치료 결과의 임상적 평가는 수술 전후의 전미족부족관절 학회 점수(AOFAS score-관절 운동 범위 항목은 제외함. 총점 86점)와 최종 추시까지의 합병증으로 판단하였다. 수술 전후 임상 양상 변화는 paired student *t*-test를 사용하였다. 방사선학적 평가는 족관절의 전후, 측면 및 격자 관절 사진을 촬영하여 유합까지의 기간을 판단하였다.

결 과

단순 방사선 사진 소견에서 총 7예 중 단 1예에서 신경병증에 의한 골절 이후 발생한 샤르코 신경병성 관절병증 소견을 보였으며 나머지 6예들에서는 신경병증에 의한 골절 소견은 보이지 않는 단순 샤르코 신경병성 관절병증이 었다.⁸⁾ 4예에서 자기공명영상 검사를 시행하였고 모든 예

에서 감염 또는 골수염으로 판독되었다. 3예에서 전신골주사 검사를 시행하였고 판독은 각각 후 외상성 변화, 샤르코 관절병증 또는 감염, 샤르코 관절병증으로 나왔다. 신경병증 검사는 진동각 역치 검사와 전류역치 검사를 시행하였으며 진동각 역치 검사 결과 5예에서 중등도, 2예에서 중증 당뇨병성 신경병증을 보였으며, 전류역치 검사의 경우 총 6예에서 시행되었으며 2예에서 경도 감각저하, 4예에서 중증 감각저하 소견을 보였다. 혈액 검사 결과 수술 전 시행한 적혈구 침강 속도, C 반응성 단백질에서 6예에서 정상 소견을 보였고, 궤양이 동반되어 있던 1예에서 각각 73 mm/hr, 2.67 mg/dl로 증가된 소견을 보였다. 총 7예 중 1예에서만 백혈구 증가를 보였으며 알칼리성 인산분해 효소는 3예에서 증가된 소견을 보였으며 나머지 4예에서는 정상 소견을 보였다(Table 2).

진단 과정에서 감염과의 감별이 쉽지 않았는데 임상적으로 부기, 온기, 발적 등의 증상들이 공통적으로 발생하여 자기공명영상 검사에서도 골과 관절 주위 연부 조직의 고신호 강도를 보이는 공통점이 있어 명확하게 구분하기가 쉽지 않다.

AOFAS 점수는 운동범위 항목을 제외한 86점 만점에서 수술 전 평균 54점(43~68점)에서 수술 후 최종 추시에서 평균 72점(60~79점)으로 의미 있게 향상되었다($p<0.05$). 수술 후 7예(100%) 모두에서 관절의 유합을 얻었으며, 평균 골 유합 기간은 평균 3.4개월(3~4개월)이었다. 수술 후 부정 유합 및 감염 등의 합병증은 없었다. 수술 후 4예에서 핀 주위 감염이 있었으나 단순 창상 관리로 치유되었다. 수술 중 시행한 세균배양검사서 1예에서만 메치실린(methicillin) 감수성 황색 포도상 구균이 동정되었으며 조직검사 결과 모든 예에서 감염의 증거는 발견되지 않았다. 최종적으로 매우 만족 2예, 만족 2예, 보통 3예로 환자 만족도의 분포를 나타내었으며, 불만족인 경우는 없었다(Table 2).

고 찰

샤르코 신경성 관절병증은 단독 혹은 반복적인 신경 외상성 자극에 의해 초래되는 감각 및 운동, 그리고 말초신경계 소실로 부종, 골 파괴, 탈구, 관절주위 골절을 일으키는 비 감염성 질환이다. 그러나 감염에서는 궤양, 천자, 배농관 등의 피부 병변이 존재하며 임상적으로도 패혈증의 증상인 열, 백혈구 증가증, 혈당 증가 등이 나타날 수 있다. 이에 반해 샤르코 신경병증의 경우에는 감염에서 나타나는 전신 증상 및 백혈구 증가증, 피부 병변이 없다. 이런 점들을 바탕으로 감염과 샤르코 신경관절병증을 감별하였다.¹⁾

일반적인 유합술과는 달리 당뇨병환자는 대사성 장애로 인한 골 치유 과정에서 매우 심각한 기형 및 관절 불안정성을 유발할 수 있다.¹⁾ 초기 진단과 복잡한 치료방법의 어려움 때문에 임상의를에게 아직 큰 도전 과제로 남아 있다.⁸⁾ 치료 방법은 보존적 방법과 수술적 방법으로 나눌 수 있으며 관절 유합술은 보존적 치료와 비교하여 결과가 좋은 것으로 알려져 있다.^{2,4,6,7,9)} 관절 유합술은 초기에 견고한 관절의 유합을 얻기 위하여 관절 개방술을 이용한 수술이 많이 사용되어 왔고 수술 방법으로는 일리자로프를 이용한 외고정술, 역행성 골수 정, 금속판 및 유관 나사를 이용한 내고정술 등 다양한 외고정 및 내고정 방법이 소개되었다.^{2,7,9)} Dalla 등²⁾은 궤양이 없는 18예의 샤르코 신경성 관절병증에서 역행성 골수 정을 이용하여 좋은 결과를 얻었음을 보고하였는데, 평균 추시 기간은 14개월이었으며 14예에서 완전한 골 유합을 얻었으며 4예에서는 섬유성 골 유합을 얻었다. 18예 모두에서 하지 구제가 가능하였다. Pelton 등⁴⁾도 역동적 역행성 골수 정을 이용한 관절 유합술 결과 88%의 높은 성공적인 유합을 보고하였다. Eylon 등⁵⁾은 일리자로프를 이용한 관절 유합술에 대해 보고하였으며 17예에서 완전한 관절 유합술을 얻었다고 보고하였다. 특히, 4예의 개정술(revision surgery)을 포함한 결과로서 일리자로프를

