



최소침습 무지외반증 수술의 최신 경향

윤여권^a, 심동우^a, 한승환, 이진우, 최기원*, 박광환

연세대학교 의과대학 정형외과학교실, *고려대학교안산병원 정형외과

Minimally Invasive Surgery for Hallux Valgus: Current Concept Review

Yeo Kwon Yoon^a, Dong Woo Shim^a, Seung Hwan Han, Jin Woo Lee, Gi Won Choi*, Kwang Hwan Park

Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul,

*Department of Orthopedic Surgery, Korea University Ansan Hospital, Ansan, Korea

Minimally invasive surgery (MIS) for hallux valgus correction has become increasingly popular over the past decade as an alternative to traditional open osteotomy techniques. Following the limitations of first- and second-generation percutaneous techniques, third-generation MIS, characterized by percutaneous osteotomy with a Shannon burr and stable screw fixation, has shown improved reproducibility and clinical outcomes. This review summarizes the current concepts of third-generation and later MIS techniques for hallux valgus correction, focusing on the surgical principles, technical considerations, fixation strategies, and postoperative management. In addition, the clinical and radiographic outcomes of MIS are compared with conventional open osteotomies. The available evidence consistently shows that MIS provides comparable deformity correction, functional improvement, complication rates, and recurrence rates to those of open procedures, while offering advantages such as reduced early postoperative pain, smaller incisions, and faster recovery. Recent studies support expanding MIS indications to include severe hallux valgus deformities that can provide satisfactory correction and acceptable complication profiles when appropriate techniques and fixation methods are used. Despite the ongoing debates regarding the optimal osteotomy type, fixation strategy, and proximal correction in severe deformities, MIS has emerged as a safe and effective surgical option across a broad spectrum of hallux valgus severity. Continued refinement of the surgical techniques, broader application across a wide range of hallux valgus etiologies, and long-term outcome data will further define the role of MIS in hallux valgus surgery.

Key Words: Hallux valgus, Minimally invasive surgery, Osteotomy

Received February 11, 2026 Revised February 12, 2026

Accepted February 13, 2026

Corresponding Author: Kwang Hwan Park

Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University College of Medicine, 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea

Tel: 82-2-2228-2190, Fax: 82-2-363-1139, E-mail: khpark@yuhs.ac

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2110-0559>

Corresponding Author: Gi Won Choi

Department of Orthopedic Surgery, Korea University Ansan Hospital, 123 Jeokgeum-ro, Danwon-gu, Ansan 15355, Korea

Tel: 82-31-412-4944, Fax: 82-31-487-9502, E-mail: manbalian@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7384-8382>

These authors contributed equally to this work as corresponding authors.

^aThese authors contributed equally to this study.

Financial support: None.

Conflict of interest: Yeo Kwon Yoon and Dong Woo Shim are reviewers, and Seung Hwan Han, Gi Won Choi, and Kwang Hwan Park are editorial board of Journal of Korean Foot and Ankle Society but were not involved in the review process of this manuscript. Except for that, no potential conflict of interest relevant to this article was reported.

서론

무지외반증은 제 1중족족관절의 내측 돌출 및 엄지발가락의 회내(pronation) 변형을 동반하는 3차원적 변형으로, 발생률이 약 35%까지 보고될 만큼 흔한 전족부 변형이다.¹⁾ 대표적 증상으로는 통증, 신발 착용 어려움 등이 있으며, 심한 변형의 경우에는 궤양, 전이성 증족골통 및 전족부의 난치성 굳은살 등이 발생하기도 한다. 근본적인 교정을 위해서는 수술적 치료가 필요하며, 100가지 이상의 다양한 수술방법이 소개되어 있다.

여러 수술 기법 중, scarf 절골술 또는 갈매기형 절골술로 대표되는 전통적인 개방 교정 절골술이 대중적으로 시행되어 왔으나, 최근 10여년 동안 최소침습적 교정 절골술(minimally invasive surgery, MIS)이 각광받고 있다.²⁾ MIS는 역사적으로 세 번의 세대로 구분되

는데, 1세대는 1991년에 Isham 등³⁾에 의해 소개되었으며, 연마기 (burr)를 사용하여 제 1중족골두의 내측 돌출부 절제, 원위 중족골 내측 폐쇄성 뼈기 절골술, 경피적 외측부 유리술을 시행 후 금속 고정 없이 봉대 또는 테이핑을 통해 고정하는 방법이었다. 2세대 MIS는 Bösch⁴⁾에 의해 고안된 방법으로, 제 1중족골 원위부에 1 cm가량의 절개창을 통해 수술용 톱을 사용해 횡절골술(transverse osteotomy)을 시행 후 원위 골편을 외측으로 전위시켜 교정을 얻은 뒤, 경피적으로 K-강선을 중족골 간부의 골수강내로 삽입하여 고정하는 방식이다. 하지만 1, 2세대 MIS는 모두 높은 합병증 발생률 및 낮은 재현성으로 인해 기존의 개방 절골술에 비해 대중화되지 못했다. 2010년대에 Vernois와 Redfern은 경피적으로 연마기를 사용해 관절 외(extracapsular) 갈매기형 절골술 및 Akin 절골술을 시행 후, 유관 나사를 사용해 견고하게 고정하는 방식의 최소침습적 갈매기형-Akin 절골술(minimally invasive chevron-Akin, MICA)을 고안하였으며, 3세대 MIS로 명명되었다.⁵⁾ 2014년에 단기 추시 결과가 발표된 이래, MICA는 개방 절골술에 비해 적은 수술 직후 통증, 상처 합병증 발생률, 짧은 재원 기간 등에 기인한 우수한 수술 결과가 다수의 문헌에서 보고되었으며, 가장 각광받는 무지외반증 수술 술기 중 하나로 자리잡게 되었다.^{2,6-8)} 최근에는 이를 변형하여 갈매기형 절골술 대신 횡절골술을 시행하는 술기 또한 많이 시행되고 있으며 MITO (minimally invasive transverse distal metatarsal osteotomy), MITA (minimally invasive distal transverse metatarsal osteotomy-Akin osteotomy), META (metaphyseal extra-articular transverse and Akin) 등으로 지칭되고 있다.^{1,9,10)} 최소침습적 횡절골술은 생역학적 연구에서 갈매기형 절골의 고정 구조와 유사한 강도를 보였으며 기술적으로 쉽고 회전 변형 교정에 유리할 수 있다는 이론적 장점이 있다.^{2,11)} 일부 연구자 그룹에서는 이를 4세대 MIS로 칭하기도 하나, 기본적으로 3세대 MIS와 유사한 개념을 기반으로 하며 세대 구분에 있어서는 아직 전 세계적 합치가 이루어졌다고 보기는 어렵다.⁹⁾

