



중족골통에서의 소족지 중족 절골술

이승열, 정진화

가톨릭대학교 의과대학 부천성모병원 정형외과학교실

Lesser Metatarsal Osteotomies for Metatarsalgia

Seung-Yeol Lee, Jin-Wha Chung

Department of Orthopedic Surgery, Bucheon St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Metatarsalgia means the pain under the lesser metatarsal heads. The many causes of metatarsalgia can be categorized into three groups: local disease in the region, altered forefoot biomechanics, and systemic disease affecting the region. Surgical options need to be considered if nonsurgical treatment fails. The metatarsal osteotomies are designed primarily to reduce the weightbearing forces on the metatarsal head by elevating or shortening the metatarsal. Many lesser metatarsal osteotomies have been described, and their success depends on many factors. Regardless of the method employed, it is important to maintain or restore the metatarsal cascade to maintain an even pressure under the lesser metatarsal heads and prevent transfer lesions. The surgeon must understand the effects of the metatarsal osteotomy on the forefoot patho-biomechanics and decide, using a combination of clinical examinations and imaging, whether the desired effect of the osteotomy is to shorten or elevate the metatarsal head or both.

Key Words: Lesser metatarsal, Metatarsalgia, Metatarsal osteotomy

서론

중족골통(metatarsalgia) 또는 중추 중족골통(central metatarsalgia)은 단일한 진단명이라기보다는 전신적 또는 국소적인 원인들에 의해 전족부의 통증이 두 번째, 세 번째 또는 네 번째 중족골두 근처에서 발생하게 되는 포괄적인 증상을 지칭하는 용어이다.

통증의 원인으로는 중족골두와 관절낭을 포함하는 주위 연부조직에 병적 상태를 유발하는 전신적 질환뿐만 아니라 시간신경종이나 Freiberg 병증과 같은 국소적 문제와 함께 생역학적으로 보행 과정 중 전족부의 모든 부위가 체중을 골고루 나눠 갖지 못하고 일부에 반복적으로 집중되는 문제가 단순히 중족골 길이들 간의 상호 불균형이나 해당 중족골두의 낮은 위치에 기인하기도 하지만, 이와 더불어 무지외반증, 소족지의 갈퀴족지 변형, 요족으로 인한

전족부의 과도한 회내(pronation), 아킬레스건의 단축으로 인한 족관절의 운동 범위 감소 등과 같은 족부 족관절의 다양한 원인들에 의해 중족골통이 발생하게 된다. 이렇게 중족골두로의 과도한 압력의 집중은 전족부 발바닥 피부에 굳은살을 만들어내어 난치성 족저각화증(intractable plantar keratosis, IPK)이란 진단명으로 분류되고, 통증과 부종, 발적 등의 증상을 유발한다.

이러한 병적 원인들에 대한 깊은 이해와 평가를 바탕으로 보존적 치료를 우선적으로 시행하였음에도 증상의 호전이 없는 환자들에 대하여 수술적 치료를 시행하게 되며, 해당 중족골두로의 과도한 압력 집중을 회피하기 위한 목적으로 중족골에 대한 절골술을 시행하는 술기들이 주를 이룬다. 절골을 시행하는 해부학적 위치에 따라 중족골의 경부 또는 골간단(metaphysis)에서 시행하는 원위 절골술과 간부에서 시행하는 절골술로 나눌 수 있으며, 절골의 모양에 따라 폐쇄 췌기 절골술(closing wedge osteotomy), 횡 절골술(transverse osteotomy), 사형 절골술(oblique osteotomy) 또는 계단 절골술(step-cut osteotomy) 등의 방법들이 있다.^{1,2)}

Received August 8, 2017 Revised September 9, 2017 Accepted September 11, 2017
Corresponding Author: Jin-Wha Chung
Department of Orthopedic Surgery, The Catholic University of Korea, Bucheon St. Mary's Hospital, 327 Sosa-ro, Wonmi-gu, Bucheon 14647, Korea
Tel: 82-32-340-7035, E-mail: koreafoot@gmail.com

Financial support: None.

