



# 발목 관절 전치환술에서의 연부조직 재정렬술

최성욱, 김대환, 강현성

제주대학교 의과대학 정형외과학교실

## Soft Tissue Balancing on Total Ankle Replacement Surgery

Sungwook Choi, Dae Whan Kim, Hyunseong Kang

Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Jeju National University, Jeju, Korea

Despite the advances in total ankle replacement (TAR), TAR has emerged as a promising alternative to ankle arthrodesis, particularly in severe ankle arthritis. Restoring ankle stability and alignment is the most important technical consideration and the goal of TAR. Hence, additional procedures, such as soft tissue balancing and osteotomies, are often critical parts of surgical planning. This article reviews the basics of joint balancing, offering suggestions on procedure selection for ligamentous balancing and varus and valgus malalignment in TARs.

**Key Words:** Total ankle replacement, Ligament balance, Soft-tissue balance, Alignment, Ankle

### 서 론

4세대에 걸친 디자인의 수많은 개선 및 접근 방식의 변화를 거쳐 발목 인공 관절 치환술(total ankle replacement, TAR)은 발목 관절 유합술에 대한 적절한 대안으로 발전했다. 최근 진행된 장기간에 걸친 TAR 환자들의 수술 후 예후에 대한 추적 조사는 발목 관절 유합술의 예후와 비슷한 결과를 보여주며, 중기 및 장기 예후에 대한 체계적인 문헌 고찰은 TAR과 관절 유합술의 초기 합병증 발생 및 치료 실패율이 두 수술법에서 큰 차이가 없거나 TAR에서 더 나은 결과를 나타낸다는 것을 보여준다.<sup>1-7)</sup> TAR이 발목 관절 유합술에 비해 보행 분석에서 보다 정상 보행에 더 가까운 패턴을 보인다는 결과는 TAR이 발목 관절 유합술보다 효과적인 수술법일 수 있다는 반증이 될 수 있다.<sup>8)</sup>

TAR은 발목 관절의 해부학적 구조를 최대한 복원함으로써 통증을 완화하고 운동 기능을 개선시키며, 인접 관절의 관절염 발병을 지연시키는 것을 목표로 발전되어 왔다. 성공적인 발목 관절 치환술의 핵심 원칙은 체중 부하 중 발목의 해부학적 정렬과 안정성을 얻는 것이다. 수많은 연구에서 발목 정렬과 안정성이 해부학적으로 더 유사할수록 일반적으로 수명이 더 길어진다고 보고되었다.<sup>8-10)</sup> 또한 주변 관절의 관절염, 변형 또는 불균형은 발목 인공 관절의 기능, 정렬 및 수명에 영향을 미친다. TAR을 진행하는 데 해부학적으로 보다 정상에 근접한 발목 관절의 정렬과 안정성의 회복을 위해 현재도 수많은 연구가 이뤄지고 있다. 본 고찰에서는 TAR 시행 전/후 발목 관절의 올바른 정렬 및 유지를 위해 필요한 연부조직에 대한 평가 및 수술적 교정 방법에 대해 소개하고자 한다.

### 본 론

#### 1. 발목 관절의 균형: 정렬 및 안정성

발목 관절의 균형은 관절을 구성하는 골, 연부조직 구조의 해부학적 정렬과 안정성의 정적 및 동적 기능의 상호 작용으로 나타난다.<sup>11,12)</sup> TAR 시행 시 발목 관절의 정렬 상태는 관절 기능의 정적, 동적 요소로 작용하여 주로 골조직의 양과 질에 영향을 받는다. 또한

Received January 22, 2024 Revised February 18, 2024

Accepted February 20, 2024

Corresponding Author: Hyunseong Kang

Department of Orthopaedic Surgery, Jeju National University Hospital, College of Medicine, Jeju National University, 15 Aran 13-gil, Jeju 63241, Korea

Tel: 82-64-717-1690, Fax: 82-64-717-1131, E-mail: oskanghs@gmail.com

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6764-9929

**Financial support:** This work was supported by the 2024 education, research and student guidance grant funded by Jeju National University.

**Conflict of interest:** None.

Copyright © 2024 Korean Foot and Ankle Society.

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

동적인 요소인 안정성은 골조직의 형태와 연조직의 질에 영향을 받는다. TAR이 해부학적 위치에 있다 하더라도 골조직의 양과 질이 부족하다면, 골소실로 인한 변형이 발생할 수 있으며, 연조직이 너무 느슨하거나 팽팽한 경우 안정적이지 못하게 된다. 따라서 발목 정렬과 안정성 및 관련 구성 요소는 관절 주변 균형을 제공하며 인공 관절의 성능과 내구성 유지에 필수적이다.

수술 시 충분한 골의 양과 질을 보존하는 것은 성공적인 인공 관절 치환술의 가장 중요한 요인이다. 일반적으로 관절면의 붕괴를 막기 위해 골조직 절제를 최소화하는 것이 중요하다. 발목 관절에서 연골하 판을 제거하게 되면, 압축력에 대한 저항은 약 30%~50% 정도, 연골하 판의 1 cm 근위부의 골조직까지 제거하면 저항은 약 70%~90% 감소할 수 있다.<sup>13)</sup> 초기 수술 시 가능한 한 최대한의 골조직을 보존하는 것은 관절의 구조적 지지와 정렬을 유지할 뿐만 아니라 후후 시행될 수 있는 추가 수술에 대한 대비 또한 가능하다.