대부분의 개별 연구 및 메타분석에서, 3세대 이후 MIS 영상의학적, 기능적 개선, 합병증, 재발률 등에 있어서 기존의 개방적 절골술과 비교하여 열등하지 않은 우수한 결과들이 보고되어 있다.²⁾ 최근에도 많은 연구 결과들이 발표되고 있으며 그에 따라 수술 방법과 기구의 개선이 지속적으로 이루어지고 있고, 적응증 역시 확대되고 있다. 본 종설에서는 Shannon burr를 사용한 경피적 절골술과 나사 고정으로 정의되는 3세대 이후 MIS에 있어, 현재까지 발표된 문헌들에 기반하여 기본 술기에서부터 유의점, 수술 결과에 대해 전반적으로 고찰해보고자 한다.

본 론

1. 술기

1) 수술 준비

수술 준비 시에는, MIS가 수술 전 과정에 걸쳐서 C-arm을 사용하는 술기임을 고려해야 한다. 따라서, 이에 용이한 수술 자세 및 위치, 적절한 차폐 장치를 갖추어야 한다. 술자의 선호에 따라 환자 및 C-arm을 위치할 수 있는데, 저자들이 선호하는 방식은 다음과 같다. 앙와위(supine position)로 환자의 발 끝을 침대의 끝에 위치하고, 환측 무릎을 90° 구부린 상태로 오금 아래 소독 삼각대를 위치한다. Mini C-arm의 검출기(detector)를 침대 위에 올려놓고 그 위에 환측 발을 올려놓은 상태로, 술자가 침대 끝부분에 위치하여 수술을 시행한다. 지혈대 사용 여부는 자유롭게 택해도 되나, 지혈대를 사용하는 경우에는 출혈에 의한 자연스러운 절골부 냉각 효과가 없기 때문에 절골부와 나사 삽입부 피부 화상 및 골괴사를 방지하기 위해 지속적 세척이 필수적이다.

2) 절골 및 교정

전족부 내측에 제 1중족골의 족배측 및 족저측의 경계를 그린 뒤, 그 중점 높이에서 중족골 경부에 beaver blade를 사용해 3 mm가량의 절개를 가한다. 이때 배측 피부신경 분지(dorsomedial cutaneous nerve) 손상을 피하기 위해 골막 거상기를 사용한 철저한 골막하 박리가 필요하다. Ø2×20-mm 연마기를 사용하여 내, 외측 피질골을 통과시켜 외측 절반을 절골한 뒤, Ø2×12-mm 연마기를 사용해 나머지 내측 절반을 절골한다. 이때 제 1중족골 간부의 축에 수직으로 절골해야 연마기 사용에 따른 중족골 단축을 최소화할 수 있으며(Fig. 1), 수술 전 제 1중족골의 길이, 변형의 정도 등을 감안하여 의도적으로 절골 방향을 조절해 제 1중족골의 연장 또는 단축을 얻을 수도 있다. 또한, 피질골이 절골될 시 들리는 고음(high pitch)에 항상 유의하여야 하는데, 절골이 끝난 뒤에도 이를 인지하지 못하고 연마기를 오래 작동할 시에는 신경, 혈관 및 건 손상을 유발할 수 있기 때문이다.

교정 시에는 제 1족지에 내반(varus) 및 회외(supination)력을 가하여 제 1중족골두의 외측 전위 및 회전 변형 교정을 얻는다(Fig. 2A). 교정 시에 세 가지에 유의해야 하는데, 첫째는 충분한 외측 전위를 얻는 것이다. MIS에서의 교정력은 제 1중족골두의 외측 전위를 통해 얻는 것이기 때문에, 불충분한 외측 전위는 불충분한 교정(undercorrection) 및 재발의 가장 큰 원인이 될 수 있다. 절골부 근위부의 중족골 간부를 최대한 내측으로 전위시켜 제 1족근중족관절을 locking하는 것이 재발 방지에 도움이 된다는 보고도 있다.¹²⁾ 두 번째는 충분한 종자골 아탈구 및 회전 변형의 교정을 얻는 것이다. 회내 변형과 그로 인한 종자골 외측 아탈구의 잔존은 장무지굴곡근 위치를 외측으로 유지시켜 지속적으로 무지외반각(hallux valgus

angle, HVA)의 증가를 유발한다.¹³⁾ 종자골 위치의 교정 부족은 개방 절골술 환자들을 대상으로 한 다수의 연구들에서 수술 후 무지 외반증 재발의 위험 인자로 밝혀진 바 있으며, 최근에는 MIS 후에도 재발의 독립적인 위험 인자임이 규명되었다.^{13,14)} 수기 교정만으로 회전 변형 교정이 어렵다면, K-강선을 중족골두 골편에 삽입하여 joystick method로 교정을 얻는 방식도 사용할 수 있다(Fig. 2B).¹⁵⁾ 세 번째는, 중족골두가 과하게 내반/외반되지 않았는지 확인해야 한다. 특히 외측 전위에 집중하여 강하게 내반력을 가할 시, 오히려 중족골두의 외반각 형성이 발생할 수 있어, 이에 유의해야 한다.¹⁶⁾ 충분한 외측 전위 및 회전 변형의 교정을 얻었다면, 마지막으로 시상면 상에서 족배/족저측으로의 골편 전위 또는 각 형성이 발생하지 않았는지 C-arm으로 확인해야 한다(Fig. 2C).

