

## 족관절 유합술

이준영, 박상하

조선대학교 의과대학 조선대학교병원 정형외과학교실

## Ankle Arthrodesis

Jun Young Lee, Sang-Ha Park

Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University Hospital, Chosun University College of Medicine, Gwangju, Korea

Ankle arthrodesis has been used as standard treatment of ankle arthritis unresponsive to conservative treatment. Transfibular approach was used for ankles with severe deformities and minimally invasive arthroscopic ankle arthrodesis was used for patients with mild deformities. Anterior approach may be used when lateral approach couldn't be performed. Tibiototalcaneal arthrodesis is standard treatment for coexisting ankle and subtalar arthritis, and modified Blair arthrodesis can be used if the talus body resection is necessary in severe talar necrosis. In serious infection of ankle arthritis, arthrodesis can be performed as staged operation. In cases with low bone density and severe deformities, Charcot arthropathy should be considered.

**Key Words:** Ankle, Arthrodesis

## 서 론

족관절은 원위 경골 천정과 비골이 거골과 관절면을 이루는 관절로서 이 부위에 관절염이 발생하면 통증 및 족관절 관절면의 부조화, 관절 운동 제한 등을 야기할 수 있다. 고관절 및 슬관절과는 대조적으로 대부분의 족관절 관절염은 후외상성으로 발생하며 연골손상 및 인대 부전증 등의 원인에 의한다.<sup>1)</sup> 보존적 치료에 반응하지 않는 족관절 관절염의 표준 치료로 족관절 유합술이 사용되고 있다.

족관절 유합술의 여러 가지 방법들은 1879년 Albert가 처음 소개한 후 1세기 이상 기술되어 왔다. 1950년대 이전에는 내·외 고정 없이 단순 석고 고정으로 치료를 하였으나 현재는 골편간 나사 고정(interfragmentary screw fixation)을 많이 시행하고 있고 이 기법

을 통하여 만족할 만한 강도의 압박력을 얻을 수 있게 되었다.

## 본 론

## 1. 일반적인 상황에서의 유합술

족관절 유합술의 대상이 되는 환자들은 대부분 의미 있는 외상 후 변형을 가지고 있기 때문에, 이러한 환자들에게는 개방성 족관절 유합술이 더 용이할 수 있다. 수술자는 개방성 족관절 유합술을 통하여 경골관절 관절을 관절 유합에 적합한 위치로 만들 수 있다. 변형이 적은 환자에게는 관절경을 이용한 술식이나 최소 침습적인 mini-open 술식을 적용할 수 있고 중등도의 변형이 있는 환자에게는 경비골 접근 및 내고정술을 통하여 관절 고정술을 시행할 수 있다.<sup>2)</sup>

## 1) 경비골 외측 접근법에 의한 족관절 고정술

최근 대부분의 족관절 고정술을 위한 외과적인 접근법은 외측 경비골 도달법이다. 골절술 후 원위 비골은 골치환 또는 관절 고정술의 견고함을 향상시켜줄 지지대로 이용된다. 원위 경골과 거골 원개(talar dome)에 dome cut 또는 flat cut을 적용할 수 있는데,

**Received** October 27, 2014 **Revised** November 13, 2014 **Accepted** November 14, 2014**Corresponding Author:** Jun Young Lee

Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University Hospital, 365 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 501-717, Korea

Tel: 82-62-220-3147, Fax: 82-62-226-3379, E-mail: leejy88@chosun.ac.kr

**Financial support:** None.**Conflict of interest:** None.

Copyright ©2014 Korean Foot and Ankle Society. All rights reserved.

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

dome cut은 길이를 거의 손실되지 않게 하지만 교정각이 작은 반면에 flat cut은 교정각이 크지만 관절 높이의 손실을 야기할 수 있다. 내측 복사골은 변형을 교정하는 데 방해되지 않는다면 가급적 보존하여야 한다. 보행 시 최대한의 기능적 결과를 위하여 최종적인 정렬 각도는 후족부의 외반 5도, 족배 족저 굴곡의 중립위, 회전 정도는 반대측과 비교하여 동일하거나 5~10도의 외측 회전이 좋으며, 거골 원개의 전방이 경골의 전방과 같은 정렬선에 위치하도록 후방전위를 하여야 한다.<sup>3)</sup>