Table 2. Clinical Results

No.	WBC (μL)	ESR (mm/hr)	CRP (mg/dl)	ALP (U/L)	Neuropathy	Culture	Preop. AOFAS	Postop. AOFAS	Satisfaction
1	5200	18	0.14	148	Severe	(-)	50	71	Good
2	6900	73	2.67	70	Moderate	MSSA*	49	60	Fair
3	24500	2	0.02	86	Moderate	(-)	68	79	Very good
4	6500	46	0.05	181	Moderate	(-)	53	65	Fair
5	5300	19	0.02	89	Moderate	(-)	58	79	Very good
6	4400	12	0.03	94	Moderate	(-)	56	76	Good
7	6500	40	0.04	440	Severe	(-)	43	67	Fair

*MSSA, methicillin sensitive *Staphylococcus aureus*.

이용한 관절 유합술이 개정술과 같은 어려운 환자에서도 높은 유합술을 얻을 수 있는 좋은 방법이라고 주장하였다. Monroe 등³⁾은 유관 나사를 이용한 내고정술을 통하여 93%의 높은 유합 성공률을 보고하였다. 외고정술의 경우 주로 불유합의 구제술 또는 족관절 주위의 감염이 있는 경우 시행되고 있다. 하지만 외고정술의 경우 내고정술에 비해 높은 불유합률 및 지연유합, 감염과 같은 합병증을 보이고 있다. 일반적인 관절유합술에서는 외고정술만으로 유합이 가능할 수는 있으나, 샤르코 관절병증 환자의 경우 보다 견고한 고정이 필요하므로 단독 사용보다는 다른 내고정법과 병행하여 사용하는 것이 추천되고 있다.^{3,8)} 골다공성 골 등에서 내고정술만으로 적절한 고정력을 얻기 힘든 경우에 외고정술이 같이 사용되고 있으며, 내고정술의 경우 지연나사가 가장 널리 사용되고 있으며 6.5 mm 또는 지름이 더 큰 유관 나사가 가장 흔하게 사용되고 있다. 이외에도 T자형 금속판, 칼날 금속판, 역행성 골수 정 등을 이용할 수 있다.¹⁰⁾

본 연구에서는 가능한 내고정을 최소화하고 견고한 외고정 장치를 추가하는 고정법을 사용하였다. 본 연구에서는 다음과 같은 환자가 없었으나, 수술부위 주변에 궤양이 동반되어 있거나, 관절 내 감염을 완전히 배제할 수 없는 경우에는 최소한의 내고정을 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 특히, 금속판과 같이 내고정물의 부피가 커, 피부에서 축지되는 경우 신경병증이 심한 환자에서는 궤양과 연계될 수 있어 감염에 쉽게 노출될 가능성이 크므로 금속판을 사용하는데 신중을 기해야 하겠다. 따라서 저자들은 유관 나사를 이용한 내고정을 시행하였고, 이를 통해 내고정에 의한 감염의 가능성을 최소화하려고 하였다. 하지만 내고정을 최소화하였기 때문에 추가적인 견고한 고정을 위하여, 외고정 장치를 추가로 사용하였다. 특히, 유연성 일리자로프 핀과 함께 견고한 투관침을 사용함으로써, 미세한 움직임으로 인한 핀 주위의 합병증과 지연 유합을 피하고자 하였다. 외고정 장치의 또 하나의 장점으로 유합술 후 석고고정을 시행하지 않음으로써 석고 시술 후 발생한 압박 궤양의 예방과 상처 및 발 관리에 용이한 점이 있다. 특히, 외고정 장치 제거 이후에도 당뇨 신경관절병증 환자의 경우 완전 유합을 보장할 수 없어 추가적인 보조기 착용을 시행하였으며, 이는 추가적인 고정과 함께 보다 적극적인 발 관리를 용이하게 하기 위함이었다.

관절 유합술 후의 가장 중요한 합병증인 불유합을 최소화하기 위한 방편으로 골 유합 촉진을 위한 자가장골 이식술을 시행하였다. Hockenbury 등¹⁰⁾은 자가 비골 및 자가 경골 이식술을 이용한 샤르코 신경병증 족관절 유합술에서

90%의 유합 성공률을 보고하였다. 이외에도 유합의 촉진을 위해 초음파나 전자기장(electromagnetic field) 자극 또는 성장 인자를 사용하는 경우가 있으나,¹¹⁻¹³⁾ 아직 국내에서는 사용이 불가능하여 저자들은 자가 장골 이식을 사용하여 골 형성 촉진을 추가로 유도하였다. 유합 촉진을 위한 치료는 이전의 문헌과 저자들의 경험상 당뇨병성 신경병증 환자의 유합술에서 당뇨환자의 저하된 골 형성 및 재생능력을 보조하여 주는 중요한 치료중의 하나라고 사료된다.