안정적인 발목 관절을 구성하기 위해서는 관절면을 일치시키는 것이 중요하다. 대부분의 발목 관절 운동 시 연조직 구조는 발목의 비틀림 및 전후방 방향의 안정 장치로 작용하는 반면, 발목의 관절면 형상은 측부 인대와 함께 주요 내반/외반 움직임에서의 안정 장치로 작용한다.<sup>14,15)</sup> 인공 관절이 내반 및 외반 안정성을 제공하지 못하면 발목의 불안정성이 증가하고, 관절면의 형상이 정상적인 해부학적 형태에서 벗어날수록 인공 관절은 안정성의 유지를 위해 연조직에 더 의존한다. 따라서 인공 관절은 정상적인 관절 운동의 생역학적 모델을 모방하고 적절한 인대 사이의 균형을 보장하는 데 도움이 되도록 가능한 한 해부학적인 정확도를 유지하는 것이 좋다.

발목 인대는 발목 관절에 수동적인 안정 효과를 가지고 있다. 깊은 삼각인대는 측면 및 전방 거골 변위에 대한 부차적인 저항을 제공하는 반면, 전거비인대는 전방 거골 변위에 대한 유일한 제한 요소로 작용한다.<sup>11,15-17)</sup> 전거비인대는 가장 손상되기 쉬운 인대이며, 손상 시 거골의 외측 전방 탈구 및 비골의 후방 탈구를 초래할 수 있다.<sup>18)</sup> 또한 양측 측부인대의 긴장은 거골의 내/외측면을 압박하는 역할을 하여 보행 시 발생하는 회전력에 대한 안정성을 제공하게 된다.<sup>19,20)</sup> 거골 구조의 해부학적 특성으로 인해 세 개의 외측인대는 측면에서 더 큰 움직임을 제어하는 반면, 삼각인대는 내측에서 더 적은 움직임을 제어하게 되는데, 이는 TAR에서 인대 균형에 중요한 영향을 미친다. 인공 관절의 부적절한 디자인 및 삽입은 발목 관절 가동 범위를 제한시킬 수 있고, 내측 인대 스트레스를 유발하거나 외측 발목 불안정과 함께 외측 인대 기능 부전을 유발할 수 있다.

따라서 TAR 시행 후 발목 관절의 안정성을 유지하기 위해 인공 관절 삽입 후 적절한 골 및 연조직 균형을 달성하는 것이 필수적이다. 이러한 균형을 적절하게 유지하지 못하면 발목 관절 균형의 비대칭이 발생하게 되며, 폴리에틸렌 삽입물과 인공관절 간의 불균일한 마모 및 나아가 인공관절 삽입물로 인한 합병증 발생 위험이 증가하게 된다.<sup>21-24)</sup> TAR 수술 중 대칭적으로 연조직 균형을 맞추는 과정은 발

목 관절의 기계적 균형을 최적화하는 중요한 단계로, 관절부의 골극 절제, 연부조직 이완 및 중첩술, 힘줄 이전 및 절골술 등의 방법으로 발목 관절의 내/외반을 교정하게 된다.

내반 변형을 동반한 발목에서 수축된 내측 연조직에 대한 이완술은 일반적으로 외반 변형을 동반한 발목에서 이뤄지는 외측 이완술과는 차이가 있다. 내반 변형에 대한 교정 시에는 내측 구조의 긴장에 대한 이완술이 중요하며, 외반 변형에 대한 교정 시에는 후경골근의 약화가 주요 원인으로 작용하여 외측 이완술의 중요성이 내측 이완술에 비해서는 그 중요성이 떨어진다. 따라서 내반 변형의 교정 시에는 내측 이완술이 인공 관절물의 삽입 이전에 선행되어야 하나 외반 변형의 교정 시에는 외측 이완술이 반드시 선행될 필요는 없다. 발목 관절 변형에 퇴행성 변화가 동반된 경우, 연조직 균형을 교정하는데 더욱 어려움이 있다. TAR과 함께 시행되는 절골술을 통해 발목 관절의 해부학적 정렬을 확립할 수 있더라도 전체 운동 범위에서 정렬을 유지하기 위해서는 적절한 연조직 균형을 달성하는 것이 필요하다. 따라서 TAR을 시행하는데 내/외반 발목 균형을 맞추기 위해 발목 관절의 해부학적 구조에 대한 완벽한 이해를 바탕으로 연조직 이완술의 목표를 설정하고 수술적 방법 결정 및 시행에 임해야 한다.