Conflict of interest: None.

Copyright ©2017 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.

본 론

1. 생역학적 문제

해부학적 구조상 전족부의 제 1열 및 4, 5열은 시상면에서의 굴신 운동이 일부 가능하지만, 제 2열과 3열의 경우 해당 중족골의 기저부는 설상골과 안정적인 관절을 형성함으로써 이러한 굴신 운동이 상대적으로 허용되지 않아 족저로부터 가해지는 과도한 압력으로 인한 충격에 취약하다.

체중부하 보행 과정 중 각각의 시기를 구분하여 이해하는 것이 중족골통의 생역학적 원인 파악에 도움이 된다. 만약, 보행 과정 중 뒤꿈치가 땅에 닿은 후 발바닥 전체가 지면에 닿는 시기(mid-stance 또는 second-rocker phase)에 하나 또는 그 이상의 중족골에 해부학적으로 과도하게 족저 굴곡된 변형이 있는 경우, 해당 골두의 위치가 다른 골두들에 비하여 시상면에서 낮게 위치하게 됨으로써 이곳으로 압력이 과도하게 집중된다. 한편, 뒤꿈치가 들리면서(heel rise) 제 1족지를 포함한 전족부가 땅을 박차고 나가는 시기(third-rocker phase)에 다른 중족골들에 비해 지나치게 긴 중족골이 있다면 이곳으로 과도한 압력이 가해질 것이다. 또한, 아킬레스건 단축에 의해 족관절의 족배 굴곡이 제한된 경우에도 이 시기에 전족부로의 과도한 압력 증가를 유발하게 된다.

이렇게 중족골두가 위치하는 족저부는 보행 과정 중 체중을 지탱하면서 땅을 디디거나 박차고 나가는 과정에서 지면 또는 신발에 의한 압력을 받게되므로, 통증의 병리학적 원인과 함께 생역학적인 문제를 함께 고려해야 올바른 진단과 적절한 치료가 가능하다.

2. 분류

Espinosa 등²⁾은 중족골통을 일차성, 이차성 및 의인성의 세 가지

Table 1. Different Types of Metatarsalgia

Category	Cause
Primary metatarsalgia	Insufficiency of the first ray
	Excess of metatarsal plantar slope or plantar flexed metatarsal bone
	Metatarsal length discrepancy
	Equinus (pes cavus, contracture of gastroc-soleus complex)
Secondary metatarsalgia	Metabolic disorders (gout)
	Systemic disorders (rheumatoid arthritis)
	Arthritis of MP joint
	Trauma
	Neurologic disorders (Morton's neuroma, tarsal tunnel syndrome)
Iatrogenic metatarsalgia	Freiberg's disease
	Failed hallux valgus surgery
	Failed MP joint fusion
	Failed corrective metatarsal osteotomies

Data from the article of Espinosa et al. (Foot Ankle Int. 2008;29:871-9).²⁾

MP: metatarso-phalangeal.

로 분류하였으며, 이러한 원인에 따른 분류는 치료의 계획을 세우는 데 도움을 준다(Table 1).

일차성 중족골통은 환자에게 내재한 중족골의 이상, 즉 과도한 족저 굴곡 또는 길이의 부조화뿐만 아니라 첫째 열의 과운동성(hypermobile first ray), 족저 패드(plantar pad)의 위축, 전족부의 과도한 회내 등으로 이환된 중족골에 과도한 압력이 집중될 때 발생한다. 중족골의 과도한 족저 굴곡은 해당 족지의 갈퀴굽지 변형을 동반하는 경우가 흔하며, 이때 IPK는 중족골두 바로 아래에 위치한다. 반면에, 중족골들 간의 길이 부조화로 발생하는 중족골통의 경우 IPK는 해당 중족골두보다 원위부에 위치하게 되며 이곳에 가해지는 전단력으로 인해 흔히 둥글고 넓은 모양을 가진다. 또한, 무지외반증 환자는 보행과정의 마지막 단계인 엄지 발가락이 땅을 박차고 나가는 과정이 불완전하며 이에 대한 보상으로 제 2중족골두 또는 제 3중족골두 부위로 과도한 힘이 집중된다. 여기에 외반된 제 1족지가 제 2족지를 위로 들어올려 제 2중족지간관절의 아탈구나 완전 탈구를 유발하기도 하여 통증을 더욱 악화시킨다.