3) 나사 고정

교정 상태를 유지하면서, 3.5 mm 무두 유관 나사(headless cannulated screw)의 유도핀을 제 1중족골 기저부 내측에서부터 삽입



Figure 1. Intraoperative fluoroscopic image demonstrating percutaneous osteotomy performed with a burr directed perpendicular to the longitudinal axis of the first metatarsal.

한다(Fig. 3A). 이때 반드시 유도핀이 절골부로부터 충분히 근위부에서 외측 피질골을 통과하여 3점 고정(3-point fixation)을 얻을 수 있도록 정확히 위치를 확인한 후 유도핀을 삽입해야 하는데, 최종 나사 삽입 위치가 절골부와 너무 가깝거나, 유도핀으로 너무 여러 차례 외측 피질골을 천공한 경우에는 외측 피질골의 골절 및 그로 인한 교정 소실이 일어날 위험성이 있기 때문이다.¹⁶⁾ 두 번째 나사의 삽입 필요성 및 위치에 대해서는 아직 논란이 있다. 최근의 메타분석에서는 나사 고정 개수에 따른 임상적, 영상의학적 차이가 없다는 결론이 있었으나, 많은 연구와 종설에서는 회전 안정성과 전반적 고정 구조의 강화를 위해 삽입할 것을 권유하고 있다.^{16,17)} 특히 횡절골술에서는 갈매기형 절골술에 비해 안정성 강화에 도움이 될 것으로 생각된다. 유도핀이 정확히 삽입된 것을 확인한 뒤, 나사를 삽입한다(Fig. 3B).

나사 고정에 있어서 가장 중요한 것은 첫 번째로 삽입하는 근위부 나사의 3점 고정을 얻는 것이다. So Tamil Selven 등¹⁸⁾은 사체 연구에서 두 개의 골수강내 나사를 삽입한 경우와, 한 개씩의 3점 고정 나사와 골수강내 나사를 삽입한 경우를 비교하였으며, 3점 고정 나사가 있는 경우에 굽힘 강성(bending stiffness)이 84%, 파단 하중

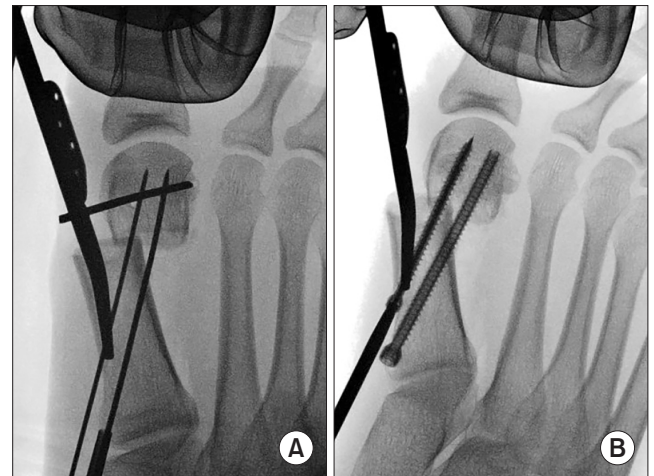


Figure 3. (A) Insertion of a guide pin with the proximal pin engaging three-point fixation. (B) Insertion of headless cannulated screws.

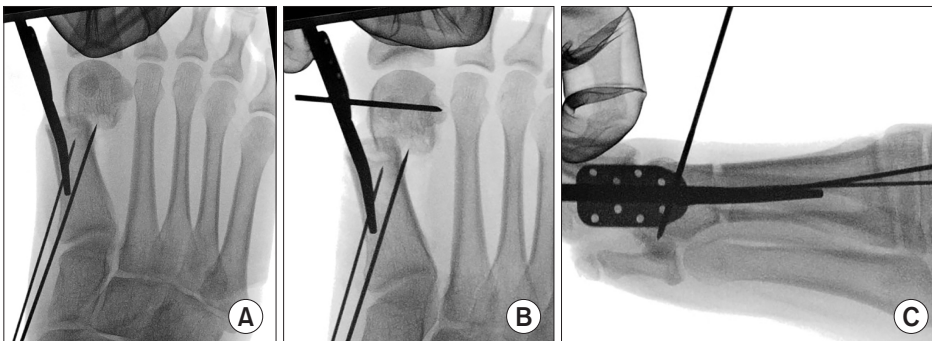


Figure 2. (A) Lateral translation of the first metatarsal head. (B) Correction of first metatarsal head pronation using a joystick technique with a Kirschner wire. (C) Confirmation of sagittal plane alignment.

(load to failure)이 30% 높았다고 보고하였다. 또한 Lewis 등¹⁹⁾은 전산화 단층촬영 영상 기반 유한요소해석 분석을 통해 나사 한 개 및 두 개 고정 구조 여섯 개를 비교하였으며, 절골부 변위에 대한 저항력, 응력 등을 종합적으로 고려하였을 때 각 한 개의 3점 고정 나사와 골수강내 나사를 사용한 구조가 생역학적으로 가장 이상적이라고 보고하였다. 아직 가장 적합한 고정방식에 대해 결론짓기에는 연구가 부족하나, 대부분 연구들에서 최소 한 개의 3점 고정 나사 삽입의 중요성을 강조하고 있어, 수술 시행 시 이에 대해 항상 유의해야 하겠다.