이후 관절 고정술은 대개 6.5 mm 또는 7.3 mm의 short-threaded, cannulated, cancellous 유형의 세 개의 나사못으로 고정한다.<sup>4,5)</sup> 세 개의 나사못으로 이루어진 족관절 고정술은 두 개의 나사못으로 고정한 경우보다 더 큰 기계역학적 견고함을 가진다.<sup>6,7)</sup> 세 개의 나사못을 이용하는 방법은 두 개의 나사못 교차와 세 번째 후-전 방향의 “home run” screw를 사용한다.<sup>1,8)</sup> 현재 이런 기법의 족관절 고정술이 널리 쓰이고 있고, 장기 추시 시 유합률은 수술 후 12주에서 75%~100%까지 보고되며 90% 이상의 환자에서 높은 만족도를 보이고 있다(Fig. 1).<sup>9,10)</sup>

## 2) 관절경적 족관절 고정술

골소실이 없을 때나 최소 또는 변형이 없는 족관절 관절염의 치료로 관절경적 족관절 고정술이 대안적인 기술이다.<sup>11)</sup> 초기 관절경적 족관절 고정술은 내·외반 5도 이내의 변형이 심하지 않은 환자에게만 시행되었지만 최근에는 관상면에서 26도까지 변형이 있는 환자에게도 시행되고 좋은 결과를 보이고 있다.<sup>12)</sup>

이 술기의 이점은 작은 절개가 가능하여 피부 상흔, 상처의 벌어짐 및 수술 후 감염의 위험성을 최소화할 수 있고 원위 비골을 보존하여 회복에 영향을 미치는 비골 동맥을 보존할 수 있는 것이다. 따라서 연부조직 상태가 좋지 않은 환자나 혈관병증이 있는 환자에게도 시행할 수 있고 혈우병성 관절염 환자나 감염 후 관절염 환

자에게도 시행할 수 있다. 하지만 활동성 감염 환자나 Charcot 신경관절병증 환자에게는 금기이다.<sup>3)</sup>

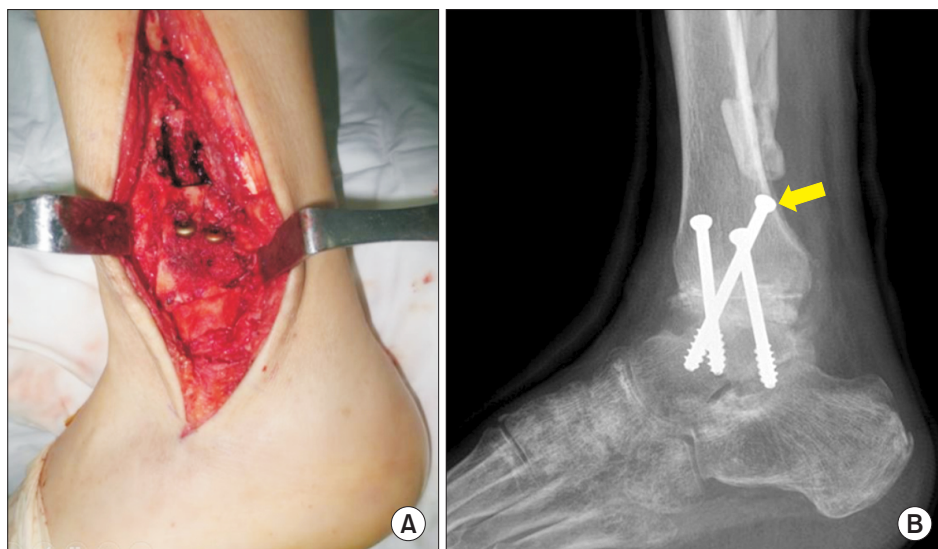
관절경적 고정술은 족관절을 견인하면서 두 개나 세 개의 삽입구를 통하여 시행하고 관절연골과 연골하골을 큐렛(curette)이나 연마기(mechanical burr)를 이용해서 제거한다. 이후 경피적으로 두 개 혹은 세 개의 나사못을 이용하여 고정을 한다.