## 2. 수술 전 평가

일반적으로 고령의, 심한 신체 활동을 하지 않는, 비만이 아닌, 보존적 치료에 반응하지 않는 심한 발목 관절염 환자에 대해 TAR을 시행할 수 있다. 적절한 적응증에 맞는 환자 선택이 TAR의 성공적인 시행에 가장 중요할 수 있으나, 현재까지 TAR에 대한 명확한 적응증은 정립되지 않았다. 따라서 수술 전에는 환자 상태를 파악하기 위한 포괄적인 검사가 필요하다. 검사는 체중부하 상태에서의 전/측면부, 후측부의 정렬, 내/외반 스트레스 부하 하에서의 단순 영상 촬영 등을 통해 환측 발목뿐만 아니라 반대측 발목, 양측 무릎, 골반에 이르는 하지의 정렬 상태를 평가해야 한다. 또한 연부 조직에 대한 평가를 위해 조영 증강 컴퓨터 단층촬영 및 자기공명영상 등을 통해 하지의 혈관, 신경 손상 여부에 대해 조사해 볼 수 있다.

단순 방사선 촬영에서 발목의 정렬 정도에 대한 평가는 기립 시 앞뒤 방향 X-선 사진에서 경골의 해부학적 축과 거골이 이루는 관절면에 수직인 선이 이루는 각도를 이용하게 된다.<sup>25,26)</sup> 해당 각도가 정상치에 비해 내/외반 방향으로 10°를 초과하면 각각 내반, 외반 변형으로 간주된다.<sup>25)</sup> 또한 경골-거골 관절면을 기준으로 발목의 앞뒤 방향 X-선 사진에서 거골 경사각(talar tilt angle)이 10°를 초과하면 관절이 일치하지 않는 것으로 정의할 수 있다.<sup>27)</sup> 이러한 변형에 대한 수술적인 교정은 해당 변형이 발생하는 위치와 발목 관절의 상대적인 차이에 따라 결정된다. 발목 관절 상/하방 위치에서 발생한 10°를 초과하는 비정상적인 정렬의 경우, TAR과 더불어 교정 절골술이 필요하다.<sup>28,29)</sup> 수술 전 계획 과정에서 정렬의 이상과 불안정성을 철저히 평가하는 것이 중요하다. 왜냐하면 이 두 가지 요인 모두 폴리

에틸렌 삽입물의 관절면 탈출 및 비정상적인 부하, 점진적인 변형, 높은 초기 실패율을 초래할 수 있기 때문이다.<sup>2,25-27)</sup>

### 3. 내반 변형 발목의 연부 조직 교정

만성 염좌 병력이 있는 환자에게 내반 기형이 흔히 나타날 수 있다. 외측 인대의 기능 부전은 발목 관절의 내반 변형과 종종 거골의 전방 전위를 초래한다. 이러한 경우 많은 환자들에게 잦은 발목 염좌 및 발목 인공 관절 치환술의 결과를 저해할 수 있는 후족부의 내반 변형이 동반될 수 있다.

내반 변형 발목에 대한 TAR을 시행할 때 정렬의 기본 원칙은 동일하지만 기술적인 고려 사항에 차이가 있다. 골을 절제하기 전에 경골과 거골을 중립 위치에 둘 수 있어야 한다. 인공 관절 치환물은 관절의 외반 모멘트를 회복하기 위해, 안정적으로 허용 가능한 범위에서, 가능한 한 내측으로 위치시키는 것이 좋다. 다음 단계로 인대 구조의 균형을 위해 삼각 인대 복합체에 대한 연장술이나 측면 인대에 대한 재건술이 필요할 수 있다. 마지막으로 후족부의 내반 변형 및 후경골건 또는 장비골건에 대한 연부조직 구조의 균형에 대해 추가적인 조율을 시도할 수 있다.

#### 1) 내측 이완술 및 간극 균형 조절

인대 균형을 맞추는 과정은 TAR 수술 중 내측 연부조직을 점진적으로 이완시켜가며 그 긴장도가 외측 인대와 균형을 이룰 때까지 진행된다. 이완 정도는 점진적으로 스프레더(Spreader)를 삽입하며 정렬을 측정하면서 모니터링할 수 있고, 시험용 삽입물(trial insert)을 삽입하고 발목에 내/외반 스트레스를 가하며 해당 부위의 안정성을 파악할 수 있다.

#### (1) 골편 제거

발목 관절을 노출한 후, 경/거골이 이루는 발목 관절부 주변의 골극을 제거하여 발목 주변 연부 조직을 효과적으로 이완시킬 수 있다. 이때 완전히 제거되지 않은 골편은 이소성 골화를 유발하거나 발목 관절 가동 범위를 제한할 수 있으므로 주의가 필요하다.<sup>30)</sup>

#### (2) 경사 각도 평가 및 추가적 절골술 필요성 확인

인공 관절 삽입을 위해 뼈를 절단하기 전, 발목의 경사 각도를 수동적으로 측정해본다. 내/외반 변형의 정도가 10° 미만인 경우 관절은 중립으로 간주되나, 10°를 초과할 시에는 변형 상태로 간주된다. 이 경우, 변형되어 있는 부분에서 추가적인 교정 절골술이 필요할 수 있다.

