

저위 경골 절골술

최준영, 서진수

인제대학교 의과대학 일산백병원 정형외과학교실

Low Tibial Osteotomy

Jun Young Choi, Jin Soo Suh

Department of Orthopedic Surgery, Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Goyang, Korea

Low tibial osteotomy is an extra-articular procedure that realigns the mechanical axis, restoring ankle function. It is also an alternative surgical procedure to manage early osteoarthritis of the ankle joint. This can mainly address ankle varus/valgus, as well as procurvatum/recurvatum, internal/external rotation, equinus, calcaneus, and limb length discrepancy. The authors describe the history, mechanism, indications, and limitations of low tibial osteotomy focused on osteoarthritis of the ankle with varus malalignment reviewing several articles published thus far.

Key Words: Supramalleolar osteotomy, Ankle, Osteoarthritis

서론

족관절은 뼈에 의해 관절이 안정화되고, 인접한 족근간 관절로 외부의 힘이 분산됨으로써 관절염의 위험성이 줄어드는 구조를 가지고 있다. 족관절에서 하중을 지지하는 면적은 슬관절에 비해 매우 좁은 편이지만, 이로 인해 단위 면적당 받게 되는 압력의 양은 슬관절에 비해 상대적으로 커지게 되었다. Kimizuka 등¹⁾은 500 N의 힘이 가해졌을 때 족관절의 경우 하중을 받는 면적이 350 mm²였으며, 슬관절의 경우 1,100 mm², 고관절의 경우 1,120 mm²였다고 보고한 바 있다. 이러한 이유로 족관절은 구조적인 이상이 발생했을 때 손쉽게 관절염이 발생할 수 있으며 이에 더불어 외상에 취약한 구조를 가져 골절 후 발생하는 외상성 관절염의 빈도가 상당히 높은 관절이라 할 수 있다.²⁾ 관절염과 밀접한 연관이 있는 내과 및 경골 천장(plafond) 골절³⁾ 외에 족관절의 '불안정성'으로 초래되는

내반 변형은 골절을 제외한 외상성 관절염의 가장 큰 원인이라 할 수 있을 것이다. 편평족이나 만곡족으로 발생하는 족관절의 내반 변형 역시 비슷한 기전으로 관절염을 쉽게 초래할 수 있다.

관절염의 치료로서 관절보존 술식

족관절에 발생한 관절염의 치료 중, 최종단계의 관절염의 치료로 관절유합술이나 족관절 인공관절 전치환술이 대표적이나, 관절보존 술식으로는 관절경하 변연절제술, 인대 재건술, 신원 관절성형술 또는 절골술이 있다. 관절경하 변연절제술은 골 또는 연부조직에 의한 족관절 충돌 증후군에서 좋은 결과가 보고되고 있으나⁴⁾ 진행된 관절염에서는 제한적이며⁵⁾ 관절 연골의 완전 손실이 있는 환자에서 적용하였을 시에는 증상의 호전을 기대하기 어렵다는 단점이 있다. 인대 재건술은 족관절 불안정성이 주 원인인 초기 관절염에서 효과적이며⁶⁾ Noguchi⁷⁾는 족관절의 외측 불안정성이 내반 변형을 초래하여 관절염을 일으키는 원인이 될 수 있다고 기술한 바 있다. 하지만 Löfvenberg 등⁸⁾은 외측 인대의 손상을 받은 46예의 족관절에 대해 18년에서 23년 동안 장기간 추시한 결과, 불과 6예(13%)에서만 관절염이 발생하였다고 보고하였다. 이들의 보고는 족관절의 관절염 발생에 있어서 인대 손상이 필연적인 선행요인이

Received October 23, 2014 Revised November 11, 2014 Accepted November 12, 2014
Corresponding Author: Jin Soo Suh
Department of Orthopedic Surgery, Inje University Ilsan Paik Hospital, 170 Juhwa-ro, Ilsanseo-gu, Goyang 411-706, Korea
Tel: 82-31-910-7968, Fax: 82-31-910-7967, E-mail: sjs0506@paik.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.