4) 근위지골 절골술 및 외측부 유리술

Akin 절골술로 대표되는 제 1근위지골 절골술 역시 최소침습적 방법으로 시행할 수 있다. 근위지골 원위 1/2부터 1/3 부위 사이에서 썸기형 연마기(wedge burr) 또는 $\text{Ø}2 \times 12\text{-mm}$ 연마기를 사용하여 절골술을 시행한다. 내측 골을 썸기모양으로 절골한 뒤 폐쇄 썸기(closing wedge) 방식으로 절골 부위를 접촉시키고 3.0 mm 무두 유관 나사로 고정하거나, 금속 고정 없이 수술 후 테이핑을 통해 고정할 수 있다. 두 방법 다 임상적으로 양호하다는 보고들이 대부분이나, 나사 고정을 하지 않은 경우에서는 20%가량의 절골부의 신전이 일어났다는 보고가 있으며, 특히 외측 경첩(hinge) 골절이 발생한 경우에는 꼭 나사 고정이 필요하다.²⁰⁾ 최근에는 최소침습적 제 1근위지골 외측 개방형 썸기 절골술 및 금속 고정을 통하여 족지간 외반각을 필요한 만큼 충분히 교정하는 경향이 있고 이에 대한 임상 연구가 진행되고 있다.

중족골과 근위지골 절골술 후에도 HVA 교정이 부족하거나, 제 1중족족지관절의 비상합성이 남아 있다면 외측부 유리술을 경피적으로 시행한다.¹⁾ 제 1중족족지관절의 외측을 beaver blade로 절개한 뒤, 외측 관절낭의 절개 및 무지 내전건의 절제술을 시행한다. 이때 굴곡진 손상에 유의해야 하는데, 변형이 심하거나 종자골 아탈구의 정복 상태가 부족한 경우 특히 유의해야 한다.¹⁶⁾

5) 건막류 절제(bunionectomy) 및 내측 돌출부 절제(medial eminence resection)

기존의 중족골두 내측의 골돌출부가 남아있거나, 중족골 절골부 근위부 내측의 골돌출부는 충분한 교정에도 불구하고 환자의 주관적 만족도를 저해할 수 있다. 건막류 절제의 경우 모든 경우에서 필요하지는 않으나, 연마기의 두께를 고려했을 때 중족골두 관절면 내측에 3~4 mm 이상의 골돌출이 있다면 절제술이 도움이 될 수 있다. 제 1중족족지관절 내측에 절개를 가하여 골막하 박리 후, $\text{Ø}2 \times 12\text{-mm}$ 또는 $\text{Ø}3 \times 12\text{-mm}$ 연마기나 작은 전동 라스프(rasp)를 사용하여 건막류 골절제를 시행할 수 있다. 철저한 골막하 박리 후 골에 연마기가 완전히 중족골두에 접촉된 상태로 시행해야 신경 손상의 위험을 최소화할 수 있다.

절골 부위 내측 돌출부에 대해서는, 절골 시 사용했던 절개부를 통해 $\text{Ø}2 \times 20\text{-mm}$ 연마기를 원위부로부터 근위부를 향해 골수강내로 삽입한다.²¹⁾ C-arm을 통해 절제 범위를 확인한 뒤 골수강내의 연마기를 이용하여 내측 피질골에서 외측 피질골 방향으로 돌출부 절골을 시행한다. 피질골의 절골이 완료된 후 골편을 손으로 눌러 절제부를 압박해놓은 채로 마무리해도 되고, 작은 론저(rongeur) 등을 사용해 절제한 골편을 제거해도 무방하다.²¹⁾

6) 수술 후 관리

문헌 및 연구자마다 약간씩의 차이는 있으나, 대부분의 문헌에서는 수술 직후부터 수술 후 신발(hard outer soled shoe)을 착용하여 체중부하를 허용하고 있다.^{1,16)} 외전 테이핑 또는 보조기를 4~6주간 착용하여 고정 위치를 유지하도록 하며, 해당 기간 이후 굽이 없는 신발 착용을 허용한다.^{1,16)} 일반적으로 3개월 이후에는 신발 착용을 제한하지 않고 운동 시행이 가능하나, 환자 개인의 방사선상 골유합 진행 정도를 고려하여 술자의 지도가 필요하다.

2. 최소침습적 절골술의 결과 및 개방적 절골술과의 비교

1) 전반적 결과

Lewis 등²²⁾은 MICA를 시행 받은 292예를 최소 2년 이상 후향적으로 분석하였으며, 수술 전에 비해 수술 후 HVA는 평균 32.9° 에서 8.7° 로, 제 1, 2중족골간 각(1-2 intermetatarsal angle, IMA)은 평균 15.3° 에서 5.7° 로 개선되었다고 보고하였다. 총 합병증 발생률은 21.3%였으나 대부분 경증이었으며, 임상적으로 유의미한 합병증은 3예(0.9%)에서만 관찰되어, 전반적으로 우수한 결과를 보고하였다.²²⁾ Lam 등²³⁾은 META를 시행 받은 727예에 대한 전향적 관찰 연구에서, 평균 HVA는 술전 29.5° 에서 술후 7.3° 로, 평균 IMA는 술전 12.9° 에서 술후 4.6° 로 개선되었으며, 6.1%의 합병증 발생률과 4.5%의 재발률을 보고하였다. Lee 등¹⁰⁾은 MITA를 시행 받은 493예에 대한 후향적 연구에서, 평균 HVA는 술전 34.2° 에서 술후 8.4° 로, 평균 IMA는 술전 12.7° 에서 술후 5.8° 로 개선되었으며, 합병증은 대부분 경증이었다고 보고하였다. Gonzalez 등⁸⁾은 17개 연구, 평균 추시 기간 23.8개월의 MIS 1,088예를 분석한 체계적 문헌고찰에서 HVA가 평균 31.4° 에서 11.1° 로, IMA가 평균 13.4° 에서 7.3° 로 개선되었으며, 총 합병증 발생률은 16.6%, 재발률 2.2%, 불유합률 0.4%, 만족도는 대부분 연구들에서 80%~100%로 전반적으로 안전하고 만족도가 높은 술기라고 결론지었다(Fig. 4). Yang 등²⁴⁾은 MICA 766예를 대상으로 한 체계적 문헌고찰에서, 내고정물 제거를 포함한 총 합병증 발생률은 21.3%였다고 보고하였다.