#### (3) 삼각 인대에 대한 점진적 이완술

경사 각도를 교정한 후, 골절단기(osteotome) 등을 사용하여 삼각 인대의 원위 부착 부위를 점진적으로 분리해가며 내측 긴장도를

수동적으로 시험한다. 전/후 경골-거골 인대(Ant./Post. tibio-calcaneal ligament), 경골-종골 인대(tibiotalar ligament), 경골-주상골 인대(tibionavicular ligament)로 구성되는 삼각 인대의 모든 구성 요소를 순차적으로 이완시키는 것이 중요하다.

#### (4) 시험 부품 삽입 및 균형 평가

시험용 삽입물을 삽입 후 내/외반 스트레스를 가하며 균형을 평가한다. 또한 중립 위치에서 남은 내측 긴장이나 외측 간극을 확인한다. 보통 증중도 이상의 심한 내반 변형 발목은 내측 구획의 긴장도가 더 높고, 더 많은 이완술이 필요하게 된다.

#### (5) 추가 부위 긴장 해소: 후경골건 이완술(tibialis posterior tendon recession)

외반 스트레스 시험 시 적절한 외반 균형을 얻지 못한다면 관련 수축 해소를 위해 후경골건 이완술 등의 추가적 시술을 고려해볼 수 있다. 슬관절의 내측부와 내복사 말단부의 가상의 연결선상의 원위 1/3 지점에서 경골의 후방연을 축지하며 접근한다. 경골 후방을 수행하는 후경골건을 노출하여 근-인대 경계를 확인 후 해당 부위에 부분 절제술을 시행하게 된다. 시술 중 발목 외반 스트레스를 가하며 이완 정도를 파악할 수 있고, 적당한 정도의 이완이 진행되었음을 확인 후 시술을 종료한다.<sup>31)</sup>

#### 2) 전거비인대 봉합술

내측 이완술의 효과가 떨어지는 환자들의 경우, 만성 외측 발목 불안정성이 내반 변형과 관련된 경우가 있을 수 있다. 내반 변형은 종종 전거비인대 및 종비인대의 손상 및 거골의 전방 전위와도 관련이 있다. 이러한 경우 외측 연부 조직 보강으로 내반 변형에 대한 교정을 시도해볼 수 있다.

족근 관절의 외측 연부 조직의 보강을 위해 시행할 수 있는 수술 방법으로는 여러 가지가 있으나 주로 이용되는 두 가지 방법은 해부학적 봉합술 또는 비해부학적 재건술이다.<sup>22)</sup> 그중 변형 Bröstrom 술식이 비교적 술기가 쉽고 해부학적 복원에 가까우며 결과가 좋은 것으로 보고되어 가장 많이 시행되고 있다.<sup>32)</sup> 대표적으로 사용되는 변형 Bröstrom 술식은 전거비인대와 종비인대를 중첩하여 봉합하고, 하부 신전 지대(inferior extensor retinaculum)로 이를 보강하는 방법이다.

변형 Bröstrom 술식의 장점은 수술 방법이 비교적 간단하며, 해부학적 구조를 손상시키지 않고, 족관절 및 거골하 관절 운동을 보존할 수 있다는 점이다. 반면에 단점으로는 인대의 결손이나 변성이 심한 경우, 이전 봉합의 수술력이 있는 경우, 내반 요족 변형이 동반된 경우 실패 확률이 높은 것으로 보고되고 있으며, 이 경우 건 고정술을 이용한 비해부학적 재건술이나 건 이식술을 고려하여야 한다. 또한 실제적으로 만성 불안정성에서는 하부 신전 지대가 반복되는 내

반 손상으로 마멸(attenuation)되고 유착되어 있는 경우가 드물지 않아 이를 적절히 박리해서 비골 전방부에 부착시키는 것이 기술적으로 쉽지 않다.

### 3) 장비골근건-단비골근건 이진술

또한 장비골근 힘줄을 제 5 중족골 기저부로 옮겨 제 1 중족골의 족저 굴곡 힘을 약화시키는 방법으로도 내반 변형에 대한 교정을 기대할 수 있다.<sup>33)</sup>

제 5 중족골 기저부 위에 작은 절개창을 통해 비복 신경과 소복재 정맥의 손상에 주의하며 제 5 중족골 기저부에 대한 단비골근 부착을 관찰하고 장비골근을 단비골근 힘줄 옆에서 확인한다. 장비골근 힘줄은 족부를 완전 족저 굴곡시키고, 외반시킨 상태에서 채취하는 것이 충분한 힘줄 채취에 도움이 된다. 장비골근 힘줄을 절단한 뒤 봉합나사(suture anchor)를 이용하여 족부를 약간 족저 굴곡 및 외반 스트레스를 유지한 상태에서 단비골근 힘줄 부착부 바로 아래쪽과 제 5 중족골 기저부의 외측에서 연결한다. 이는 수술 후 충분한 외반력을 제공하는 데 도움이 된다. 이후 측면부에서 남은 장비골근과 단비골근 힘줄 사이를 봉합해준다.