된다기보다는, 오히려 원위 경골의 관절면이 내반 변형되어 있는 것이 상당히 중요한 원인이 될 수 있다는 점을 시사했다는 면에서 큰 의미를 갖는다. Sugimoto 등⁹⁾은 원위 경골 관절면에 내반 변형이 있을 시 족관절에 만성 외측 인대 손상이 발생할 위험이 증가된다고 보고하였다. 앞서 언급한 대로 외상성 관절염은 족관절에서 비교적 흔하게 발생하는 편으로, 신연 관절성형술은 족관절 정렬에 이상이 없는 젊은 환자에서 관절면의 불규칙성으로 인하여 중등도 이상의 관절염이 관절 전반에 걸쳐 진행하였을 시에 관절보존 술식의 일환으로 고려할 수 있다.¹⁰⁾

족관절 관절염 치료를 위한 저위 경골 절골술에 대한 문헌고찰

내반 변형을 동반한 족관절의 관절염 치료에 사용되는 저위 경골 절골술(low tibial osteotomy)은 슬관절에서 내반 변형을 동반한 관절염이 있을 시에 흔히 사용되는 'high tibia osteotomy'와 대조되는 의미로 'low tibia osteotomy'라고 불리기도 하는데 과상부 절골술(supramalleolar osteotomy)로 많이 알려져 있다.¹¹⁻¹⁴⁾ 기존에 알려진 적응증으로는 소아마비에 의한 잔존 변형¹¹⁾이나 선천성 척내반족,¹²⁾ 또한 비골 이상으로 인한 족관절의 외반 변형¹³⁾이나 류마티스 관절염¹⁵⁾ 혹은 혈우병성 관절염¹⁶⁾ 등이 있다. 그 외 외상 후 발생한 부정유합의 교정에도 사용되어 오고 있는데, Graehl 등¹⁶⁾은 원위 경골 골절 이후 평균 15°의 증상이 있는 내반-부정유합 8예에 대하여 원위부 2/3 지점에서 과상부 절골술을 시행하여 좋은 결과를 얻었다고 발표하였으며, Takakura 등¹⁷⁾도 원위 경골 골절 후에 발생한 내반 변형에 의한 족관절 관절염 환자에서 과상부 절골술을 시행하여 우수한 결과를 얻었다고 발표하였다. Hintermann 등¹⁸⁾도 회내-외회전 형태의 족관절 골절 후에 발생한 외반 잔존변형에 대하여 저위 경골 절골술을 시행하여 좋은 결과를 얻었다고 발표하였다.

족관절에서 발생한 특발성의 골관절염의 경우 내반 변형과 외반 변형이 모두 선행될 수 있다. Takakura 등¹⁹⁾이 5예의 내반형 관절염 환자에게 처음으로 저위 경골 절골술을 시행하고 발표한 이래, 아시아 지역에서는 수많은 보고들이 연이어 나오고 있다. Teramoto 등²⁰⁾은 외반형의 족관절 관절염 환자에 대하여 사선형의 저위 경골 절골술을 시행하여 발표한 바 있고 외반형의 관절염을 가진 대부분의 환자들에서 stage 4의 후경골건(posterior tibial tendon) 이상이 동반되었다고 보고한 바 있다. Pagenstert 등^{21,22)}은 하지의 정렬도 및 저위 경골 절골술과 종골 절골술 등에 대해 전반적으로 분석한 논문에서, 관절이 외상을 입은 경우 다양한 기전을 통해서 퇴행성 변화를 일으키게 되며, 이를 개선하기 위한 모든 형태의 수술 자체가 또 하나의 퇴행성 변화를 일으킬 만한 원인으로 작용할 수 있기 때문에, 절골술의 선택에 있어서 신중해야 함을 강조하였다.

저위 경골 절골술의 기전

슬관절의 연골세포와 비교하여, 족관절의 연골세포는 퇴행성 변화를 극복하는 능력이 뛰어나고, 손상을 받았을 때도 쉽게 회복되는 것으로 보고되고 있다.^{23,24)} 그러므로 저위 경골 절골술을 통해 족관절의 연골 손상회복을 위한 최적의 생체역학적 환경을 만들어 줄 수 있다면, 다른 관절에서 절골술을 시행하여 얻는 효과에 비해 더욱 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다. 내반형의 족관절 관절염은 경골 원위 관절면의 내반 변형으로 특징지어질 수 있으며, Oneda 등²⁵⁾은 강체 스프링 모델(rigid body spring model)을 이용한 연구에서 족관절에 내반 변형이 있을 시에는 하중이 실리는 지점(하중선, the load line)이 내측으로 이동하게 되는 것이 가장 중요한 요소이며 원위 경골 관절면의 내반 변형 자체가 족관절의 내측 응력 결집(medial stress concentration)을 유발시키지는 않는다고 보고하였다.

거골하관절은 체중을 부하하고 있는 정상 위치에서 경골에 대한 거골의 위치를 유지시키는 데 상당히 중요한 역할을 하고 있으며,²⁶⁾ Hayashi 등²⁷⁾은 내반형 관절염이 발생한 족관절의 경우 이러한 거골하관절의 보상기전에 중대한 이상이 발생할 수 있음을 보고하였는데, 앞서 언급한 하중선의 내측 이동은 거골 이하의 족부가 원위 경골 관절면의 내반 변형 선을 따라서 내측으로 이동하여 발생하는 것이라 주장하였다.

