



경도-중등도 무지외반증 환자의 생체 흡수성 마그네슘 나사못과 티타늄 나사못을 사용한 수술의 단기 결과 비교

홍성엽, 김갑래, 한우솔

강동성심병원 정형외과

Comparing the Results of Using Bioabsorbable Magnesium Screw with Those Using a Titanium Screw for the Treatment of Mild to Moderate Hallux Valgus: Short-term Follow-Up

Sung yup Hong, Gab-Lae Kim, Woosol Han

Department of Orthopedic Surgery, Kangdong Sacred Heart Hospital, Seoul, Korea

Purpose: Hallux valgus (HV) is a common foot deformity that causes pain in the first metatarsophalangeal joint. Distal metatarsal osteotomies are commonly performed as a treatment. This retrospective study compared the clinical and radiological results of bioabsorbable magnesium (Mg) versus titanium (Ti) screw fixation for modified distal chevron osteotomy in HV.

Materials and Methods: Forty-nine patients, who underwent modified distal chevron osteotomy for HV in 2018 and 2019, were reviewed retrospectively. Bioabsorbable Mg screw fixation was applied in 20 patients (22 feet), and a traditional Ti compression screw was applied in 29 patients (40 feet). The patients were followed up for at least six months. The clinical results were evaluated using the American Orthopaedic Foot and Ankle Society hallux metatarsophalangeal-interphalangeal (AOFAS-MTP-IP) scale and a visual analogue scale (VAS). The hallux valgus angle (HVA), intermetatarsal angle (IMA), and distal metatarsal articular angle (DMAA) were measured before, after surgery, and at the six months follow-up.

Results: The AOFAS-MTP-IP scale and VAS points were improved in both groups, with no significant difference between them. At the six-month follow-up, HVA, IMA, and DMAA were similar. Bone union was confirmed in both groups, and there were no significant major complications in both groups. Four people in the Ti screw group underwent implant removal surgery.

Conclusion: Bioabsorbable Mg screws showed comparable clinical, radiologic results to Ti standard screws six months after distal modified chevron osteotomy. These screws are an alternative fixation material that can be used safely and avoid the need for implant removal operations.

Key Words: Hallux valgus, Absorbable implants, Osteotomy, Magnesium

서론

무지외반증은 제 1중족 족지 관절의 통증을 유발하는 흔한 질환이다. 이는 통증, 기능장애, 신발 착용의 어려움, 보행장애 등을 유발할 수 있다. 처음에는 보존적 치료를 시도해 볼 수 있으나 증상의 개선이 없거나 변형이 진행될 경우 수술적 교정이 필요할 수 있다. 원위 중족골 절골술(distal metatarsal osteotomy)은 경도, 중등도의 무지외반증 치료의 표준 치료법으로 수술 후 장기 추사에서 좋은 결

Received July 14, 2020 Revised September 2, 2020 Accepted September 2, 2020

Corresponding Author: Gab-Lae Kim

Department of Orthopedic Surgery, Kangdong Sacred Heart Hospital, 150

Seongan-ro, Gangdong-gu, Seoul 05355, Korea

Tel: 82-2-2224-2230, Fax: 82-2-489-4391, E-mail: kiga9@hanmail.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0282-1721>

Financial support: None.

Conflict of interest: None.

Copyright © 2020 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/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

과를 보이며,¹⁾ 최근에는 원위 중족골 갈매기형 절골술이 일반적으로 이용된다.²⁾ 초기에 이 술식은 뼈에 대한 고정장치 없이 수행되었다.³⁾ 그러나 불유합, 전위, 중족골두의 무혈성 괴사, 부목 등을 이용한 고정기간의 연장 등의 합병증을 줄이기 위하여 금속판, K-강선, 나사못 등을 이용한 고정법이 시행되었다.⁴⁻⁸⁾ 과거부터 갈매기형 절골술의 고정용으로 금속 나사못이 주로 이용되었다.⁹⁾ 그러나 이러한 전통적인 금속나사는 응력 차단(stress shielding), 고정물의 이동, 통증의 지속 등의 부작용이 있었다.¹⁰⁻¹²⁾ Polyglycoid와 같은 polymer를 포함한 생체 흡수성 나사못이 일부 개발되고 원위 갈매기형 절골술에서 사용되었으나 일부는 골용해, 공동(sinus) 형성, 거대세포 육아종과 같은 부작용이 나타나기도 하였다.¹³⁻¹⁵⁾