2) 개방적 절골술과의 비교

Lee 등⁶⁾은 MICA와 scarf 절골술을 시행받은 각 25예를 대상으로 한 전향적, 무작위 대조 연구를 시행하였으며, 양 군에서 대등한 임

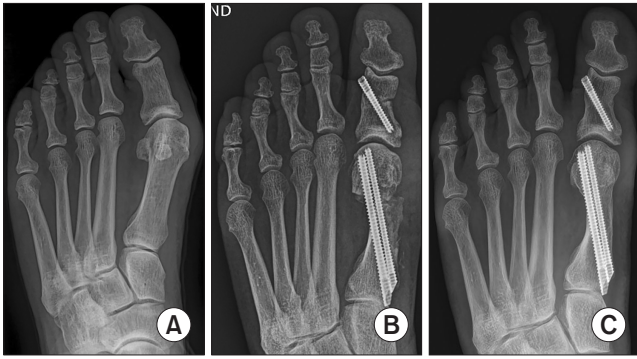


Figure 4. Radiographs of a 55-year-old female treated with MITO. (A) Pre-operative radiography showing a moderate hallux valgus deformity. (B) Immediate postoperative radiography after MITO. (C) Two-year follow-up radiography showing a good correction status without recurrence. MITO: minimally invasive transverse distal metatarsal osteotomy.

상적, 영상의학적 개선을 얻었으나, 수술 직후, 2주 째, 6주 째 VAS (visual analogue scale) 점수가 MICA를 시행받은 환자군에서 유의미하게 낮았다고 보고하였다. Yoon 등²⁵⁾은 MICA (n=36)와 개방적 원위 갈매기 절골술(n=35)을 시행 받은 환자를 대상으로 한 무작위 대조군 연구에서, 양 군 간 임상적, 영상의학적 최종 결과는 대등하였고, MICA를 시행 받은 환자군이 수술 직후 VAS 점수가 유의미하게 낮았으며, 1년째 최종 주시상 제 1중족족지관절 운동 범위가 더 컸다고 밝혔다. Lu 등²⁶⁾은 MIS 1,166예와 개방적 절골술 1,035예를 비교한 메타분석에서 합병증 발생률, 회복 기간, 임상 점수, 주관적 만족도는 두 군 간에 유의미한 차이가 없었으나, MIS군이 영상의학적으로 우수한 경우가 54.8%로, 개방적 절골술군(45.2%)에 비해 유의미하게 더 많았다고 기술하였다. Ji 등²⁷⁾은 MIS 790예, 개방적 절골술 838예를 비교한 메타분석에서, 양 군 간 HVA, IMA, 임상 점수, 합병증 발생률에서는 유의미한 차이가 없었으나, MIS가 초기 통증, 종자골 위치 교정 정도, 수술 시간, 입원 기간에서 더 우수하였으며, 3세대 MIS만을 비교하였을 때에는 최종 HVA도 유의미하게 더 작았다고 분석하였다. Ettinger 등²⁸⁾은 31개의 연구를 대상으로 한 메타분석에서, 3세대 MIS에서의 HVA의 교정력이 평균 21.2°로, 개방적 절골술에 비해 유의미하게 우수하다고 보고하였다. 종합하면, MIS의 전반적 결과는 개방적 절골술에 비해 임상 점수, 영상의학적 척도, 합병증 및 재발률 면에서 동등하며, 초기 통증에서는 일반적으로 우위를 가지는 것으로 보여, 전반적으로 안전성과 효용이 입증된 술기로 사료된다.²⁹⁻³¹⁾

3) 학습 곡선(learning curve)과 합병증

앞서 기술한 대로 3세대 이후 MIS의 우수한 결과들이 보고되어 있으나, 이는 대부분 최소침습 술기에 숙련된 술자들에 의해 시행된 연구라는 점을 고려해야 한다. Toepfer와 Strässle³²⁾은 두 번의 사체 실습 과정을 수료한 족부 전문 정형외과 의사들이 연속적으로 시행한

MICA 50예를 분석하였으며, 대략 40예 이후부터 수술 시간 및 C-arm 촬영 횟수가 유의미하게 줄어든다고 보고하였다. Lewis 등³³⁾은 세 번의 사체 실습 과정을 수료한 족부 정형외과 의사들이 시행한 MICA 61예를 고찰하여, 38예 이후부터 수술 시간 및 C-arm 촬영 횟수가 줄어든다고 분석하였다. 두 연구에서 모두 합병증 발생률은 낮았으며 학습 곡선과는 연관이 없었다고 밝혔다. 반면에, MICA 100예를 분석한 다른 연구에서는 42예를 기준으로 합병증 발생률이 줄어든다고 제시하였다.³⁴⁾ 2024년에 발표된 학습 곡선에 대한 체계적 문헌 고찰에서는 일곱 개의 논문을 분석하였으며, MICA에 숙달되는 데 20에서 40예가량이 필요하며, 주로 수술 시간과 C-arm 촬영 횟수가 줄어든다고 보고하였다.³⁵⁾