내반형 족관절 골관절염에서 시행되는 저위 경골 절골술의 기전은 내측으로 이동한 하중선 및 외측으로 분포된 내측 응력결집을 교정하는 것으로 생각된다. 강체 스프링 모델²⁸⁾ 및 사체 연구^{29,30)}를 통한 시뮬레이션상 경골의 원위 관절면이 외반 경사를 갖도록 만드는 것의 중요성이 입증되었으며, 전 하지 방사선 사진(whole leg radiograph)으로 측정할 수 있는 하중선의 위치 변화에 대해 조사한 연구에서도 슬관절 주변을 교정하는 것보다 족관절 근처에서 교정하는 것이 더 유용하다고 보고한 바 있다.⁹⁾

시상면에 있어서, Tarr 등³¹⁾이 원위 경골의 변형이 있을 시에 전 체 경-거골 접촉면 및 접촉형태, 접촉 위치의 변화가 일어난다고 보고한 바 있다. 15°의 전방 만곡(anterior bowing)이 있을 시에 42%의 변화가, 15°의 후방 만곡이 있을 시에는 40%의 변화를 보였다고 한다.

저위 경골 절골술의 적응증 및 제한점

내반형의 족관절 관절염을 치료함에 있어서 관절염의 단계를 파악하는 것은 수술 여부를 결정하기 위해서 매우 중요하다. 내반형 족관절 관절염의 경우 4개의 병기(stage)로 나뉘는데,^{32,33)} Takakura-Tanaka의 병기에 따라 관절 간격의 변화 없이 골경화 및 골극 형성이 있는 경우를 1기, 내측 관절 간격의 협소가 있는 경우를 2기, 내측 관절 간격이 소멸된 경우를 3기, 전체 관절 간격이 소

멸된 경우를 4기라 하며, 3기는 내과의 간격만 소실된 경우를 3a기, 거골 천장까지 소실된 경우를 3b기로 세분화하였다.³³⁾

저위 경골 절골술은 Takakura-Tanaka 2기 또는 3a기에서 효과적이며, 3b기에서는 만족스럽지 않다고 보고된 바 있다.³³⁾ 적어도 절골술을 위해서는 거골 천장의 연골은 유지되어야 할 것으로 생각된다. Teramoto 등³⁴⁾은 3b기의 관절염에 있어서 비골의 절골술을 포함하지 않은 원위 경골의 사선형 절골술을 고안하여 좋은 결과를 보고한 바 있다. 3b기의 족관절 격자면은 대부분 커져있거나, 상당한 거골 경사(talar tilt)를 이루고 있으므로 이 절골술의 목적은 커져있는 족관절 격자면을 줄여주는 것이 될 것이다. 비골 절골술의 시행 여부에 따라 족관절의 응력분포(stress distribution)에 변화가 올 수 있고 격자면을 줄이거나 유지할 수 있으므로 이 분야에 대한 적절한 연구가 앞으로 지속되어야 할 것으로 생각된다.

저위 경골 절골술은 재정렬을 위한 술식이기 때문에 좋은 결과를 얻기 위해서는 관절염이 진행되어 있는 관절의 이상정렬에 대하여 정확하게 평가하는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해 체중을 부하한 상태에서 전후면 및 측면 방사선 사진을 촬영하여 전후면 사진에서 경골의 축 및 원위 경골 관절면이 이루는 각도(tibial anterior surface angle, TAS) 및 측면상에서 같은 선이 이루는 각도(tibial lateral surface angle, TLS)³⁵⁾를 측정하는 것이 반드시 필요하다(Fig. 1). 정상 미국인 및 일본인³⁶⁾에서 평균 TAS 각도는 각각 93.3°, 88.1°로 확인되었으며, TLS 각도는 일본인에 있어서 81.0°로, 한국인에 있어서는 Oh와 Suh³⁷⁾가 80.4°로 보고한 바

있다.