최근의 연구들은 마그네슘으로 이루어진 생체 흡수성 금속 나사못에 중점을 두고 있다. 생체 흡수성 마그네슘을 이용한 금속 고정물들은 분해가 되면서 수소 가스를 생성하게 되며 순수한 마그네슘은 골고정에 충분한 힘을 갖지 못하므로 사장되었다.¹⁶⁾ 그러나 특정한 합금 원소들을 추가함으로써 기계적 특성이 개선되었으며 이는 뼈와 비슷한 특성을 지니게 되었다. 또한 이는 골대사와 감염을 예방하는 효과와 같은 긍정적인 면도 함께 갖게 되었다.¹⁷⁻¹⁹⁾

본 저자들은 본원에서 시행된 무지외반증에서 생체 흡수성 마그네슘 나사못과 티타늄 나사못을 이용한 원위 갈매기형 절골술의 결과를 비교하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구 설계

본 연구는 원위 갈매기형 절골술에서 마그네슘 합금으로 만든 생체 흡수성 마그네슘 나사못의 유용성에 대하여 평가하기 위해 후향적 연구로 수행되었다. 2018년 1월부터 2019년 12월까지 본원에서 증상이 있는 무지외반증에 대하여 수술적인 치료로서 원위 갈매기형 절골술을 시행한 환자들을 대상으로 연구하였다. 2018년 1월부터 2018년 12월까지 수술을 시행한 환자들은 티타늄 나사못(TwinFix cannulated compression Screw; Stryker, Freiburg, Germany)을 이용한 고정술을 시행하였으며 2019년 1월부터 2019년 12월까지 수술을 시행한 환자들은 생체 흡수성 마그네슘 합금 나사못(Resomet™ headless screw; U & I Corporation, Seoul, Korea)을 사용한 고정술을 시행하였다.

티타늄 나사못을 사용한 환자는 29명, 생체 흡수성 나사못을 사용한 환자는 20명이었다. 생체 흡수성 나사못을 이용한 환자 중 1명은 추시과정에서 누락되어 연구에서 제외되었다. 티타늄 나사못을 사용한 군의 평균 연령(mean age)은 58.3±9.0세였으며, 남성이 8명 여성이 21명으로 이루어져 있었다. 생체 흡수성 나사못 군의 평균 연령은 57.9±11.1세였으며 남성이 5명 여성이 15명으로 이루어졌다. 양측에 대하여 모두 수술을 시행받은 환자는 티타늄 나사못 군에서

11명, 생체 흡수성 나사못 군에서 2명이었다(Table 1). 이 연구는 본원 임상연구 심의위원회의 승인을 받았다.

2. 술기

전신마취 또는 척추마취하에 앙와위(supine position)에서 무지와 제 2족지 사이의 제 1지간에 2 cm 가량의 배부 절제술(dorsal incision)을 통하여 무지내전근 건 절제술 및 외측 연조직 절개를 시행하였다. 이후 제 1중족골 내측으로 종절개를 가한 후 표준 내측 접근법(standard medial approach)을 통하여 관절낭 절개술(capsulectomy)을 시행한 후 뼈기 형태의 절골술을 시행하였다. 이후 원위 부 골편을 내측 및 내회전한 후 1.2 mm K-강선을 이용한 임시고정을 하였고 유관나사 고정법과 동일하게 나사를 위한 guide pin을 고정하고 확공 후 티타늄 나사못 혹은 마그네슘 합금 나사못을 고정하였다. 수술 중 이동형 엑스선 투시 촬영 장치(C-arm)를 통하여 교정의 적절성을 판단하였다.

수술 후 제 1, 2번 족지 사이의 간격을 유지하도록 하였고 단하지 부목을 이용하여 약 3일간 임시고정을 하였다. 3일 후부터는 무지가 압박되지 않는 샌들을 이용하여 부분 체중부하 보행을 시작하도록 하였다.

3. 임플란트

생체 흡수성 마그네슘 나사못(Resomet™ headless screw; U & I Corporation)은 유관나사로 직경 Ø2.7 mm를 사용하였다. 길이는 16~36 mm가 있으며 주성분은 마그네슘-칼슘-아연 합금으로 이루어져있고 생체 적합성 및 이식 시험(implantation test) 등에서 안정성이 확인되었다(Fig. 1A).²⁰⁾

티타늄 나사못(TwinFix cannulated compression Screw; Stryker)은 Ø3.2 mm, 길이 14~34 mm였다(Fig. 1B).