샤르코 신경병증 족관절 유합술은 일반적으로 높은 합병증 비율이 보고되며, 지금까지 보고된 합병증 비율을 보면 23%에서 80%까지 다양하다.⁶⁾ 주된 합병증은 골수염 및 감염, 고정 실패 등이 보고되고 있으나, 저자들의 수술법을 적용한 결과에서 비록 적은 수의 환자로 분석은 하였으나 수술 후 수술 부위 감염이나 불유합과 같은 주요 합병증은 없었다. 그러나 본 연구의 경우 적은 수의 환자를 대상으로 연구한 결과로 추후 이러한 수술법에 대한 보다 많은 환자의 결과 분석이 필요할 것으로 사료된다.

결과적으로, 본 연구에서 시행한 총 7예의 환자 모두에서 골 유합을 유도할 수 있었으며, 수술 후 결과도 AOFAS score는 운동범위 항목을 제외한 86점 만점에서 술 전 평균 54점에서 최종 추시 평균 72점으로 증가 소견을 보였다. 환자 만족도의 경우 총 7예 중 4예에서는 만족 이상의 만족도를 보이고 3예에서는 보통의 만족도를 보였으나 장시간의 고정 및 족관절 유합으로 인한 운동 제한이 어느 정도 환자에게 불편감을 주는 것을 감안하고 평가한다면 전체적으로 양호한 결과라고 볼 수 있겠다. 그러나 이는 추후 인공 관절 치환술과 같은 관절을 보전할 수 있는 수술법의 개발이 요구됨을 시사하는 점으로 판단된다.

결 론

본 저자들은 총 7예의 샤르코 신경성 관절병증에서 최소한의 내고정 및 견고한 외고정을 이용한 고정법과 자가장골 이식술을 이용한 수술법으로 모든 예에서 합병증 없이 골 유합을 얻었으며 수술 후 비교적 만족할 만한 임상 결과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 저자들이 고안한 혼합 고정을 이용한 관절 유합술은 족관절 샤르코 신경관절증 치료의 방법으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Pinzur M. Current concept review: Charcot arthropathy of the

- foot and ankle. Foot Ankle Int.* 2007;28:952-9.
2. **Dalla PL, Volpe A, Varotto D, et al.** Use of retrograde nail for ankle arthrodesis in charcot neuroarthropathy: a limb salvage procedure. *Foot Ankle Int.* 2007;28:967-70.
 3. **Monroe MT, Beals TC, Manoli A 2nd.** Clinical outcome of arthrodesis of the ankle using rigid internal fixation with cancellous screws. *Foot Ankle Int.* 1999;20:227-31.
 4. **Pelton K, Hofer JK, Thordarson DB.** Tibiotalocalcaneal arthrodesis using a dynamically locked retrograde intramedullary nail. *Foot Ankle Int.* 2006;27:759-63.
 5. **Eylon S, Porat S, Bor N, Leibner ED.** Outcome of Ilizarov ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2007;28:873-9.
 6. **Mueckley TM, Eichorn S, von Oldenburg G, et al.** Biomechanical evaluation of primary stiffness of tibiotalar arthrodesis with an intramedullary compression nail and four other fixation devices. *Foot Ankle Int.* 2006;27:814-20.
 7. **Hanson TW, Cracchiolo A 3rd.** The use of a 95° blade plate and a posterior approach to achieve tibiotalocalcaneal arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2002;23:704-10.
 8. **Schon LC, Easley ME, Weinfeld SB.** Charcot neuroarthropathy of the foot and ankle. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;349:116-31.
 9. **Raikin SM.** Arthrodesis of the ankle: arthroscopic, mini-open, and open techniques. *Foot Ankle Clin N Am.* 2003;8:347-59.
 10. **Hockenbury RT, Gruttadauria M, McKinney I.** Use of implantable bone growth stimulation in charcot ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2007;28:971-6.
 11. **Coughlin MJ, Smith BW, Traugher P.** The evaluation of the healing rate of subtalar arthrodeses, part 2: the effect of low-intensity ultrasound stimulation. *Foot Ankle Int.* 2008;29:970-7.
 12. **Dhawan SK, Conti SF, Towers J, Abidi NA, Vogt M.** The effect of pulsed electromagnetic fields on hindfoot arthrodesis: a prospective study. *J Foot Ankle Surg.* 2004;43:93-6.
 13. **Grant WP, Jerlin EA, Pietrzak WS, Tam HS.** The Utilization of autologous growth factors for the facilitation of fusion in complex neuropathic fractures in the diabetic population. *Clin Podiatr Med Surg.* 2005;22:561-84.