관절염이 생긴 몇몇 족관절에 있어서 거골의 내반 경사(varus tilt)가 체중부하 전후면 사진상에서 관찰되기도 한다. 내반 경사각(varus tilt angle)이 5° 미만일 경우에는 절골술만 단독으로 시행하더라도 좋은 결과를 얻을 수 있다는 보고들이 있으나, 10° 이상일 경우 절골술 이후에 정상관절면을 얻을 수 없다는 결과들이 보고되고 있다. Lee 등³⁶⁾은 수술 전 거골 경사가 7.3° 이상일 경우에 수술 후에도 거골 경사가 남아있을 가능성이 높다고 보고하여 거골 경사여부가 중요한 수술 적응증의 지표가 된다고 보고하였다. 또한 수술 이후에 관절 운동 범위를 증가시키기는 어렵기 때문에 수술 전 관절 운동 범위가 확보되어 있는 경우가 저위 경골 절골술의 좋은 적응증이 될 것이다.

저위 경골 절골술의 종류

개방형 췌기 절골술,^{32,33,36,38-40)} 폐쇄형 췌기 절골술,^{18,41)} 사선형 절골술,^{42,43)} 반구형 절골술¹⁶⁾ 등이 보고되고 있다. 고정을 위한 도구로는 금속판³⁹⁾이나 외고정 장치^{13,42)}가 사용되고 있다.

내반형 족관절 관절염에서 외측 폐쇄형 췌기 절골술은 외측에 비골이 존재하여 기술적으로 어려울 뿐만 아니라 외측의 길이가 짧아지면서 비골근의 근력약화를 초래할 가능성이 있다. 그러므로 내반형 족관절 관절염의 교정을 위한 방법으로 많은 수의 저자들이 내측 개방형 췌기 형태의 방법을 추천하고 있다. 외상으로 인한

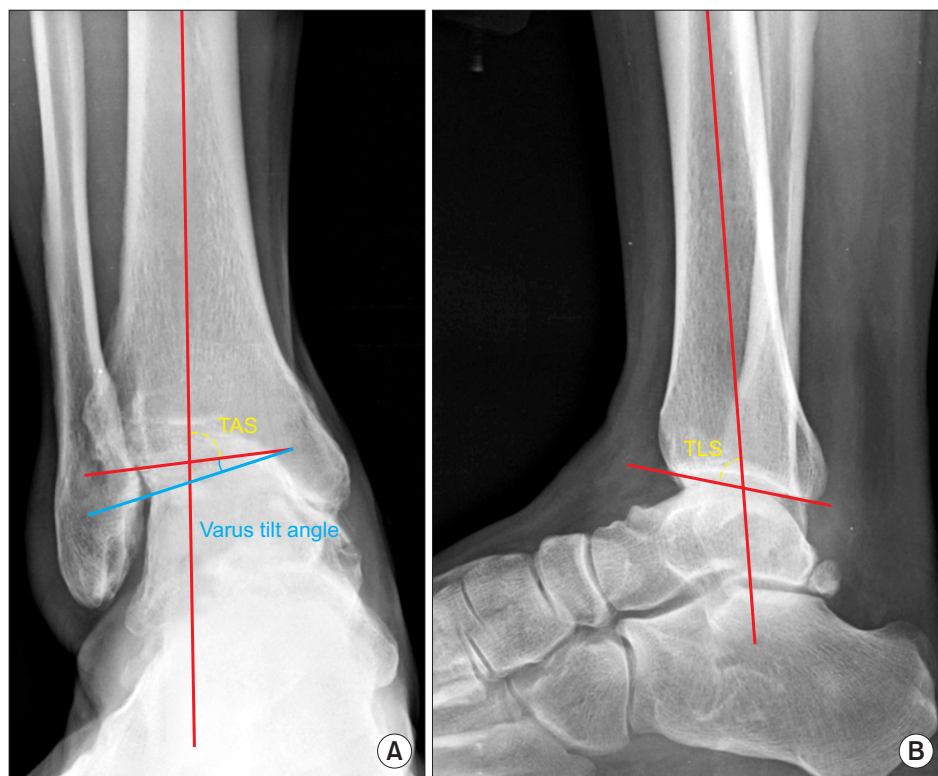


Figure 1. (A) Tibial anterior surface angle (TAS) is the angle between tibial axis and distal tibial articular surface on the weight-bearing anteroposterior image. (B) Tibial-lateral surface angle (TLS) is the same angle on the weight-bearing lateral image.