Table 1. Demographic Characteristics of the Patients

Variable	Absorbable screw (n=20, foot=22)	Titanium screw (n=29, foot=40)	p-value
Age (yr)	57.9±11.1	58.2±9.0	0.89
Sex (male/female)	5/15	8/21	0.84
Preoperative HVA (°)	33.6±9.7	33.0±8.5	0.80
Preoperative IMA (°)	12.8±3.8	13.3±3.6	0.6
Preoperative DMAA (°)	15.2±4.1	19.3±5.8	0.01
Preoperative VAS	4.9±2.0	5.0±1.9	0.90
Preoperative AOFAS-MTP-IP scale	68.4±5.0	70.5±4.2	0.12

Values are presented as mean±standard deviation or number only.

HVA: hallux valgus angle, IMA: intermetatarsal angle, DMAA: distal metatarsal articular angle, VAS: visual analogue scale, AOFAS-MTP-IP: American Orthopaedic Foot and Ankle Society hallux metatarsophalangeal-interphalangeal scale.

4. 추시

수술 전 및 수술 후, 수술 후 6주, 12주, 24주에 방사선 사진 및 임상 증상에 대한 추시를 하였다. 매 방문 때마다 American Orthopaedic Foot and Ankle Society hallux metatarsophalangeal-interphalangeal scale (AOFAS-MTP-IP), 통증에 대하여 시각통증척도(visual analogue scale, VAS) 점수를 확인하였다. 또한 감염, 금속 고정물의 파손과 헐거워짐 같은 합병증에 대해서도 확인하였다.

모든 방사선 사진은 체중부하 후 촬영한 사진을 이용하였으며 무지외반각(hallux valgus angle, HVA), 중족골간 각도(intermetatarsal angle, IMA), 원위 중족 관절면각(distal metatarsal articular angle, DMAA)을 측정하였다. 모든 방사선 사진은 최소 2명 이상의 본원 정형외과의사에 의해 분석되었으며 본원에서 이용되는 server-based imaging platform (STARPACS, INFINITT healthcare, Seoul, Korea)을 이용하였다. 골유합은 절골술 시행 부위를 가로지르는 골지주(bone trabeculae)가 관찰되는 경우로 판단되었다.

5. 정적 분석(static analysis)

모든 데이터는 SPSS statistics standard (ver. 26; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 통계 분석하였다. 연속변수는 평균 \pm 표준편차(standard deviation)로 표기되었다. 두 독립적인 연속변수의 비교를 위해서 독립표본 t검정(independent two sample t-test)을 이용하여 분석하였다. $p < 0.05$ 의 값이 통계적으로 유의하다고 판단되었다.

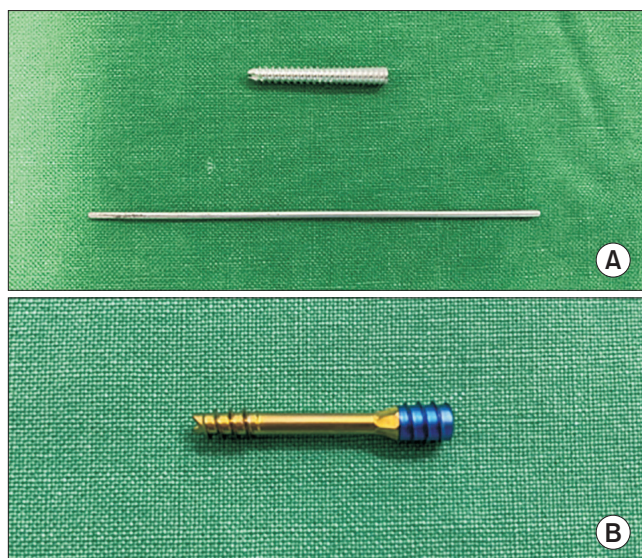


Figure 1. (A) Bioabsorbable magnesium alloy screw (Resomet™ headless screw; U & I Corporation, Seoul, Korea). (B) Standard titanium compression screw (TwinFix cannulated compression Screw; Stryker, Freiburg, Germany).

결 과

1. 방사선학적 결과

수술 전 및 수술 직후, 수술 후 6주, 12주, 24주의 단순 방사선 사진을 통하여 모든 환자에게서 HVA, IMA, DMAA를 측정하였다 (Table 1, 2).