합병증에 있어서는, 최근 체계적 문헌고찰들에서 약 16%~21%가량의 합병증 발생률이 보고되었다.^{2,8,24)} 그중 대부분은 내고정물 돌출로 인한 불편감(hardware irritation)으로, 5%~6%가량에서 보고된다고 하였다.⁸⁾ 이는 환자가 원하지 않는 내고정물 제거 수술 및, 제거 수술 시 상처의 확대로 인해 MIS의 장점이 퇴색되는 결과를 유발할 수 있는데, 수술 시 나사 고정을 마치고 나서 내측 사위 영상(internal oblique view)을 확인하는 것이 중요하다. 전후방 영상에서 나사 돌출이 없어 보여도, 내측 사위 영상에서 나사 돌출이 있는 경우가 많아, 이에 대한 철저한 확인이 나사 돌출로 인한 불편감을 줄일 수 있다. 내고정물 돌출 외의 합병증으로는 피부 화상이 약 13%에서 발생한다고 하였는데, 앞에서 언급했듯 절개 후 골막 거상기를 사용한 철저한 박리 및 지속적 세척, 지혈대 미사용 등을 통해 이를 예방할 수 있다.^{8,29)} 배측 피부신경 분지 손상은 약 2.4%의 발생률이 보고되었으며, 방지를 위해서는 해부학적 위치를 정확히 숙지하고 연마기를 삽입하기 전에 철저한 골막 박리를 하는 것이 중요하다.^{1,8,29)} 특히 중증 무지외반증에서는 신경 분지의 위치가 더욱 내측으로 치우치는 경향이 있어, 더 주의가 필요하다. 건 손상은 1.5%가량에서 보고된 드문 합병증이지만, 심각한 기능적 문제를 유발할 수 있어 각별히 주의가 필요하다.^{8,29)} 방지를 위해서는 절골 시 연마기의 고음이 끝나면 피질골 절골이 완료된 것이기 때문에 사용을 바로 중지해야 하며, 골질이 약한 환자에서는 연마기 고음 및 절골 시 손에 느껴지는 강도가 약할 수 있어 더 주의가 필요하다. 또한 외측부 유리술 시에도 칼날이 너무 깊게 삽입되거나 회전 변형이 충분히 교정되지 않은 상태에서 유리술을 시행할 경우에는 무지 골곡선 손상의 위험이 있어 이에 유의해야 한다.

3. 확대 적응증: 중증 무지외반증

초창기에는, 원위 절골을 기반으로 하는 MIS는 가장 이상적인 적응증이 중등도(moderate) 무지외반증이라는 의견이 다수였으나, 100%에 가까운 중족골두 전위에도 적은 연부조직 손상과 강력한 교정력을 바탕으로 높은 교정력과 유효성을 보인다는 점에 기반하여 중증(severe) 무지외반증으로도 그 적응증이 확대되었다.¹⁾ Lewis 등³⁶⁾

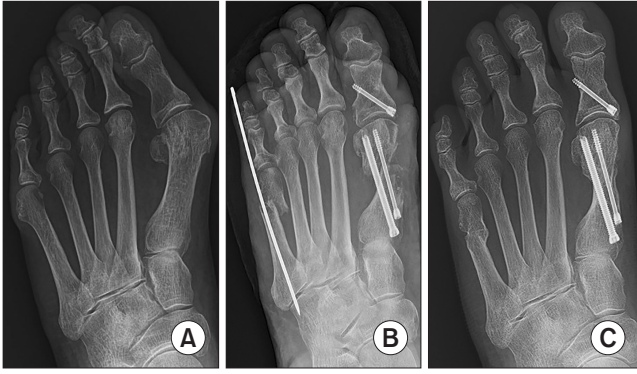


Figure 5. Radiographs of a 63-year-old female treated with MITO. (A) Preoperative radiography showing a severe hallux valgus deformity. (B) Immediate postoperative radiography after MITO. (C) Six-year follow-up radiography showing a good correction status without recurrence. MITO: minimally invasive transverse distal metatarsal osteotomy.

은 HVA 40°, IMA 20° 이상의 중증 무지외반증에 MICA를 시행 받은 59예를 후향적으로 분석하였으며, 술후 평균 HVA 11.5°, IMA 5.1°로 우수한 교정력을 보고하였고 주관적 만족도 100%, 재발률 7.5%로 3세대 MIS가 중증 무지외반증에서도 효과적인 수술 방법이라고 결론지었다. Yoon 등¹⁾은 MITO를 시행 받은 경도~중등도 무지외반증 75예, 중증 무지외반증 41예를 후향적으로 비교분석 하였으며, 영상의학적으로 술후 평균 HVA와 IMA가 중증 무지외반증에서 유의미하게 더 컸지만 정상 범위 내로 교정되었으며, 임상 점수, 합병증 발생률에서 양 군 간 차이가 없었다고 보고하였다. Ruberto 등³⁷⁾은 HVA 40°, IMA 16° 이상의 중증 무지외반증에서 시행된 MICA 676예를 대상으로 한 메타분석에서, 술후 평균 HVA 12.7°, IMA 7.6°로 충분한 교정력을 보였으며, 합병증 발생률 및 임상적 만족도를 고려하였을 때 MICA가 중증 무지외반증에서도 효과적인 술기라고 결론지었다. 종합적으로 3세대 MIS는 중증 무지외반증 교정에 있어서도 안전성, 효율성이 입증된 술기로 보인다(Fig. 5). 하지만 Choi 등³⁸⁾은 원위부 MICA와 근위부 MICA를 비교한 전향적 무작위 대조군 연구에서, 원위부 MICA에서 영상의학적 교정이 근위부 MICA에 비해 부족하여, 중증 무지외반증에서는 근위부에서의 교정이 필요할 수 있다고 보고하였다. 물론, 근위부 MIS의 경우 3점 고정 의 어려움으로 인해 중족골간 고정, 추가적 내고정물의 삽입 등을 통해 안정성을 확보해야 하는 경우가 많을 수 있어, 이에 대한 연구가 향후 필요할 것으로 사료된다.³⁹⁾

4. 최신 경향 및 전망

최근에는 횡절골술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 기존의 MICA와 교정력, 임상적 만족도 등에 대한 비교연구도 이루어지고 있어, 이에 대한 이론 정립 및 세대 구분의 타당성 등에 대한 논의가 활발히 이루어질 것으로 생각된다.^{2,14,15)} 또한 장기 추시 결과 분석, 근위부 MIS의 효용성, 교정 가이드(jig) 사용, 염증성 관절염 또

는 당뇨 등이 동반된 고위험군 환자, 재발성 무지외반증에서의 결과 분석 등이 향후 연구의 주제가 될 전망이다.

결론

MIS는 최소 침습적 접근과 견고한 고정력을 바탕으로, 기존의 개방적 절골술과 대등한 변형 교정력과 임상적 개선 능력, 상대적으로 적은 연부조직 손상과 빠른 회복 기간 등에서 이점을 보여 중등도 무지외반증뿐 아니라 중증 무지외반증에서도 유용한 술기임이 입증되었다. 핵심 술기와 합병증에 유의한다면 MIS는 다양한 범주의 무지외반증에 적용이 가능한 효과적인 수술적 치료법으로 보인다.