### 4) 아킬레스건 경피적 연장술

만성 발목 관절염 환자 중 일부는 가자미근-비복근 복합체의 과도한 긴장으로 발목의 배굴곡 제한이 나타날 수 있다. 만약 TAR을 통해 최소 10도의 배굴곡을 달성할 수 없다면 뒤꿈치 힘줄 연장술을 고려할 수 있다. 실버스키올드 테스트(Silfverskiold test) 결과에 따라 경피 아킬레스건 연장술 또는 비복근 연장술 중 선택할 수 있다.

아킬레스건 연장술은 종아리 비복근과 가자미근의 긴장이 뒤꿈치 힘줄 과긴장의 원인이 될 때 개방적 절개 또는 경피적 접근 방식으로 시행할 수 있다. 경피적 아킬레스건 연장술은 일반적으로 피부를 통과하는 작은 구멍을 통해 아킬레스건을 부분적으로 자르고 길이를 연장시킨다.<sup>34)</sup> 이 방법은 흉터가 적고 회복이 빠르지만 정확한 길이 조절이 상대적으로 어렵다. 개방적 절개술은 힘줄을 직접 노출하여 절제 후 연장시키는 방법으로, 정확한 길이 조절에 유리하지만 흉터와 감염 위험이 더 높다. 보통 경피적 연장술이 절차가 빠르고 합병증이 없으며 TAR 과정에서 쉽게 함께 시행할 수 있기 때문에 개방적 절개술보다 선호된다.<sup>35)</sup>

### 5) 종아리 비복근 연장술

뒤꿈치 힘줄 긴장의 원인이 종아리 비복근의 과긴장에 한정될 경우, 종아리 비복근 연장술은 훌륭한 치료 옵션이 될 수 있다. 종아리근-인대 이행부 상방에서 세로 절개를 통해 접근하여 비복근의 건막을 노출시켜 수평 절개를 시행한다. 이때 비복 신경과 소복재정맥의 손상에 주의해야 한다. 가자미근을 보존하면서 비복근 건막 부분만 하퇴부의 중간부위에서 뒤집어진 U 모양으로 절개하는 방법으로 시

행된다. 비복근의 근막뒤꿈치의 긴장도 조절은 관절을 배굴곡시키며 긴장도를 측정하는 방법으로 이뤄지며, 건막 및 심부 근막을 수술 후 유착에 유의하며 복원한다.<sup>36)</sup>

### 4. 발목 관절 외반의 교정

발목에서 외반 변형의 일반적인 원인은 크게 두 가지가 있다. 외상으로 인한 변형, 즉 경골 관절면 외측의 골손실, 비골 단축 부정유합 등으로 인해 외반 변형을 유발할 수 있다.<sup>37)</sup> 또 다른 이유로 편평족의 악화 시 외반 변형이 나타나기도 한다. 대부분의 외반 변형은 진행된 후경골근 힘줄 기능 장애(posterior tibialis tendon dysfunction)로 인해 발생한다.<sup>38)</sup> 변형이 진행됨에 따라 전족부의 회외와 내측주 불안정성이 동반되어 나타나고, 결국 외반 편평족으로 발전한다. 안정한 족부 기저 정렬 상태를 얻기 위해 발목 문제를 해결하기 전에 족부 변형에 대한 선교정이 필요할 수 있다.

하지만 외반 변형을 일으키는 주요소인 골 변형 및 후경골근의 약화는, 술자에 따라 먼저 TAR을 시행한 뒤, 또는 이후에 교정하는 경우도 많다. TAR을 경골 축에 맞추어 시행한 뒤 이후 잔존 변형을 교정하는 것이 필요할 수 있다.

외반 발목에 대한 인대 균형의 재정렬은 일반적으로 삼각 인대의 장력을 재조성하는 것을 의미하고, 추가적으로 긴장된 단비골근 및 아킬레스건에 대한 주변 근육의 균형을 새로 정립하는 과정도 함께 필요할 수 있다. 아킬레스건의 연장술이나 비복근 연장술이 내반 교정 시뿐만 아니라 외반 교정 시에도 시행되기도 한다. 특히 외반 발 뒤꿈치 또는 붕괴된 내측주와 같은 발목 하부의 골구조물에 대한 변형에 대한 교정이 필요하다.

#### 1) 내측 전위 종골 절골술(medial displacement calcaneal osteotomy)

내측 전위 종골 절골술은 아킬레스건의 부착 부위를 내측으로 이동시킴으로써 내번축에 대한 모멘트 팔(Moment arm)을 연장되게 하여 내번 능력이 향상되는 생역학적 효과가 있다. 종골절골의 상방 외측부에서 시작해 체중 부하면까지 원위, 하방 45도 방향으로 비골근건의 주행에 평행하게 절개를 시행한다. 이때 비복 신경의 손상에 유의해야 하며, 종골의 골막이 노출되도록 한다. 내측 피질부까지 절개선에 평행하게 종골 체부에 대한 절골술을 시행한 뒤, 절골 부위를 교정하고자 하는 만큼 내측으로 전위 시킨 상태로 내고정하는 방법으로 수술이 진행된다.<sup>39)</sup>