이차성 중족골통은 흔하게는 중족골 골절 후 회전 또는 각형성 부정유합으로 인한 부정렬(malalignment)이 원인이다. 다른 원인으로서는 류마티스 관절염, 통풍 등의 질환에서 중족지간관절의 불안정성이 유발되며, 이는 이차적으로 중족지간관절의 과도한 족배 굴곡 변형이 발생하고 족저 지방패드(fat pad)가 위축되거나 원위로 이동하게 되어 중족골두가 더욱 압박을 받게 된다. 여기에 중족골두들 사이로 지나가는 지간신경 또한 눌리게 되어 신경증상을 유발하기도 한다. 이 외에도 Morton 족지, 족근관 증후군 및 Freiberg 질환에서도 중족골통을 유발한다.

의인성 중족골통들 중에서는 전이성 중족골통이 가장 흔하며, 이는 무지외반증에 대한 절골술 후 제 1중족골두가 거상되거나 소족지 중족골들에 대한 절골술 이후 과도한 단축이나 중족골두의 거상이 발생하여 이차적으로 유발되는 경우가 많다.

3. 평가

환자의 과거력 청취를 통해 외상 또는 수술에 대한 기왕력과 신적인 병증을 알아보는 것이 중요하다. 특히, 당뇨 환자의 경우 신경의 당화(glycation)가 진행되는 당뇨신경증에 의해 족부의 이상감각 및 통증이 유발될 뿐만 아니라 결합조직 역시 당화에 의한 변성으로 인해 아킬레스건이나 족저근막의 신축성이 감소되어 족부관절의 운동 범위를 감소시키기도 한다.

신체검사에서 환자를 서게 하고 걷게 하여 특정 동작에서의 통증 악화 여부를 알아보아야 하며, 평소에 신는 신발과의 관계를 파악하는 것도 도움이 된다. 또한, 족관절을 각각 족저 굴곡 및 족배 굴곡시킨 상태뿐만 아니라 뒤꿈치를 내면 및 외번시켜 중족-족근관절의 잠김과 풀림이 유발된 상태에서의 족지의 운동 범위를 관찰하여 신전건 및 굴곡건의 단축을 검사한다. 족관절의 족배 굴곡에 있어 운동 범위 제한을 보일 때, 비복근(gastrocnemius) 단축