ORCID

Yeo Kwon Yoon, <https://orcid.org/0000-0003-0422-7424>
 Dong Woo Shim, <https://orcid.org/0000-0001-5763-7860>
 Seung Hwan Han, <https://orcid.org/0000-0002-7975-6067>
 Jin Woo Lee, <https://orcid.org/0000-0002-0293-9017>

REFERENCES

1. Yoon YK, Tang ZH, Shim DW, Rhyu HJ, Han SH, Lee JW, et al. Minimally invasive transverse distal metatarsal osteotomy (MITO) for hallux valgus correction: early outcomes of mild to moderate vs severe deformities. *Foot Ankle Int.* 2023;44:992-1002. doi: 10.1177/10711007231185330.
2. Lewis TL, Barakat A, Mangwani J, Ramasamy A, Ray R. Current concepts of fourth-generation minimally invasive and open hallux valgus surgery. *Bone Joint J.* 2025;107:10-8. doi: 10.1302/0301-620X.107B1.BJJ-2024-0597.R2.
3. Isham SA. The Reverdin-Isham procedure for the correction of hallux abducto valgus. A distal metatarsal osteotomy procedure. *Clin Podiatr Med Surg.* 1991;8:81-94.
4. Bösch P, Wanke S, Legenstein R. Hallux valgus correction by the method of Bösch: a new technique with a seven-to-ten-year follow-up. *Foot Ankle Clin.* 2000;5:485-98.
5. Brogan K, Voller T, Gee C, Borbely T, Palmer S. Third-generation minimally invasive correction of hallux valgus: technique and early outcomes. *Int Orthop.* 2014;38:2115-21. doi: 10.1007/s00264-014-2500-1.
6. Lee M, Walsh J, Smith MM, Ling J, Wines A, Lam P. Hallux valgus correction comparing Percutaneous Chevron/Akin (PECA) and open scarf/Akin osteotomies. *Foot Ankle Int.* 2017;38:838-46. doi: 10.1177/1071100717704941.
7. Lewis TL, Ray R, Gordon DJ. Minimally invasive surgery for severe hallux valgus in 106 feet. *Foot Ankle Surg.* 2022;28:503-9. doi: 10.1016/j.fas.2022.01.010.
8. Gonzalez T, Encinas R, Johns W, Benjamin Jackson J 3rd. Minimally invasive surgery using a Shannon burr for the treatment of