티타늄 나사못을 사용한 환자군에서의 수술 전 방사선사진에서는 HVA $33.0^\circ \pm 8.5^\circ$, IMA $13.3^\circ \pm 3.6^\circ$, DMAA $19.3^\circ \pm 5.8^\circ$ 이 확인되었으며, 수술 후 방사선 사진에서는 $13.7^\circ \pm 4.4^\circ$, $6.9^\circ \pm 2.3^\circ$, $10.0^\circ \pm 3.8^\circ$ 이 확인되었고 6주 추시 때에는 $13.8^\circ \pm 2.8^\circ$, $8.3^\circ \pm 2.6^\circ$, $10.4^\circ \pm 3.4^\circ$, 12주 추시 때에는 $14.0^\circ \pm 3.1^\circ$, $9.0^\circ \pm 3.5^\circ$, $10.6^\circ \pm 3.7^\circ$, 24주 추시 때에는 $14.2^\circ \pm 3.7^\circ$, $9.5^\circ \pm 4.3^\circ$, $10.7^\circ \pm 4.2^\circ$ 가 확인되었다(Fig. 2).

생체 흡수성 마그네슘 나사못을 사용한 환자군에서는 수술 전 HVA $33.6^\circ \pm 9.7^\circ$, IMA $12.8^\circ \pm 3.8^\circ$, DMAA $15.2^\circ \pm 4.1^\circ$, 수술 후 $14.3^\circ \pm 2.5^\circ$, $8.1^\circ \pm 4.5^\circ$, $9.1^\circ \pm 3.5^\circ$, 6주 추시 때에는 $14.2^\circ \pm 2.1^\circ$, $8.9^\circ \pm 4.1^\circ$, $10.0^\circ \pm 3.9^\circ$, 12주 추시 때에는 $14.3^\circ \pm 2.2^\circ$, $9.2^\circ \pm 4.2^\circ$, $10.2^\circ \pm 4.4^\circ$, 24주 추시에는 $14.2^\circ \pm 2.4^\circ$, $9.6^\circ \pm 4.4^\circ$, $10.6^\circ \pm 5.0^\circ$ 이 확인되었다(Fig. 3).

Table 2. Summary of Radiographic Results

	Absorbable screw ($^\circ$)	Titanium screw ($^\circ$)	p-value
Preoperative			
HVA	33.6 ± 9.7	33.0 ± 8.5	0.80
IMA	12.8 ± 3.8	13.3 ± 3.6	0.6
DMAA	15.2 ± 4.1	19.3 ± 5.8	0.005
Postoperative			
HVA	14.3 ± 2.5	13.7 ± 4.4	0.59
IMA	8.1 ± 4.5	6.9 ± 2.3	0.23
DMAA	9.1 ± 3.5	10.0 ± 3.8	0.36
6 weeks follow-up			
HVA	14.2 ± 2.1	13.8 ± 2.8	0.46
IMA	8.9 ± 4.1	8.3 ± 2.6	0.44
DMAA	10.0 ± 3.9	10.4 ± 3.4	0.67
12 weeks follow-up			
HVA	14.3 ± 2.2	14.0 ± 3.1	0.64
IMA	9.2 ± 4.2	9.0 ± 3.5	0.83
DMAA	10.2 ± 4.4	10.6 ± 3.7	0.72
24 weeks follow-up			
HVA	14.2 ± 2.4	14.2 ± 3.7	0.93
IMA	9.6 ± 4.4	9.5 ± 4.3	0.96
DMAA	10.6 ± 5.0	10.7 ± 4.2	0.91
24 weeks follow-up postoperative			
HVA	0.0 ± 2.9	-0.4 ± 6.0	0.73
IMA	1.4 ± 3.4	2.6 ± 4.5	0.24
DMAA	1.4 ± 4.0	0.7 ± 4.6	0.49

Values are presented as mean \pm standard deviation.

HVA: hallux valgus angle, IMA: intermetatarsal angle, DMAA: distal metatarsal articular angle.



Figure 2. Simple radiographs of preoperative (A), postoperative (B), and 24 weeks follow-up (C) using bioabsorbable screws.



Figure 3. Simple radiographs of preoperative (A), postoperative (B), and 24 weeks follow-up (C) using standard titanium compression screw.