연골손상 등이 없이 TAS 각도만 교정할 경우, 정상 TAS 각도 범위 내에서 교정하는 것이 합리적일겠지만 족관절 양과와 이루는 관절면의 연골손상이 확인될 경우에는 남아있는 외측 관절면 연골에 하중이 부하되도록 조정하는 것이 필요하므로 약간 '과교정'을 하는 것이 적절한 치료방법으로 정립되고 있다. 진행된 관절염에 있어서 저교정을 하는 것보다 과교정을 하는 것이 더 좋은 결과를 가져온다는 데는 저자들 간 큰 이견이 없으나 어느 정도의 과교정을 시행할 것인가에 대해서는 많은 의견 차이를 보이고 있다. Tanaka 등³³⁾은 96°~98° 정도의 과교정을 제안하였으나 Lee 등³⁶⁾은 지나친 과교정은 오히려 외측 비골하 동통을 유발할 수 있어 TAS 95°를 목표로 하고 내반 변형 교정이 모자랄 경우 종골 절골술을 추가하여 교정하는 방법을 제안하였다. TLS의 경우 과교정 시에 거골 경부의 골극이나 원위 경골 전연의 골극을 충분히 제거하고 시행하도록 권고되고 있지만 아무래도 족배 굴곡의 제한이 초래될 수 있어 81°~82°를 목표로 교정할 것이 제안되고 있다.³³⁾

절골의 위치는 내과의 침부에서 5 cm 상방이며, 교정의 정도는 이식골의 모양에 의해 결정되므로 술 전 방사선 사진을 이용하여 절골술의 방향 및 교정각을 얻기 위해 필요한 이식골의 길이를 미리 측정해 보는 것이 필요하다. 자가 이식골의 경우 대부분 장골능 (iliac bone crest)에서 채취하며, 이식골 내측의 길이는 일반적으로 6~8 mm 사이 정도이다.

외상후 관절염의 경우, 교정은 대부분 이전에 수상 받았던 부분에서 행해져야 한다. Hintermann 등¹⁸⁾은 족관절 회내-외회전 형태의 골절 후 발생한 외반 부정유합 변형에 대하여 내반 절골술을 시행하였는데, 이들의 목표 각도는 내반 2°에서 4°였다. 외과 골절을

동반한 족관절 골절에 있어서 비골에 대한 해부학적 정복은 수술의 중요한 열쇠가 된다.⁴⁴⁾ 골절에서 비골이 짧아지면 거골의 외측 이동이 이루어지게 되므로 비골의 길이를 연장하는 것은 적절한 정복에 필수 불가결한 요소라 할 수 있다. Reidsma 등⁴⁵⁾은 부정유합에 대해 실시한 교정 절골술의 장기 추시 결과를 발표하면서 경도의 외상 후 관절염은 수술의 금기가 될 수 없으며 오히려 이러한 재건술의 강력한 적응증이 되어야 한다고 역설하며 수술까지 지연된 시간이 길어질수록 결과 역시 좋지 못하였다고 보고하였다.

저위 경골 절골술 혹은 족관절 인공관절 전치환술

많은 수의 저자가 진행된 족관절 관절염의 치료로서 관절 고정술과 관절 치환술의 결과에 대한 비교연구를 시행하였지만,⁴⁶⁻⁴⁸⁾ 절골술과 족관절 인공관절 전치환술의 결과에 대해 비교한 연구는 거의 없는 실정이다. 족관절 전치환술의 경우 정렬도에 심각한 문제가 있을 경우 적용하기 힘든 술식이므로 전치환술 이전에 저위 경골 절골술을 통하여 정렬도를 교정하는 것이 필요할 수 있다. 반대로 정상 정렬도를 보이는 족관절 관절염 환자에 대해 저위 경골 절골술이 적용되고 있지는 못한 실정이므로 이에 대한 장기 추시 결과 연구가 필요하다. 하지만 슬관절의 근위 경골 절골술(high tibial osteotomy)의 적응증⁴⁹⁾으로 유추하여 보면 60세 이하의 비교적 젊고, 내측에 국한된 관절염을 가지면서, 관절 운동 범위가 보존되어 있고 인대 불안정성이 동반되어 있지 않은 족관절 관절염 환자가 저위 경골 절골술의 좋은 적응증이 될 것으로 보인다. 족관절 관절 치환술의 결과가 슬관절 관절 치환술의 결과보다 아직까