- hallux valgus deformity: a systematic review. Foot Ankle Orthop.* 2023;8:24730114221151069. doi: 10.1177/24730114221151069.
9. Lewis TL, Lau B, Alkhalafan Y, Trowbridge S, Gordon D, Vernois J, et al. Fourth-generation minimally invasive hallux valgus surgery with metaphyseal extra-articular transverse and Akin osteotomy (META): 12 month clinical and radiologic results. *Foot Ankle Int.* 2023;44:178-91. doi: 10.1177/10711007231152491.
 10. Lee JH, Kang T, Yoo TW, Lee D, Seo SG. Outcomes and complications for minimally invasive distal transverse metatarsal osteotomy-Akin osteotomy (MITA) for hallux valgus: 493 cases. *J Orthop Surg Res.* 2025;20:980. doi: 10.1186/s13018-025-06361-3.
 11. Aiyer A, Massel DH, Siddiqui N, Acevedo JI. Biomechanical comparison of 2 common techniques of minimally invasive hallux valgus correction. *Foot Ankle Int.* 2021;42:373-80. doi: 10.1177/1071100720959029.
 12. Nunes GA, Ferreira GF, Baumfeld T, Filho MVP, Baumfeld D, Lam P. Minimally invasive Chevron Akin: locking the metatarsal-cuneiform joint. *Foot Ankle Spec.* 2024;17:336-42. doi: 10.1177/19386400221079155.
 13. Yoon YK, Shim DW, Han SH, Lee JW, Park KH. One-month postoperative tibial sesamoid position predicts recurrence after minimally invasive hallux valgus correction: a retrospective cohort study. *Foot Ankle Int.* 2025;46:1360-9. doi: 10.1177/10711007251384646.
 14. Newton AC, Lewis TL, Ray R. The role of transverse osteotomy for minimally invasive hallux valgus deformity correction. *Foot Ankle Clin.* 2025;30:429-44. doi: 10.1016/j.fcl.2024.11.001.
 15. Wang S, He G, Zheng G, Zhu Y, Shang R, Zhang Y, et al. A retrospective radiographic comparative study of 113 feet undergoing joystick-assisted minimally invasive surgery (MIS) vs. minimally invasive Chevron-Akin (MICA) for hallux valgus correction. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2025;145:361. doi: 10.1007/s00402-025-05972-z.
 16. Murphy EP, Lewis TL, Lam P. Intraoperative considerations during percutaneous hallux valgus deformity correction. *Foot Ankle Clin.* 2025;30:473-88. doi: 10.1016/j.fcl.2024.11.005.
 17. Lewis TL, Fletcher L, Vulcano E, Gonzalez T, Kaplan J, Hong CC, et al. One versus two screw fixation in minimally invasive hallux valgus surgery: a systematic review. *Cureus.* 2025;17:e97907. doi: 10.7759/cureus.97907.
 18. So Tamil Selven D, Shajahan Mohamed Buhary K, Yew A, Kumarsing Ramruttan A, Tay KS, Eng Meng Yeo N. Biomechanical consequences of proximal screw placement in minimally invasive surgery for hallux valgus correction. *J Foot Ankle Surg.* 2024;63:672-9. doi: 10.1053/jjfas.2024.06.007.
 19. Lewis TL, Mansur H, Ferreira GF, Filho MVP, Battaglion LR, Zambelli R, et al. Comparative biomechanical study of different screw fixation methods for minimally invasive hallux valgus surgery: a finite element analysis. *Foot Ankle Surg.* 2025;31:160-9. doi: 10.1016/j.fas.2024.09.001.
 20. Ferreira GF, Nunes GA, Pugliese GM, Dinato MCME, Lewis TL, Sato G, et al. Minimally invasive Chevron-Akin (MICA) osteotomies without Akin fixation in hallux valgus correction: a case series with 2-year follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024;34:2339-45. doi: 10.1007/s00590-024-03924-8.
 21. Ferreira GF, Nunes GA, Mattos E Dinato MC, Pedrosa JP, Lewis TL, Lam P, et al. Technique tip: medial prominence bone spur resection in the third-generation percutaneous Chevron-Akin osteotomy technique (PECA) for hallux valgus correction. *Foot Ankle Surg.* 2022;28:460-3. doi: 10.1016/j.fas.2021.11.004.
 22. Lewis TL, Ray R, Miller G, Gordon DJ. Third-generation minimally invasive Chevron and Akin osteotomies (MICA) in hallux valgus surgery: two-year follow-up of 292 cases. *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103:1203-11. doi: 10.2106/JBJS.20.01178.
 23. Lam P, Murphy EP, Chua MJ, Ray R, Watt C, Robinson PW, et al. Fourth-generation percutaneous transverse osteotomies for hallux valgus. *J Bone Joint Surg Am.* 2025;107:2185-96. doi: 10.2106/JBJS.24.01326.
 24. Yang C, Spacek AE, Elliott AD. Complication rates of minimally invasive chevron osteotomy for correction of hallux abductovalgus: a systematic review. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2024;114:22-067. doi: 10.7547/22-067.
 25. Yoon H, Park KH, Jo J, Lee M, Lee JW, Kim HJ, et al; KMIFAS Group. Percutaneous distal chevron osteotomy is associated with lower immediate postoperative pain and a greater range of motion than the open technique: a prospective randomized study. *Int Orthop.* 2024;48:2383-94. doi: 10.1007/s00264-024-06231-3.
 26. Lu J, Zhao H, Liang X, Ma Q. Comparison of minimally invasive and traditionally open surgeries in correction of hallux valgus: a meta-analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2020;59:801-6. doi: 10.1053/jjfas.2019.03.021.
 27. Ji L, Wang K, Ding S, Sun C, Sun S, Zhang M. Minimally invasive vs. open surgery for hallux valgus: a meta-analysis. *Front Surg.* 2022;9:843410. doi: 10.3389/fsurg.2022.843410.
 28. Ettinger S, Spindler FT, Savli M; D.A.F. Scientific Committee; Baumbach SF. Correction potential and outcome of various surgical procedures for hallux valgus surgery: a living systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024;144:4725-36. doi: 10.1007/s00402-024-05521-0.
 29. Alimy AR, Polzer H, Ocokoljic A, Ray R, Lewis TL, Rolvien T, et al. Does minimally invasive surgery provide better clinical or radiographic outcomes than open surgery in the treatment of hallux valgus deformity? A systematic review and meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2023;481:1143-55. doi: 10.1097/CORR.0000000000002471.
 30. Malagelada F, Sahirad C, Dalmau-Pastor M, Vega J, Bhumbra R, Manzanares-Céspedes MC, et al. Minimally invasive surgery for hallux valgus: a systematic review of current surgical techniques. *Int Orthop.* 2019;43:625-37. doi: 10.1007/s00264-018-4138-x.
 31. Hochheuser G. Complications of minimally invasive surgery for hallux valgus and how to deal with them. *Foot Ankle Clin.* 2020;25:399-406. doi: 10.1016/j.fcl.2020.04.002.
 32. Toepfer A, Strässle M. The percutaneous learning curve of 3rd generation minimally-invasive Chevron and Akin osteotomy (MICA). *Foot Ankle Surg.* 2022;28:1389-98. doi: 10.1016/j.fas.2022.07.006.
 33. Lewis TL, Robinson PW, Ray R, Goff TAJ, Dearden PMC, Whitehouse MR, et al. The learning curve of third-generation percutaneous Chevron and Akin osteotomy (PECA) for hallux valgus. *J Foot Ankle Surg.* 2023;62:162-7. doi: 10.1053/jjfas.2022.06.005.
 34. Merc M, Fokter SK, I IS. Learning curve in relation to radiation exposure, procedure duration and complications rate for minimally invasive Chevron Akin (MICA) osteotomy. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023;24:575. doi: 10.1186/s12891-023-06706-1.

35. **Ramelli L, Ha J, Docter S, Jeyaseelan L, Halai M, Park SS.** *Evaluating the learning curve of minimally invasive Chevron and Akin osteotomy for correction of hallux valgus deformity: a systematic review.* *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25:854. doi: 10.1186/s12891-024-07940-x.
36. **Lewis TL, Ray R, Robinson P, Dearden PMC, Goff TJ, Watt C, et al.** *Percutaneous Chevron and Akin (PECA) osteotomies for severe hallux valgus deformity with mean 3-year follow-up.* *Foot Ankle Int.* 2021;42:1231-40. doi: 10.1177/10711007211008498.
37. **Ruberto P, Calori S, Bocchino G, Giuliani A, Vitiello R, Forconi F, et al.** *Utilisation of the minimally invasive Chevron Akin (mica) osteotomy for severe hallux valgus: a systematic review.* *Musculoskelet Surg.* 2025;109:133-43. doi: 10.1007/s12306-024-00869-3.
38. **Choi JY, Song TH, Suh JS.** *Outcome comparison of minimally invasive proximal and distal Chevron Akin osteotomies in patients with severe hallux valgus deformity: a randomized prospective study.* *Int Orthop.* 2024;48:2153-63. doi: 10.1007/s00264-024-06204-6.
39. **Chrea B, Elghazy MA, Johnson AH.** *Minimally invasive surgery proximal correction in severe hallux valgus deformities.* *Foot Ankle Clin.* 2025;30:461-72. doi: 10.1016/j.fcl.2024.11.004.