#### 2) 외측 골주 연장술(lateral column lengthening)

종골, 입방골, 제 4, 5 중족골은 외측 골주를 구성하는 요소이다. 외측 골주 연장술은 족부의 다른 관절을 손상시키지 않은 채 종골의 외측주를 연장시킴으로써 후족부 외반을 교정하는 방법으로, 족관절, 거골하 관절, 거주상 관절 등의 기능을 보존할 수 있는 술식이

다.<sup>40)</sup> 종골의 외측으로 피부를 절개한 후 절골부의 약 1.5 cm 근위부에서 거골하 관절의 전방 소관절면과 중간 소관절면 사이로 절골술을 시행한다. 종-입방 관절의 아탈구 및 과교정에 주의하여 종골 절골부를 벌리면서 거주상골 관절과 거골하 관절의 해부학적 정복 및 외반 교정이 되는 이식골의 크기를 결정한다. 이식골을 사다리꼴 모양으로 만들어 절골부에 이식하고 K-강선이나 금속판으로 종-입방 관절을 고정시킨다.

### 3) 후경골건의 활액막 제거술

후경골건 기능 장애 및 발목 관절의 외반 변형이 완전히 나타나지 않은 초기 단계에서 시행되는 술식으로, 내복사뼈의 말단부에서 나비뼈 부위까지 절개를 시행한다. 후경골건의 힘줄집을 절개하여 힘줄의 파열, 손상, 비대화 등을 확인 후 비정상적으로 비대해진 힘줄은 일부를 제거한다.

### 4) 장족지 굴건 이진술

후경골건의 활액막 제거술과 유사하게 절개하여 접근한다. 만약 후경골건이 중간 부위에서 파열된 경우, 양쪽 끝을 연결하여 재봉합하거나 손상된 힘줄을 절제하고 결손 부위를 복원한다. 장족지 굴건은 후경골건의 하방, 무지외전근의 근막, 내측 경상골의 내측 경계 사이에서 채취한다. 채취한 장족지 굴건은 나비뼈 결절부에 드릴로 구멍을 내어 고정피나 나사를 이용해 고정해준다.<sup>41)</sup> 이때 건의 긴장도를 적절하게 조절하여 고정하도록 한다. 건의 긴장도가 지나치게 강하다면 건이 발목 터널 바깥으로 아탈구 될 가능성이 있어 주의를 요한다.

### 5) 후족부 유합술

경직된 후족 변형 환자의 경우 다중 관절 유합술이 가장 효과적인 절차로, 단독 경골-거골 관절 결합술, 거골-주상골 관절 결합술, 거골-주상골 및 종골-입방골 관절 결합술, 삼중 관절 결합술 등이 포함된다.<sup>38)</sup> 이러한 절차는 발 뒤꿈치 접촉점을 외측으로 이동하여 평발, 안정된 발을 얻고 외측 경골-거골 관절의 스트레스를 줄일 수 있다.

## 5. 수술 후 관리

발목 인공 관절 치환술 후 연부조직의 충분한 회복까지 약 2~3주간의 부목 혹은 캐스트를 이용해 발목을 중립 자세로 고정하는 것이 일반적이다. 이후 발목 관절의 능동 관절 운동을 시작할 수 있으나, 최소 6주간은 인공 관절 치환물의 충분한 유합을 위해 체중 부하를 억제하는 것이 필요하다.

발목 인공 관절 치환술과 동시에 후족 또는 중족부 유합술, 절골술 및 인대 재건술을 시행하는 경우, 추가적으로 6주간의 캐스트 고정이 필요하다. 하지만 이는 관절 운동 시작을 지연시켜 최종 발목 움직임의 저해할 수 있으므로 내부 고정이 안전한 경우, 더 빠른 능

동적 운동을 시작할 수 있다. 최종 운동 범위는 연조직 상태, 수술 전 운동 범위, 고정 기간, 관절 균형 및 장력, 물리 치료, 그리고 이소성 골 형성에 따라 달라지게 된다.

## 결 론

발목 인공 관절 치환술은 삽입물의 디자인, 기술 및 결과 측면에서 지속적으로 발전하여 수명이 점차 늘어나고 있다. TAR의 성공에는 시술자의 숙련도, 적절한 환자 선택 및 수술 후 관리 등의 다양한 요인들이 작용하게 된다. 무엇보다 가장 중요한 것은 발목 관절 기능의 정상적인 생역학에 최대한 근접한 인공 관절 디자인을 선택하고, 인공 치환물을 적절하게 삽입하는 것이다.<sup>1-5)</sup>

그럼에도 불구하고 환자의 신체 진찰, 기저력에 대한 평가 및 영상학적 검사를 통한 신중하고 포괄적인 환자 평가는 심한 발목 관절염 치료에 대한 적절한 수술 방법을 선택하는데 매우 중요하다. TAR 수술을 통해 발목 관절의 구조적 정렬과 안정성을 유지하고 달성하기 위해 수술자는 발목 관절의 생역학 및 해부학적 구조에 대해 충분히 이해하고 있어야 한다. TAR에서 인대 균형 조정은 수술 과정의 중요한 부분이며, 그 효과는 직접적으로 인공 관절의 성능과 수명에 영향을 미친다. TAR 시행 후 발생할 수 있는 발목 관절 주변의 불균형 가능성에 대해 인식하고 이러한 불균형을 신속하게 해결하는 다양한 방법에 대해 숙련되어 있어야 한다. 따라서 이러한 방법들을 통해 중등도 이상의 심한 발목 관절 변형 사례에서 최적의 관절 정렬과 안정적인 연조직 균형을 달성하여, 성공적인 결과를 얻을 수 있을 것이다.