1983년 이 시술법이 소개된 후로 Ogilvie-Harris 등<sup>13)</sup>은 19예의 관절경적 관절 고정술을 시행 후 89%의 유합률 및 10.5주의 유합 기간을 보고하였다. 또한 Myerson과 Quill<sup>14)</sup>은 33명의 환자에서 족관절 고정술을 시행하고 개방성 족관절 고정술과 관절경적 족관절 고정술의 결과를 비교하여 발표하였다. 이 연구에서 관절경적 족관절 고정술 그룹은 평균 8.7주의 유합 기간과 100% 유합률을 보였으며, 개방성 족관절 고정술 그룹은 평균 14.5주의 유합 기간과 94%의 유합률을 보였다. 관절경적 고정술이 개방성 고정술에 비해 골유합 기간과 유합률에 있어 더 우수한 결과를 보였으나, 개방성 고정술의 대상으로 변형이 더 크거나 골괴사가 있는 환자가 더 많이 포함된 결과였다.

관절경적 족관절 고정술의 단점으로 첫째, 기술적으로 고도의 숙련도가 요구되는 점과 둘째, burr로 전처치를 할 때 골 표면의 열성 손상으로 상대적으로 높은 불유합의 위험도를 들 수 있다.<sup>15)</sup>

## 3) 최소 침습 족관절 고정술

개방성 족관절 고정술과 관절경적 족관절 고정술의 단점을 극복하고 장점을 합치기 위해 변형이 없거나 미미한 환자나 골소실이 없는 환자에게 최소 침습 혹은 “mini-open” 기술이 대안으로 사용될 수 있다. 최소 침습 관절 고정술의 이점으로는 (1) 절개 크기를 줄여주어 피부 상흔, 상처의 벌어짐 및 수술 후 감염의 위험성을 최소화시켜주고, (2) 원위 비골을 보존, (3) 비골 동맥을 보존해주며, (4) 골 표면에 burr를 이용한 전처치 과정을 생략하여 열성 골



**Figure 1.** (A) This is a photograph of ankle arthrodesis performed with transfibular approach. (B) Home-run screw (arrow) was inserted from posterolateral aspect of tibia distally to talar head.

사의 빈도가 낮고, (5) 유합 기간이 짧은 점 등을 들 수 있다.<sup>2)</sup>

접근법으로 전내측과 전외측 관절경 입구를 넓힌 2개의 2 cm 가량의 수직 절개가 많이 사용되고 있다(Fig. 2). 전 경골건 내측으로 건과 비골의 앞쪽 경계 사이에 관절막까지 전내측 절개를 시행하고 이 절개를 통해서 curette와 chisel을 사용하여 관절 연골과 연골하골을 제거한다. 열성 괴사를 유발하여 관절 고정술의 불유합을



**Figure 2.** This is a photograph of ankle arthrodesis with two miniarthrotomy incisions, one just medial to tibialis anterior tendon and another just lateral to peroneus tertius tendon.

야기할 수도 있는 power saw와 burr 모두 사용하지 않고 경피적으로 두 개 혹은 세 개의 해면골 나사를 이용하여 고정한다.

지금까지 최소 관절 절개술을 통한 관절 고정술은 제한적으로 보고되고 있다. Miller 등<sup>16)</sup>은 32예에서 최소 절개 관절 고정술을 시행하고, 평균 8주의 유합 기간과 96.8%의 유합률을 보고하였으며 Paremain 등<sup>15)</sup>은 15예의 족관절에 시행하고 평균 6주의 유합 기간과 100%의 유합률을 보고하였다.

#### 4) 대안적 수술적 접근

외상 후 관절염을 가진 많은 환자들은 여러 번 수술이 필요한 경우가 많다. 상처 치유 문제로 전방 접근법을 사용할 수 없는 환자들에서는 Gruen과 Mears<sup>17)</sup>가 제안한 후방 접근법이나 Campbell 등<sup>18)</sup>이 시도한 장무지 신전건과 장족지 신전건 사이를 통한 전방 접근법 같은 대체적인 접근법이 더 좋은 결과를 보일 수 있다(Fig. 3). 전방 접근법의 추가적인 이점으로는 관절성형술로 전환 시 사용할 수 있는 비골을 보존할 수 있고 더 나아가서 관절성형술 시 시행하는 절개와 같은 절개를 이용할 수 있어서 접근이 용이하고 창상 문제 발생 빈도가 낮다는 점을 들 수 있다. 하지만 족배 동맥과 심부 비골 신경 손상, 그리고 절개 피부편 등의 손상 가능성이 있다는 단점이 있다.