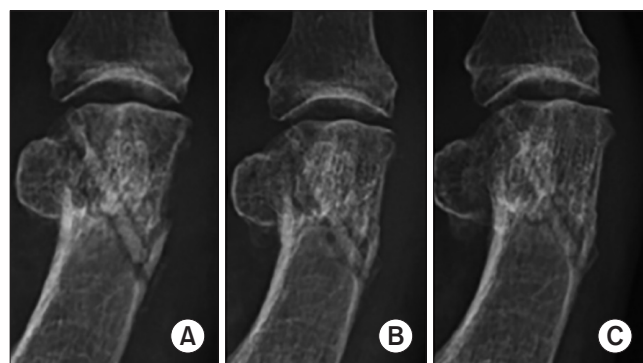


Figure 4. Simple radiographs for 6 weeks (A), 12 weeks (B), and 24 weeks (C) after surgery. Although it has decreased over time, the radiolucent sign remains.

Table 3. Summary of Clinical Results

	Absorbable screw	Titanium screw	p-value
VAS			
Preoperative	4.9±2.0	5.0±1.9	0.90
6 weeks follow-up	3.5±1.4	3.4±1.3	0.86
12 weeks follow-up	2.7±1.3	2.5±1.1	0.60
24 weeks follow-up	1.9±1.1	2.0±1.1	0.75
AOFAS-MTP-IP			
Preoperative	68.4±5.0	70.5±4.2	0.12
6 weeks follow-up	77.7±3.8	78.8±4.0	0.40
12 weeks follow-up	81.4±5.0	82.2±4.0	0.51
24 weeks follow-up	85.5±5.6	86.1±4.1	0.63

Values are presented as mean±standard deviation.

VAS: visual analogue scale, AOFAS-MTP-IP: American Orthopaedic Foot and Ankle Society hallux metatarsophalangeal-interphalangeal scale.

수술 전 DMAA만 유의한 차이를 보였으며($p=0.005$) 그 외 다른 수치들은 두 집단 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 24주 추시에서 두 군 모두에서 골유합이 확인되었으며 생체 흡수성 나사못을 사용한 군에서는 대부분의 환자들이($n=19$ of 22) 나사못 고정부위에 radiolucent sign이 확인되었다(Fig. 4).

2. 임상적 결과

두 그룹 모두에서 임상적인 증상 호전이 있었다. 티타늄 나사못을 사용한 군에서는 VAS score가 수술 전 5.0 ± 1.9 에서 수술 후 6주 추시 때에는 3.4 ± 1.3 , 12주에는 2.5 ± 1.1 , 24주에는 2.0 ± 1.1 으로 호전 되었으며, AOFAS score는 70.5 ± 4.2 에서 6주 추시 시에 78.8 ± 4.0 , 12주에 82.2 ± 4.0 , 24주에 86.1 ± 4.1 로 상승하였다. 생체 흡수성 나사못을 사용한 군에서도 마찬가지로 VAS score는 4.9 ± 2.0 에서 6주 추시 때에 3.5 ± 1.4 , 12주에 2.7 ± 1.3 , 24주에 1.9 ± 1.1 로 감소하였으며 AOFAS score는 68.4 ± 5.0 에서 6주에는 77.7 ± 3.8 , 12주에는 81.4 ± 5.0 , 24주에는 85.5 ± 5.6 로 증가하였다. 변화량은 두 집단 간에 유의한 차이는 없었다. 두 집단 모두에서 감염 및 기타 주 합병증을 보인 환자는 없었으나 티타늄 나사못을 사용한 환자 중 4명은 보행 시 약간의 불편감이 있어 수술 후 1년이 지난 시점에 급속 고정물 제거술을 시행하였고 이후 증상은 호전되었다(Table 1, 3).

고 찰

이 연구는 무지외반증의 수술적인 치료로서 원위 변형 갈매기형 절골술을 시행한 환자에서 티타늄 나사못과 생체 흡수성 나사못을 이용한 수술에 대한 방사선학, 임상적 결과를 비교한 후향적 비교 연구이다. 이 연구에서 티타늄 나사못을 이용한 군과 생체 흡수성 나사못을 이용한 군에서 방사선학, 임상적 결과의 유의한 차이는 확인되지 않았다. 또한 감염, 불유합 등 기타 부작용의 발생도 없었다.