Table 1. Different Results of Low Tibial Osteotomy Varied by Authors

| Study | First author | Follow-up | Main conclusion |
|-------|---------------------------|------------|--|
| 1 | Takakura ³²⁾ | 6 yr 11 mo | 18 patients Outcome: "excellent" 6, "good" 9, "fair" 3 TAS 82.3°→93.8°; TLS 77.4°→81.6° |
| 2 | Cheng ³⁸⁾ | 47.7 mo | 18 ankles (6 posttraumatic) Outcome: rating scale 49.6→88.5; outerbridge classification grade 3, 4→1, 2 TAS 81°→90°; TLS 79°→82° |
| 3 | Tanaka ³³⁾ | 8 yr 3 mo | 25 patients (26 ankles); Takakura stage 2: 3 ankles, 3a: 11 ankles, 3b: 12 ankles Outcome: clinical score 51→79 TAS 82.7°→98.2°; TLS 78.5°→84.7°; varus tilt angle 7.3°→5.0° |
| 4 | Lee ³⁶⁾ | 2 yr 3 mo | 16 ankles Outcome: AOFAS score 62.3→82.1; Takakura stage 2.9→2.3 Talar tilt 6.6°→4.5°; TAS 84.7°→99.6°; TLS 74.9°→84.8° |
| 5 | Park ⁵⁰⁾ | 2 yr 2 mo | 9 patients; Takakura stage 2: 1 patient, 3a: 8 patients Outcome: AOFAS score 59→89.3; VAS 6.5→0.6 TAS 83.1°→93.5°; TLS 73°→79°; talar tilt 4.3°→2.4° |
| 6 | Pagenstert ²¹⁾ | | 35 patients; TARA/ankle fusion was postponed in 91% |
| 7 | Knupp ⁵¹⁾ | 45 mo | 29 patients; all posttraumatic varus osteoarthritis Operative performed: 17 medial opening osteotomy, 12 lateral closing osteotomy Outcome: AOFAS score 52→73; VAS 4.4→2.6 |

TAS: tibial anterior surface angle, TLS: tibial lateral surface angle, AOFAS: American Orthopaedic Foot and Ankle Society, VAS: visual analogue scale, TARA: total ankle replacement arthroplasty.

지는 좋지 못한 점을 고려하면, 족관절 관절염 환자에 대하여 저위 경골 절골술이 슬관절 관절염 환자의 근위 경골 절골술보다 더 넓은 적응증을 가지고 사용할 수 있을 것으로 예측된다.

저위 경골 절골술의 결과

Takakura 등³²⁾은 족관절 관절염이 있는 18명의 환자를 대상으로 저위 경골 절골술을 시행하여 평균 6년 11개월을 추시한 결과 83.3%에서 'good' 이상의 우수한 결과를 보고하였으며, Tanaka 등³³⁾은 내반 변형이 있는 족관절 관절염 환자 25명 27족을 대상으로 저위 경골 절골술을 시행하여 우수한 결과를 보고하면서 내반 경사가 10° 이상인 경우 족관절 관절염의 호전을 얻지 못하였다고 발표하였다. Lee 등³⁶⁾은 16예의 족관절 관절염 환자를 대상으로 저위 경골 절골술을 시행하여 2년 3개월 추시 관찰하여 거골 경사가 적으며 후족부 선열이 정상이거나 경도의 내반 변형이 있는 족관절 관절염이 저위 경골 절골술의 적응증이 된다고 발표하였다. Park 등⁵⁰⁾은 9예의 환자에서 저위 경골 절골술을 시행하여 평균 2년 1개월 추시 관찰해 American Orthopaedic Foot and Ankle Society 점수가 술 전 59점에서 89.3점으로 향상되었으며 visual analogue scale 또한 술 전 6.5점에서 0.6점으로 향상된 좋은 결과를 보고하였다(Table 1).^{21,32,33,36,38,50,51)}

결 론

원위 경골에서 시행되는 저위 경골 절골술은, 내반 변형이 동반된 중등도의 족관절 관절염 치료에 있어서 좋은 결과를 얻을 수 있는 유용한 수단으로서 고려될 수 있기에 점차적으로 그 적응증의 범위가 넓어지고 있다. 좋은 수술 결과를 얻기 위해서는 수술의 적응증에 적합한 환자를 선택하는 과정이 가장 중요하다고 할 수 있겠으며, 술 전 방사선 영상을 세밀하게 분석하여 관절염의 이환 정도 및 내반 변형 정도를 확실하게 파악해야 할 것이다.