**Figure 3.** (A) This is a photograph showing the skin incision drawing for ankle arthrodesis with anterior approach. (B) Anterior longitudinal skin incision was made beginning 8 cm proximal to the ankle joint and ending distally at the medial cuneiform.

## 2. 복합적인 상황에서의 관절 유합술

### 1) 인접 관절염과 관련한 변형의 증가

족관절 관절염과 복잡한 변형을 가진 환자들을 평가할 때 후족부의 퇴행성 변화를 평가해 보는 것도 중요하다. 족관절 관절염 및 관절 변형이 악화되면 거골하와 거주상관절에 전달되는 힘이 증가되고 이는 해당 관절의 퇴행성 변화를 가져온다. 이후 후경골건의 기능장애로 초기에 강직성 편평외반족 및 후족부 관절염을 야기시키며<sup>19)</sup> 진행하면 후족부의 외반 변형이 악화되고, 삼각근의 기능 이상, 강직성 족부 변형 및 족관절 관절염을 유발한다.<sup>20,21)</sup>

현재 족관절과 거골하관절 질환의 표준적인 치료 방법은 경-가-종골(tibiototalcaneal, TTC) 관절 고정술이다. 측방 경비골 접근법과 후방 접근법을 통해 족관절과 거골하관절을 노출시킬 수 있으며, 후방 접근법은 복와위에서 아킬레스건을 Z 모양으로 절개해 관절 후방에 도달하기 때문에 측방경비골 접근법에 비해서 거골의 혈액공급 손상의 가능성이 더 낮고, 시야가 넓어 관상면의 변형을 바로잡는 데 용이하다.<sup>22)</sup>

TTC 관절 고정술이 족관절과 거골하관절에 복잡한 변형이 있는 환자에게 적합하지만, 현재 이 시술에 적합한 표준적인 삽입물이 없다. 나사못은 정도의 변형을 가진 환자에게 간편하게 사용할 수 있지만 중등도의 변형이 있을 때 충분한 압박력과 안정성을 제공하지 못한다.<sup>23)</sup> Thin-wire를 이용한 외부 고정술은 다평면에서 적용되기 때문에 충분한 견고함을 제공할 수 있지만 이 장치는 pin tract 감염의 위험성이 존재한다. 변형과 함께 심각한 골소실이 있는 환자들은 골수내장 고정술이 적합하며 칼날(blade) 금속판과 잠김(locking) 금속판은 복합적인 면을 고정하는 고정각(fixed-angle) 삽입물로 작용하기 때문에 견고한 고정력을 줄 수 있어 골다공증 환자에게 유리한 장치이다. 거주상관절염, 족관절 변형, 거골하관절 질환이 있는 경우 정형외과적 치료는 범거골(pantalar) 관절 고정술이 좋지만 족관절과 거골하관절 질환에는 여전히 TTC 관절 고정술을 많이 사용하고 있다.<sup>2)</sup>

### 2) 거골 괴사

거골 괴사의 1차적인 원인은 외상, 약물, 혈관 폐쇄질환이다. 거골경부와 거골체의 골절이나 거골 주위의 탈골이 발생하면 혈액공급 장애가 발생하고 이 부위의 해부학적 특징으로 외상 후 거골 괴사의 발생률이 상대적으로 높다.<sup>24,25)</sup> 거골 괴사를 유발할 수 있는 가장 흔한 약물로 스테로이드와 항암 치료제가 있으며 고지혈증, 겸상 적혈구증, 루푸스 등을 포함한 혈관 폐쇄질환도 골괴사를 야기할 수 있다.

거골의 골괴사를 진단하기 위하여 족관절의 단순 촬영과 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)을 이용할 수 있는데, 골괴사의 초기 방사선 사진에서 거골체의 골밀도 증가와 괴사 골 주위의 상대적인 골감소증이 특징적으로 나타날 수 있으며 골괴사가

악화되면 거골 주위 관절에서 거골이 주저앉고 퇴행성 변화가 일어난다. MRI는 골괴사의 양을 정량화하는 데 가장 유용하며 골괴사가 일어나면 반점형이나 구불구불한 뱀모양의 부종처럼 보인다.