## ORCID

Sungwook Choi, <https://orcid.org/0000-0003-0319-6208>

Dae Whan Kim, <https://orcid.org/0009-0002-5137-3563>

## REFERENCES

1. Kitaoka HB, Patzer GL. Clinical results of the Mayo total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78:1658-64. doi: 10.2106/00004623-199611000-00004.
2. Wood PL, Prem H, Sutton C. Total ankle replacement: medium-term results in 200 Scandinavian total ankle replacements. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90:605-9. doi: 10.1302/0301-620X.90B5.19677.
3. Brunner S, Barg A, Knupp M, Zwicky L, Kapron AL, Valderrabano V, et al. The Scandinavian total ankle replacement: long-term, eleven to fifteen-year, survivorship analysis of the prosthesis in seventy-two consecutive patients. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95:711-8. doi: 10.2106/JBJS.K.01580.
4. Adams SB Jr, Demetracopoulos CA, Queen RM, Easley ME, DeOrto JK, Nunley JA. Early to mid-term results of fixed-bearing total ankle

- arthroplasty with a modular intramedullary tibial component. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96:1983-9. doi: 10.2106/JBJS.M.01386.
5. Stewart MG, Green CL, Adams SB Jr, DeOrio JK, Easley ME, Nunley JA 2nd. Midterm results of the Salto Talaris total ankle arthroplasty. *Foot Ankle Int.* 2017;38:1215-21. doi: 10.1177/1071100717719756.
  6. Buechel FF Sr, Buechel FF Jr, Pappas MJ. Twenty-year evaluation of cementless mobile-bearing total ankle replacements. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(424):19-26. doi: 10.1097/01.blo.0000132243.41419.59.
  7. Buechel FF Sr, Buechel FF Jr, Pappas MJ. Ten-year evaluation of cementless Buechel-Pappas meniscal bearing total ankle replacement. *Foot Ankle Int.* 2003;24:462-72. doi: 10.1177/107110070302400603.
  8. Doets HC, van Middelkoop M, Houdijk H, Nelissen RG, Veeger HE. Gait analysis after successful mobile bearing total ankle replacement. *Foot Ankle Int.* 2007;28:313-22. doi: 10.3113/FAL2007.0313. Erratum in: *Foot Ankle Int.* 2007;28:vi.
  9. Dekker TJ, Hamid KS, Easley ME, DeOrio JK, Nunley JA, Adams SB Jr. Ratio of range of motion of the ankle and surrounding joints after total ankle replacement: a radiographic cohort study. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99:576-82. doi: 10.2106/JBJS.16.00606.
  10. Dekker TJ, Hamid KS, Federer AE, Steele JR, Easley ME, Nunley JA, et al. The value of motion: patient-reported outcome measures are correlated with range of motion in total ankle replacement. *Foot Ankle Spec.* 2018;11:451-6. doi: 10.1177/1938640017750258.
  11. Harper MC. Deltoid ligament: an anatomical evaluation of function. *Foot Ankle.* 1987;8:19-22. doi: 10.1177/107110078700800104.
  12. Sommer C, Hintermann B, Nigg BM, van den Bogert AJ. Influence of ankle ligaments on tibial rotation: an in vitro study. *Foot Ankle Int.* 1996;17:79-84. doi: 10.1177/107110079601700204.
  13. Hvid I, Rasmussen O, Jensen NC, Nielsen S. Trabecular bone strength profiles at the ankle joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;(199):306-12. doi: 10.1097/00003086-198510000-00044.
  14. Stormont DM, Morrey BF, An KN, Cass JR. Stability of the loaded ankle. Relation between articular restraint and primary and secondary static restraints. *Am J Sports Med.* 1985;13:295-300. doi: 10.1177/036354658501300502.
  15. Cass JR, Morrey BF, Chao EY. Three-dimensional kinematics of ankle instability following serial sectioning of lateral collateral ligaments. *Foot Ankle.* 1984;5:142-9. doi: 10.1177/107110078400500307.
  16. Cass JR, Settles H. Ankle instability: in vitro kinematics in response to axial load. *Foot Ankle Int.* 1994;15:134-40. doi: 10.1177/107110079401500308.
  17. Leardini A, O'Connor JJ, Catani F, Giannini S. The role of the passive structures in the mobility and stability of the human ankle joint: a literature review. *Foot Ankle Int.* 2000;21:602-15. doi: 10.1177/107110070002100715.
  18. Baumhauer JF, Alosa DM, Renström AF, Trevino S, Beynonn B. A prospective study of ankle injury risk factors. *Am J Sports Med.* 1995;23:564-70. doi: 10.1177/036354659502300508.
  19. Close JR. Some applications of the functional anatomy of the ankle joint. *J Bone Joint Surg Am.* 1956;38:761-81.
  20. Levens AS, Inman VT, Blosser JA. Transverse rotation of the segments of the lower extremity in locomotion. *J Bone Joint Surg Am.* 1948;30:859-72.