REFERENCES

1. Kimizuka M, Kurosawa H, Fukubayashi T. Load-bearing pattern of the ankle joint. Contact area and pressure distribution. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1980;96:45-9.
2. Valderrabano V, Horisberger M, Russell I, Dougall H, Hintermann B. Etiology of ankle osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467:1800-6.
3. Horisberger M, Valderrabano V, Hintermann B. Posttraumatic ankle osteoarthritis after ankle-related fractures. *J Orthop Trauma.* 2009;23:60-7.
4. Hassouna H, Kumar S, Bendall S. Arthroscopic ankle debridement: 5-year survival analysis. *Acta Orthop Belg.* 2007;73:737-40.
5. Glazebrook MA, Ganapathy V, Bridge MA, Stone JW, Allard JP. Evidence-based indications for ankle arthroscopy. *Arthroscopy.* 2009;25:1478-90.
6. Takao M, Komatsu F, Naito K, Uchio Y, Ochi M. Reconstruction of lateral ligament with arthroscopic drilling for treatment of early-stage osteoarthritis in unstable ankles. *Arthroscopy.* 2006;22:1119-25.
7. Noguchi K. Biomechanical analysis for osteoarthritis of the ankle. *J Jpn Orthop Assoc.* 1985;59:215-22.
8. Löfvenberg R, Kärrholm J, Lund B. The outcome of nonoperated patients with chronic lateral instability of the ankle: a 20-year follow-up study. *Foot Ankle Int.* 1994;15:165-9.
9. Sugimoto K, Takaoka T, Kakiyama K. Radiographical study of osteoarthritis of the ankle. *J Jpn Soc Surg Foot.* 1992;13:139-42.
10. Tellisi N, Fragomen AT, Kleinman D, O'Malley MJ, Rozbruch SR. Joint preservation of the osteoarthritic ankle using distraction arthroplasty. *Foot Ankle Int.* 2009;30:318-25.
11. McNicol D, Leong JC, Hsu LC. Supramalleolar derotation osteotomy for lateral tibial torsion and associated equinovarus deformity of the foot. *J Bone Joint Surg Br.* 1983;65:166-70.
12. Napiontek M, Nazar J. Tibial osteotomy as a salvage procedure in the treatment of congenital talipes equinovarus. *J Pediatr Orthop.* 1994;14:763-7.
13. Wiltse LL. Valgus deformity of the ankle: a sequel to acquired or congenital abnormalities of the fibula. *J Bone Joint Surg Am.* 1972;54:595-606.
14. Heywood AW. Supramalleolar osteotomy in the management of the rheumatoid hindfoot. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(177):76-81.
15. Pearce MS, Smith MA, Savidge GF. Supramalleolar tibial osteotomy for haemophilic arthropathy of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76:947-50.
16. Graehl PM, Hersh MR, Heckman JD. Supramalleolar osteotomy for the treatment of symptomatic tibial malunion. *J Orthop Trauma.* 1987;1:281-92.
17. Takakura Y, Takaoka T, Tanaka Y, Yajima H, Tamai S. Results of opening-wedge osteotomy for the treatment of a post-traumatic varus deformity of the ankle. *J Bone Joint Surg Am.* 1998;80:213-8.
18. Hintermann B, Barg A, Knupp M. Corrective supramalleolar osteotomy for malunited pronation-external rotation fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93:1367-72.
19. Takakura Y, Aoki T, Sugimoto K. The treatment for osteoarthritis of the ankle joint. *Jpn J Rheum Joint Surg.* 1986;5:347-52.
20. Teramoto T, Makino Y, Takenaka N. Two cases of valgus-type osteoarthritis of the ankle treated by distal tibial oblique osteotomy. *J Jpn Soc Surg Foot.* 2010;31:71-5.
21. Pagenstert GI, Hintermann B, Barg A, Leumann A, Valderrabano V. Realignment surgery as alternative treatment of varus and valgus ankle osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;462:156-68.
22. Pagenstert G, Knupp M, Valderrabano V, Hintermann B. Realignment surgery for valgus ankle osteoarthritis. *Oper Orthop Traumatol.* 2009;21:77-87.
23. Aurich M, Squires GR, Reiner A, Mollenhauer JA, Kuettner KE, Poole AR, et al. Differential matrix degradation and turnover in early cartilage lesions of human knee and ankle joints. *Arthritis Rheum.* 2005;52:112-9.