현재 거골에 발생한 골괴사의 단계를 분류하기 위해 Ficat과 Arlet의 대퇴 골두괴사 분류법을 수정하여 사용하고 있다.<sup>26)</sup>

Stage 1: 골주사(technetium)와 MRI에서 양성 변화

Stage 2: 거골의 붕괴가 없는 연골하 경화증

Stage 3: 경골거골관절이나 거골하관절의 퇴행성 변화가 없는 거골의 붕괴

Stage 4: 경골거골관절이나 거골하관절의 퇴행성 변화가 있는 거골의 붕괴

거골 괴사의 치료 지침으로 골괴사 병기와 거골원개 내의 반점형의 골괴사 분포를 이용할 수 있다. 1기와 2기의 골괴사의 치료는 거골의 붕괴를 방지하고 추후 족관절 고정술을 피하는 것에 맞춰져 있다. 이러한 치료는 비수술적 방법으로 슬개건 부하 보조기를 사용하여 거골에 가해지는 하중을 줄이는 것, 수술적 방법으로 핵심압박술과 골이식 등이 있다.<sup>27,28)</sup> 골괴사가 거골의 붕괴를 동반하는 3기, 4기로 진행되면 족관절 고정술이 필요하다. 이때 거골의 괴사된 부위를 제거하고 자가골이나 동종골이식을 하면서 족관절에 충분한 압박력을 주고 견고하게 유지시켜 주는 것이 중요하다. 만약 경골 거골관절에만 골괴사가 발생하고 거골체와 거골경부에 혈액공급이 원활하다면 골이식을 이용한 경거골 관절유합술을 사용할 수 있다. 거골체에 생존 가능한 골이 충분하면, 나사못 고정만으로 족관절에 충분한 압박을 할 수 있다. 하지만 골괴사로 인한 골손실이 크다면 나사못보다는 금속판이나 골수내 삽입물 및 외고정 장치들이 족관절 고정에 더 유용하다.

만약 골괴사로 거골체 대부분의 절제가 필요한 상황에서는 modified Blair fusion이 경거골 관절 고정에 대안적인 방법이다. 1943년, Blair<sup>29)</sup>는 분쇄가 심한 거골체 골절의 치료로 거골체를 제거하고 원위 경골의 전방 피질골을 더 원위부로 거골경부까지 이동시켜 족관절을 유합시키는 술기를 발표하였다. 이후 수정된 방법으로 족관절을 유합시키는 여러 보고가 있었으나 결과는 반반이었다. Morris<sup>30)</sup>는 네 명의 환자에게 modified Blair fusion을 수행하였고, 마지막 추사에서 통증이 거의 없이 100% 유합률을 보고한 반면, Dennis와 Tullos<sup>31)</sup>는 7명의 환자에서 29%의 불유합을 보고하였다. 이 술기에서 거골체가 제거되었을 때 거골하관절의 후관절이 제거되어 전, 중관절에 가해지는 힘이 증가되었고 이에 따라 거골하 퇴행성 관절염의 발생률도 증가되었다. 비록 modified Blair fusion이 몇몇의 환자들에게는 좋은 결과를 보였으나 광범위한 골괴사로 골손실이 커지면 이 방법을 적용할 수가 없었다.

골괴사가 진행된 환자에서는 골이식과 더불어 TTC 관절 고정술이 더 좋은 결과를 보인다.<sup>32)</sup> 이 술식은 대퇴 골두나 장골 삼중 피질골을 소실된 거골체 부분에 이식하여 과도한 하지 단축을 방지할 수 있다. 이 술기에 표준화된 기구는 없지만 현재 심각한 골괴

사를 가진 환자에게 역행성 골수강내 금속정이 제일 적합한 기구이다. 근위부와 원위부의 잠김 나사를 통하여 심각한 골소실을 극복할 수 있고 금속정을 삽입 시 거골체의 압박 및 잠재적인 재혈관형성에 이점을 가질 수 있다.