  21. Hobson SA, Karantana A, Dhar S. Total ankle replacement in patients with significant pre-operative deformity of the hindfoot. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91:481-6. doi: 10.1302/0301-620X.91B4.20855.
  22. Kim BS, Choi WJ, Kim YS, Lee JW. Total ankle replacement in moderate to severe varus deformity of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91:1183-90. doi: 10.1302/0301-620X.91B9.22411.
  23. Choi WJ, Yoon HS, Lee JW. Techniques for managing varus and valgus malalignment during total ankle replacement. *Clin Podiatr Med Surg.* 2013;30:35-46. doi: 10.1016/j.cpm.2012.08.004.
  24. Queen RM, Adams SB Jr, Viens NA, Friend JK, Easley ME, Deorio JK, et al. Differences in outcomes following total ankle replacement in patients with neutral alignment compared with tibiotalar joint malalignment. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95:1927-34. doi: 10.2106/JBJS.L.00404.
  25. Doets HC, Brand R, Nelissen RG. Total ankle arthroplasty in inflammatory joint disease with use of two mobile-bearing designs. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88:1272-84. doi: 10.2106/JBJS.E.00414. Erratum in: *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:158.
  26. Wood PL, Sutton C, Mishra V, Suneja R. A randomised, controlled trial of two mobile-bearing total ankle replacements. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91:69-74. doi: 10.1302/0301-620X.91B1.21346. Erratum in: *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91:700.
  27. Haskell A, Mann RA. Ankle arthroplasty with preoperative coronal plane deformity: short-term results. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(424):98-103. doi: 10.1097/01.blo.0000132248.64290.52.
  28. Conti SF, Wong YS. Complications of total ankle replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(391):105-14. doi: 10.1097/00003086-200110000-00011.
  29. Gould JS, Alvine FG, Mann RA, Sanders RW, Walling AK. Total ankle replacement: a surgical discussion. Part I. Replacement systems, indications, and contraindications. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2000;29:604-9.
  30. Choi WJ, Lee JW. Heterotopic ossification after total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93:1508-12. doi: 10.1302/0301-620X.93B11.27641.
  31. Roukis TS. Tibialis posterior recession for balancing varus ankle contracture during total ankle replacement. *J Foot Ankle Surg.* 2013;52:686-9. doi: 10.1053/j.jfas.2013.03.037.
  32. Broström L. Sprained ankles. VI. Surgical treatment of "chronic" ligament ruptures. *Acta Chir Scand.* 1966;132:551-65.
  33. Burkhard MD, Wirth SH, Andronic O, Viehöfer AF, Imhoff FB, Fröhlich S. Clinical and functional outcomes of peroneus longus to brevis tendon transfer. *Foot Ankle Int.* 2021;42:699-705. doi: 10.1177/1071100720982592.
  34. Hatt RN, Lamphier TA. Triple hemisection: a simplified procedure for lengthening the Achilles tendon. *N Engl J Med.* 1947;236:166-9. doi: 10.1056/NEJM194701302360502.
  35. Moreau MJ, Lake DM. Outpatient percutaneous heel cord lengthening in children. *J Pediatr Orthop.* 1987;7:253-5. doi: 10.1097/01241398-198705000-00001.
  36. Hsu RY, VanValkenburg S, Tanriover A, DiGiovanni CW. Surgical techniques of gastrocnemius lengthening. *Foot Ankle Clin.* 2014;19:745-65. doi: 10.1016/j.fcl.2014.08.007.
  37. Perera A, Myerson M. Surgical techniques for the reconstruction of malunited ankle fractures. *Foot Ankle Clin.* 2008;13:737-51, ix. doi: 10.1016/j.fcl.2008.09.005.
  38. Myerson MS. Adult acquired flatfoot deformity: treatment of dysfunction.

- tion of the posterior tibial tendon. *Instr Course Lect.* 1997;46:393-405.
39. Bariteau JT, Blankenhorn BD, Tofte JN, DiGiovanni CW. What is the role and limit of calcaneal osteotomy in the cavovarus foot? *Foot Ankle Clin.* 2013;18:697-714. doi: 10.1016/j.fcl.2013.08.001.
40. Sands AK, Tansey JP. Lateral column lengthening. *Foot Ankle Clin.* 2007;12:301-8, vi-vii. doi: 10.1016/j.fcl.2007.03.007.
41. Marsland D, Stephen JM, Calder T, Amis AA, Calder JDF. Flexor digitorum longus tendon transfer to the navicular: tendon-to-tendon repair is stronger compared with interference screw fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28:320-5. doi: 10.1007/s00167-018-4936-0.