이전에도 무지외반증 수술에서 티타늄 나사못과 생체 흡수성 나사못의 사용을 비교하는 여러 연구들이 있었다. 이전의 연구들에서도 본 연구와 마찬가지로 두 군 간의 커다란 차이가 없었다고 확인되었다. 오히려 본 연구에서는 티타늄 나사못을 이용한 군의 환자 중 4명이 임플란트 삽입부의 자극으로 인하여 급속 고정물 제거술을 시행하게 되었다.

24주 추시 시에 방사선 사진상 radiolucent sign이 6주, 12주 추시 시점보다는 줄었으나 아직 남아있었으며 주변 연조직으로 기포형성을 확인할 수 있었다. 마그네슘 나사못이 삽입된 후 체액에 노출되게 되면 마그네슘 원자는 두 개의 전자를 각각 물분자로 하나씩 전달하게 된다. 이러한 화학적 변화에 따라 수소 기체와 2가의 마그네슘 양이온, 두 개의 수산화 이온이 형성되어 주변 조직으로 나오게 된다. 수소는 체액에 완전히 녹아서 흡수될 수 있어 이러한 기포는 점차 사라지게 된다.²¹⁾ 이러한 반응은 마그네슘 합금 나사못이 주입된

후부터 지속적으로 일어나게 되고 분해가 되어 비어 있는 공간은 점차 석회화 물질로 채워지게 되며 이는 차츰 재흡수 되면서 새로운 뼈로 대체되게 된다. 이전의 마그네슘 합금의 생체분해에 대한 연구에서 보면 마그네슘 합금 임플란트의 생분해는 주입 기간 내내 발생하였으며 이는 시간이 지남에 따라 점차 부피가 감소하며 뼈로 대체됨을 알 수 있다. 분해가 진행되며 마그네슘 합금과 골 사이의 접촉 부위는 시간이 지남에 따라 점차 임플란트의 중앙 부위로 이동하게 되어 8주 경과 시 15%, 16주 경과 시 30%, 24주 경과 시 45%까지 줄어들었으며²⁰⁾ 이는 우리의 환자군에서 24주 추시에서 남아있던 radiolucent sign에 대한 설명이 될 수 있다. 이 연구에서는 약 1년 정도 경과 후 나사못 공간이 골로 완전히 대체되었다는 결과를 보여 주며 이는 본 연구의 환자들에 대한 지속적인 추시 관찰을 요하는 또 한가지 점이기도 하다.

본 연구는 몇 가지 제한점이 있다. 후향적으로 진행된 연구이며 환자군의 크기가 크지 않고 추시 기간이 짧다는 점이다. 하지만 각각의 남녀 성비 구성이나 나이 및 환자군의 특성에 유의한 차이가 없으며 단일 기관에서 동일한 치료자에 의해서 수행되었다는 점은 강점이 될 수 있다.

결 론

두 군과의 비교에서 골유합의 차이는 없었으며 그 외에도 추시하였을 때 방사선학적 결과나 임상적 결과의 유의한 차이는 없었다. 단, 티타늄 나사못을 이용한 교정술을 시행하였을 때 일부 환자에게는 시간이 충분히 지난 후에도 주관적인 이물감 및 불편감을 느껴 제거술이 필요하였던 반면에 생체 흡수성 나사못을 이용한 환자는 초기 이물감이 있어도 시간이 지나면서 증상이 호전되어 수술적인 치료를 필요로 하지 않았다. 이에 생체 흡수성 나사못을 이용한 교정술은 절골 부위의 충분한 고정력을 가지고 있어 티타늄 나사못을 안전하게 대체할 수 있으며 초기 이물감이 있더라도 시간이 지나면서 대부분 호전되어 제거를 위한 수술률을 낮추는 효과를 기대할 수 있다.

ORCID

Sung yup Hong, <https://orcid.org/0000-0002-1740-2984>

Woosol Han, <https://orcid.org/0000-0002-6308-1798>

REFERENCES

1. Schneider W, Aigner N, Pinggera O, Knahr K. Chevron osteotomy in hallux valgus. Ten-year results of 112 cases. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86:1016-20. doi: 10.1302/0301-620x.86b7.15108.