### 3) 감염 후 족관절 관절염

감염은 드물지만 족관절 관절염의 심각한 원인이다. 족관절 감염은 대부분 이전의 수술이나 궤양같은 개방창, 그리고 관통 상처 및 개방 골절에서 흔하게 일어난다. 일단 관절이 감염되면 세균의 효소작용으로 연골 손상의 위험성이 높아지며 연골이 파괴될수록 감염이 경골 원위부나 거골로 퍼질 수 있다.<sup>2)</sup> 감염 후 족관절 관절염 환자에게는 관절염뿐만 아니라 감염의 박멸 및 골수염의 경우에서 골손실을 최소화하기 위한 복합적인 상황에 대한 고려가 필요하다.

이전에 감염을 가진 환자에서도 내고정을 통한 표준 유합술을 시행할 수 있다. 하지만 수술실 내에서 동결 절편(frozen section)을 통한 조직학적인 검사가 필요하고, 만약 잔류 감염이 있다면 초기에 세척술과 변연절제술을 하고 항생제가 포함된 시멘트 스페이서를 이용하여 감염을 조절한 후에 관절 유합술을 시행하는 단계적 수술이 필요하다. 관절 주위에 활동성 감염이 있다면 일단계 또는 이단계 술기를 통하여 감염 물질의 완전한 변연절제술을 시행한 후 외고정기를 이용하여 족관절 유합술을 시행해야 한다.<sup>35)</sup> Kollig 등<sup>34)</sup>은 이러한 방식으로 15예의 족관절 유합술을 시행하였고 93%의 유합률을 보고하였다. 또한 이러한 환자들은 내과적인 질환이나 전신 질환을 가지고 있는 경우가 많고, 내고정 장치가 감염의 원인이 될 수도 있기 때문에, 외고정이 감염 후 관절염과 같은 합병증에 가장 좋다고 보고하였다.

### 4) Charcot 신경관절병증

Charcot 신경관절병증 환자는 골절과 골 함몰, 관절 파괴가 동시에 발생하며 주로 외상의 과거력이 있는 신경병증 환자에게 발생한다. Charcot 신경관절병증의 가장 흔한 원인은 당뇨병이며, 당뇨병 환자는 혈관 질환이나 신경병증 등의 당뇨병 후유증으로 인하여 골 밀도가 낮다.<sup>2)</sup> Charcot 신경관절병증 환자를 치료할 때는 관절의 변형과 불안정증, 골소실뿐만 아니라 족관절 고정술에 유해한 영향을 끼칠 수 있는 환자의 내과적 질환까지 고려해야 한다. 비수술적 치료에 반응하지 않는 Charcot 신경관절병증에 대한 치료는 족관절 고정술이 표준이다. 그러나 인접 관절의 침범 여부와 감염의 유무에 따라서 수술의 유형과 방법이 다양해진다. 경거골 관절만 침범되어 있고 골소실이 적다면 경비골 족관절 고정 및 나사못 교차 고정이나 금속판 고정을 할 수 있다. 최근에는 이러한 환자에게 족관절 고정술을 시행할 때 골감소증 환자에서 강한 고정력을 보이는 칼날 금속판(blade plate)과 잠김 금속판(locking plate)도 사용하고 있다.

Charcot 신경관절병증의 치료는 인접 관절의 침범, 심한 변형, 골유실 때문에 더 복잡해질 수 있다. 만약 경거골 및 거골하관절이 침범되었다면, 골이식을 동반한 TTC 관절 고정술이 권장된다. Ahmad 등<sup>35)</sup>은 6명의 환자에게 잠김 금속판을 사용했으며 83.3%의 골유합을 보고하였다. 또한 몇몇 저자들은 TTC fusion에 골수내 고정을 시행 후 71%~78%의 골유합률을 보고하였다.<sup>36,37)</sup>

거의 혹은 완전한 거골 골소실이 합병된 Charcot 신경관절병증의 치료는 TTC 관절 고정술뿐만 아니라 거골 절제술이 필요한 경우가 많다. Myerson 등<sup>38)</sup>은 26예의 환자에게 blade plate를 이용하여 TTC 관절 고정술을 시행하고 92.3%의 골유합을 보고하였으며 Pinzur와 Noonan<sup>39)</sup>은 9명의 환자에게 TTC 관절 고정술을 시행하고 전 예에서 완전한 골유합을 보고하였다.