24. Kuettner KE, Cole AA. Cartilage degeneration in different human joints. *Osteoarthritis Cartilage*. 2005;13:93-103.
25. Oneda Y, Sugimoto K, Takakura Y. Three dimensional contact stress analysis of the ankle joint. *J Jpn Soc Surg Foot*. 1989;11:91-3.
26. Ting AJ, Tarr RR, Sarmiento A, Wagner K, Resnick C. The role of subtalar motion and ankle contact pressure changes from angular deformities of the tibia. *Foot Ankle*. 1987;7:290-9.
27. Hayashi K, Tanaka Y, Kumai T, Sugimoto K, Takakura Y. Correlation of compensatory alignment of the subtalar joint to the progression of primary osteoarthritis of the ankle. *Foot Ankle Int*. 2008;29:400-6.
28. Tanaka Y, Ohneda Y, Nakayama S. Computer simulation of low tibial osteotomy using a three dimensional rigid body spring model. *J Jpn Soc Surg Foot*. 1992;13:134-8.
29. Knupp M, Stufkens SA, van Bergen CJ, Blankevoort L, Bolliger L, van Dijk CN, et al. Effect of supramalleolar varus and valgus deformities on the tibiotalar joint: a cadaveric study. *Foot Ankle Int*. 2011;32:609-15.
30. Stufkens SA, van Bergen CJ, Blankevoort L, van Dijk CN, Hintermann B, Knupp M. The role of the fibula in varus and valgus deformity of the tibia: a biomechanical study. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93:1232-9.
31. Tarr RR, Resnick CT, Wagner KS, Sarmiento A. Changes in tibiotalar joint contact areas following experimentally induced tibial angular deformities. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(199):72-80.
32. Takakura Y, Tanaka Y, Kumai T, Tamai S. Low tibial osteotomy for osteoarthritis of the ankle. Results of a new operation in 18 patients. *J Bone Joint Surg Br*. 1995;77:50-4.
33. Tanaka Y, Takakura Y, Hayashi K, Taniguchi A, Kumai T, Sugimoto K. Low tibial osteotomy for varus-type osteoarthritis of the ankle. *J Bone Joint Surg Br*. 2006;88:909-13.
34. Teramoto T, Otsuka K, Makino Y. Dynamic assessments of the osteoarthritis of the ankle joint treated by distal tibial oblique osteotomy. *J Jpn Soc Surg Foot*. 2006;27:48-53.
35. Katsui T, Takakura Y, Kitada C. Roentgenographic analysis for osteoarthritis of the ankle joint. *J Jpn Soc Surg Foot*. 1980;1:52-7.
36. Lee WC, Moon JS, Lee K, Byun WJ, Lee SH. Indications for supramalleolar osteotomy in patients with ankle osteoarthritis and varus deformity. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93:1243-8.
37. Oh HK, Suh JS. Tibial axis-talar ratio measured on standing ankle lateral radiographs. *J Korean Foot Ankle Soc*. 2006;10:140-3.
38. Cheng YM, Huang PJ, Hong SH, Lin SY, Liao CC, Chiang HC, et al. Low tibial osteotomy for moderate ankle arthritis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2001;121:355-8.
39. Lui TH. Opening wedge low tibial osteotomy: a minimally invasive approach. *Foot Ankle Surg*. 2011;17:1-7.
40. Warnock KM, Johnson BD, Wright JB, Ambrose CG, Clanton TO, McGarvey WC. Calculation of the opening wedge for a low tibial osteotomy. *Foot Ankle Int*. 2004;25:778-82.
41. Stamatis ED, Myerson MS. Supramalleolar osteotomy: indications and technique. *Foot Ankle Clin*. 2003;8:317-33.
42. Horn DM, Fragomen AT, Rozbruch SR. Supramalleolar osteotomy using circular external fixation with six-axis deformity correction of the distal tibia. *Foot Ankle Int*. 2011;32:986-93.
43. Elomrani NF, Kasis AG, Tis JE, Saleh M. Outcome after foot and ankle deformity correction using circular external fixation. *Foot Ankle Int*. 2005;26:1027-32.
44. Yablon IG, Heller FG, Shouse L. The key role of the lateral malleolus in displaced fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg Am*. 1977;59:169-73.
45. Reidsma II, Nolte PA, Marti RK, Raaymakers EL. Treatment of malunited fractures of the ankle: a long-term follow-up of reconstructive surgery. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92:66-70.
46. Esparragoza L, Vidal C, Vaquero J. Comparative study of the quality of life between arthrodesis and total arthroplasty substitution of the ankle. *J Foot Ankle Surg*. 2011;50:383-7.
47. Saltzman CL, Kadoko RG, Suh JS. Treatment of isolated ankle osteoarthritis with arthrodesis or the total ankle replacement: a comparison of early outcomes. *Clin Orthop Surg*. 2010;2:1-7.
48. Haddad SL, Coetzee JC, Estok R, Fahrback K, Banel D, Nalysnyk L. Intermediate and long-term outcomes of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. A systematic review of the literature. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89:1899-905.
49. Amendola A, Bonasia DE. Results of high tibial osteotomy: review of the literature. *Int Orthop*. 2010;34:155-60.
50. Park JT, Eom JS, Jung HG. Supramalleolar tibial osteotomy for medial compartment ankle osteoarthritis. *J Korean Orthop Assoc*. 2013;48:89-95.
51. Knupp M, Bolliger L, Hintermann B. Treatment of posttraumatic varus ankle deformity with supramalleolar osteotomy. *Foot Ankle Clin*. 2012;17:95-102.