2. Cassinelli SJ, Herman R, Harris TG. Distal metatarsal osteotomy for moderate to severe hallux valgus. *Foot Ankle Int.* 2016;37:1137-45. doi: 10.1177/1071100716667280.
3. Austin DW, Leventen EO. A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed "V" displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;(157):25-30.
4. Stienstra JJ, Lee JA, Nakadate DT. Large displacement distal chevron osteotomy for the correction of hallux valgus deformity. *J Foot Ankle Surg.* 2002;41:213-20. doi: 10.1016/s1067-2516(02)80017-5.
5. Yearian PR, Brown T, Goldman F. Chevron bunionectomy with microplate and screw fixation: a retrospective follow-up of 26 feet. *J Foot Ankle Surg.* 1996;35:532-6; discussion 601. doi: 10.1016/s1067-2516(96)80126-8.
6. Clancy JT, Berlin SJ, Giordano ML, Sherman SA. Modified Austin bunionectomy with single screw fixation: a comparison study. *J Foot Surg.* 1989;28:284-9.
7. Klein MS, Ognibene FA, Erali RP, Hendrix CL. Self-tapping screw fixation of the Austin osteotomy. *J Foot Surg.* 1990;29:52-4.
8. DeFronzo DJ, Landsman AR, Landsman AS, Stern SF. Austin bunionectomy with 3M Staplizer fixation. An assessment of 20 cases. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1991;81:140-9. doi: 10.7547/87507315-81-3-140.
9. Zelen CM, Young NJ. Alternative methods in fixation for capital osteotomies in hallux valgus surgery. *Clin Podiatr Med Surg.* 2013;30:295-306. doi: 10.1016/j.cpm.2013.04.002.
10. Kelly B, Heyworth B, Yen YM, Hedequist D. Adverse sequelae due to plate retention following submuscular plating for pediatric femur fractures. *J Orthop Trauma.* 2013;27:726-9. doi: 10.1097/BOT.0b013e31829089e1.
11. Jorgenson DS, Mayer MH, Ellenbogen RG, Centeno JA, Johnson FB, Mullick FG, et al. Detection of titanium in human tissues after craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg.* 1997;99:976-9; discussion 980-1. doi: 10.1097/00006534-199704000-00006.
12. Alpert B, Seligson D. Removal of asymptomatic bone plates used for orthognathic surgery and facial fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 1996;54:618-21. doi: 10.1016/s0278-2391(96)90645-x.
13. Pavlovich R Jr, Caminear D. Granuloma formation after chevron osteotomy fixation with absorbable copolymer pin: a case report. *J Foot Ankle Surg.* 2003;42:226-9. doi: 10.1016/s1067-2516(03)70033-7.
14. Böstman OM, Pihlajamäki HK. Adverse tissue reactions to bioabsorbable fixation devices. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;(371):216-27.
15. Pelto-Vasenius K, Hirvensalo E, Vasenius J, Rokkanen P. Osteolytic changes after polyglycolide pin fixation in chevron osteotomy. *Foot Ankle Int.* 1997;18:21-5. doi: 10.1177/107110079701800105.
16. Seitz JM, Eifler R, Bach FW, Maier HJ. Magnesium degradation products: effects on tissue and human metabolism. *J Biomed Mater Res A.* 2014;102:3744-53. doi: 10.1002/jbm.a.35023.
17. Li RW, Kirkland NT, Truong J, Wang J, Smith PN, Birbilis N, et al. The influence of biodegradable magnesium alloys on the osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells. *J Biomed Mater Res A.* 2014;102:4346-57. doi: 10.1002/jbm.a.35111.
18. Witte F, Kaese V, Haferkamp H, Switzer E, Meyer-Lindenberg A, Wirth CJ, et al. In vivo corrosion of four magnesium alloys and the associated bone response. *Biomaterials.* 2005;26:3557-63. doi: 10.1016/j.biomaterials.2004.09.049.
19. Zeng J, Ren L, Yuan Y, Wang Y, Zhao J, Zeng R, et al. Short-term effect of magnesium implantation on the osteomyelitis modeled animals induced by *Staphylococcus aureus*. *J Mater Sci Mater Med.* 2013;24:2405-16. doi: 10.1007/s10856-013-4982-6.
20. Lee JW, Han HS, Han KJ, Park J, Jeon H, Ok MR, et al. Long-term clinical study and multiscale analysis of in vivo biodegradation mechanism of Mg alloy. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2016;113:716-21. doi: 10.1073/pnas.1518238113.
21. Acar B, Kose O, Turan A, Unal M, Kati YA, Guler F. Comparison of bioabsorbable magnesium versus titanium screw fixation for modified distal chevron osteotomy in hallux valgus. *Biomed Res Int.* 2018;2018:5242806. doi: 10.1155/2018/5242806.