Charcot 신경관절병증 환자는 대부분이 골밀도가 낮으며 유합술을 위한 자가 이식골도 충분하지 않다. 따라서 이런 환자에서 골유합을 높이기 위하여 수술 중에 이식 가능한 전자기장 골자극기를 사용할 수도 있다.<sup>40)</sup>

## 결론

관절 고정술의 난이도를 결정하는 것은 환자측 요인이다. 경도의 골소실과 함께 경도 또는 중도도의 족관절 변형을 가진 경우에는 경비골 족관절 고정술이 높은 유합률을 보이고 좋은 임상 결과를 얻는 데 신뢰성 있고 재현성이 높은 방법으로 증명되었다. 만약 환자가 경도의 변형 또는 변형이 없을 경우에는 관절경 또는 최소 침습적 시술로 족관절 유합술을 시행할 수 있으나, 인접한 관절에 관절염이 있거나 또는 골소실과 변형이 심한 환자의 경우에는 유용하지 않을 수 있다. 또한 당뇨, Charcot 신경관절병, 감염 등 환자 측의 다른 요인들은 족관절 관절염의 치료를 더 어렵게 만들 수 있다.

족관절 고정술은 결코 간단한 수술이 아니다. 수술 전 정확한 환자 평가, 골 표면의 섬세한 전처치, 족관절 위치 및 견고한 고정술에 대한 세심한 이해가 필요하다. 또한 특정 환자에게 어떤 종류의 족관절 고정술이 가장 적합한지에 대한 결정에 의사의 충분한 경험을 필요로 한다.

## REFERENCES

1. Raikin SM. Arthrodesis of the ankle: arthroscopic, mini-open, and open techniques. *Foot Ankle Clin.* 2003;8:347-59.
2. Ahmad J, Raikin SM. Ankle arthrodesis: the simple and the complex. *Foot Ankle Clin.* 2008;13:381-400.
3. Blankenhorn BD, Saltzman CL. Ankle arthritis. In: Coughlin MJ, Saltzman CL, Anderson RB, editors. *Mann's surgery of the foot and ankle.* 9th ed. Philadelphia: Saunders/Elsevier; 2013. p.1037-74.
4. Flückiger G, Weber M. The transfibular approach for ankle arthrodesis. *Oper Orthop Traumatol.* 2005;17:361-79.

5. **Grass R, Rammelt S, Biewener A, Zwipp H.** Arthrodesis of the ankle joint. *Clin Podiatr Med Surg.* 2004;21:161-78.
6. **Dohm MP, Benjamin JB, Harrison J, Szivek JA.** A biomechanical evaluation of three forms of internal fixation used in ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 1994;15:297-300.
7. **Ogilvie-Harris DJ, Fitsialos D, Hedman TP.** Arthrodesis of the ankle. A comparison of two versus three screw fixation in a crossed configuration. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(304):195-9.
8. **Holt ES, Hansen ST, Mayo KA, Sangeorzan BJ.** Ankle arthrodesis using internal screw fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):21-8.
9. **Colman AB, Pomeroy GC.** Transfibular ankle arthrodesis with rigid internal fixation: an assessment of outcome. *Foot Ankle Int.* 2007;28:303-7.
10. **Klaue K, Bursic D.** The dorsolateral approach to the ankle for arthrodesis. *Oper Orthop Traumatol.* 2005;17:380-91.
11. **Morgan CD, Bodenstab AB.** Arthroscopic Bankart suture repair: technique and early results. *Arthroscopy.* 1987;3:111-22.
12. **Dannawi Z, Nawabi DH, Patel A, Leong JJ, Moore DJ.** Arthroscopic ankle arthrodesis: are results reproducible irrespective of pre-operative deformity? *Foot Ankle Surg.* 2011;17:294-9.
13. **Ogilvie-Harris DJ, Lieberman I, Fitsialos D.** Arthroscopically assisted arthrodesis for osteoarthrotic ankles. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75:1167-74.
14. **Myerson MS, Quill G.** Ankle arthrodesis. A comparison of an arthroscopic and an open method of treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):84-95.
15. **Paremain GD, Miller SD, Myerson MS.** Ankle arthrodesis: results after the miniarthrotomy technique. *Foot Ankle Int.* 1996;17:247-52.
16. **Miller SD, Paremain GP, Myerson MS.** The miniarthrotomy technique of ankle arthrodesis: a cadaver study of operative vascular compromise and early clinical results. *Orthopedics.* 1996;19:425-30.
17. **Gruen GS, Mears DC.** Arthrodesis of the ankle and subtalar joints. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):15-20.
18. **Campbell CJ, Rinehart WT, Kalenak A.** Arthrodesis of the ankle. Deep autogenous inlay grafts with maximum cancellous-bone apposition. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56:63-70.
19. **Kelly IP, Easley ME.** Treatment of stage 3 adult acquired flatfoot. *Foot Ankle Clin.* 2001;6:153-66.
20. **Kelly IP, Nunley JA.** Treatment of stage 4 adult acquired flatfoot. *Foot Ankle Clin.* 2001;6:167-78.
21. **Bohay DR, Anderson JG.** Stage IV posterior tibial tendon insufficiency: the tilted ankle. *Foot Ankle Clin.* 2003;8:619-36.
22. **Saltzman C.** Ankle arthritis. In: Coughlin MJ, Mann RA, Saltzman CL, editors. *Surgery of foot and ankle.* 8th ed. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2007. p.923-83.
23. **Muir D, Angliss RD, Nattrass GR, Graham HK.** Tibiotalocalcaneal arthrodesis for severe calcaneovalgus deformity in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2005;25:651-6.
24. **Mulfinger GL, Trueta J.** The blood supply of the talus. *J Bone Joint Surg Br.* 1970;52:160-7.
25. **Peterson L, Goldie I, Lindell D.** The arterial supply of the talus. *Acta Orthop Scand.* 1974;45:260-70.
26. **Horst F, Gilbert BJ, Nunley JA.** Avascular necrosis of the talus: current treatment options. *Foot Ankle Clin.* 2004;9:757-73.
27. **Mont MA, Schon LC, Hungerford MW, Hungerford DS.** Avascular necrosis of the talus treated by core decompression. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78:827-30.
28. **Hussl H, Sailer R, Daniaux H, Pechlaner S.** Revascularization of a partially necrotic talus with a vascularized bone graft from the iliac crest. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1989;108:27-9.
29. **Blair H.** Comminuted fractures and fracture dislocations of the body of the astragalus. Operative treatment. *Am J Surg.* 1943;59:37-43.
30. **Morris HD.** Aseptic necrosis of the talus following injury. *Orthop Clin North Am.* 1974;5:177-89.
31. **Dennis MD, Tullos HS.** Blair tibiotalar arthrodesis for injuries to the talus. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62:103-7.
32. **Adelaar RS, Madrian JR.** Avascular necrosis of the talus. *Orthop Clin North Am.* 2004;35:383-95.
33. **Baumhauer JF, Lu AP, DiGiovanni BF.** Arthrodesis of the infected ankle and subtalar joint. *Foot Ankle Clin.* 2002;7:175-90.
34. **Kollig E, Esenwein SA, Muhr G, Kutscha-Lissberg F.** Fusion of the septic ankle: experience with 15 cases using hybrid external fixation. *J Trauma.* 2003;55:685-91.
35. **Ahmad J, Pour AE, Raikin SM.** The modified use of a proximal humeral locking plate for tibiototalcalcaneal arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2007;28:977-83.
36. **Dalla Paola L, Volpe A, Varotto D, Postorino A, Brocco E, Senesi A, et al.** Use of a retrograde nail for ankle arthrodesis in Charcot neuroarthropathy: a limb salvage procedure. *Foot Ankle Int.* 2007;28:967-70.
37. **Caravaggi C, Cimmino M, Caruso S, Dalla Noce S.** Intramedullary compressive nail fixation for the treatment of severe Charcot deformity of the ankle and rear foot. *J Foot Ankle Surg.* 2006;45:20-4.
38. **Myerson MS, Alvarez RG, Lam PW.** Tibiocalcaneal arthrodesis for the management of severe ankle and hindfoot deformities. *Foot Ankle Int.* 2000;21:643-50.
39. **Pinzur MS, Noonan T.** Ankle arthrodesis with a retrograde femoral nail for Charcot ankle arthropathy. *Foot Ankle Int.* 2005;26:545-9.
40. **Hockenbury RT, Gruttadauria M, McKinney I.** Use of implantable bone growth stimulation in Charcot ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2007;28:971-6.