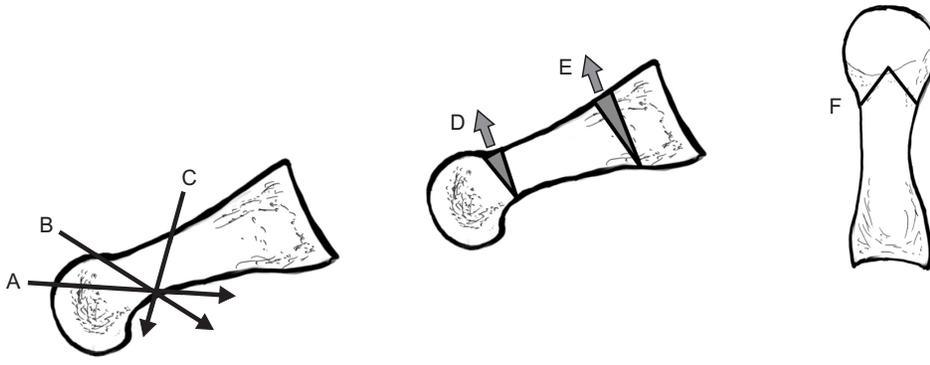


Figure 1. Schematic figures of variable metatarsal osteotomies: Distal oblique metatarsal neck osteotomy by Weil (A), distal metatarsal metaphyseal osteotomy (DMMO) by Redfern (B), distal oblique osteotomy by Helal (C), distal metatarsal wedge out osteotomy by Leventen and Pearson (D), proximal metatarsal wedge out osteotomy by Fleischli (E), and distal chevron osteotomy by Kitaoka and Patzer (F).

또는 가자미근(soleus)과 병합된 단축을 구별하기 위하여 Silfver-skiöld 검사를 시행하기도 하며, 시간신경에 대한 압박을 포함한 신경 및 혈관의 상태를 파악한다.^{3,4)}

방사선 검사는 체중을 부하한 상태에서 양측 족부의 전후면과 측면을 촬영하여 중족골들 간의 상대적 길이와 측면 경사의 정도를 파악한다. 또한, 내사면(internal oblique) 촬영을 추가하여 중족지간관절의 아탈구나 탈구를 확인한다.

4. 소족지 중족 절골술

절골술의 목적은 중족골의 족배 굴곡 또는 단축을 시행하여 중족골통을 유발하는 중족골두를 상방 또는 근위부로 이동시키는 것이다.⁵⁻⁷⁾ 이때 중족골두의 적절한 이동이 필수적인데, 부족할 경우에는 중족골통의 재발이, 과할 경우에는 전이성 중족골통의 결과를 초래할 수도 있다.

중족골통을 동반한 IPK가 하나의 중족골에 기인하여 발생하였을 때, 전이성 중족골통을 방지하기 위하여 다른 중족골에 대한 절골술을 수술 과정에 포함시켜야 하는지에 대하여는 확실치 않은 바 없다. 예를 들어, 제 3중족골두의 절골술 시행 시 제 2중족골 또는 제 4중족골에 대한 절골술을 시행할지 여부는 저자들마다 다르다.^{1,8,9)} 또한, 무지외반증 환자들 일부에서 무지를 포함한 제 1열의 통증보다는 동반된 소족지 중족골통을 주소로 병원을 방문하기도 한다. 이에 대한 치료에 있어 무지외반증에 대해서만 단독으로 수술적 치료를 시행하더라도, 수술 후 체중부하 보행 시 무지를 포함한 제 1열의 생역학적 운동이 회복됨으로써 소족지로의 압력이 감소하여 시간이 지나면서 소족지 중족골통이 자연적으로 소실되는지에 대하여는 논란이 있다.¹⁰⁾

절골을 시행하는 해부학적 위치에 따라 중족골 경부 및 골간에서 시행하는 원위 절골술과 이보다 근위부에서 시행하는 간부 절골술로 나누어 설명한다(Fig. 1).

1) 원위 절골술

(1) Weil 절골술

Weil과 Barouk에 의해 시작된 원위 사형 절골술의 일종인 Weil 절골술은 중족골의 단축으로 인한 내재근의 긴장을 감소시킬 수 있



Figure 2. When the angle of the Weil osteotomy is more vertical than the weightbearing surface of the foot, plantar displacement of the metatarsal head during the shortening of the metatarsal will coincide.

으며, 절골부의 넓은 접촉면을 가지는 내재적 안정성과 함께 절골부를 2.0 mm twist-off screw와 같은 나사못을 이용하여 고정함으로써 수술 후 부정유합이나 불유합의 위험성이 감소되고 조기 재합이 가능하다는 장점으로 근래에 많이 시행되고 있다. 하지만 절골 후 중족골두가 근위부로 이동하게 되므로 수술 전 해당 중족골의 길이가 길지 않았을 경우에는 중족골의 단축으로 인해 부유(floating) 족지를 유발하거나 주변 중족골두로의 과도한 압력을 유발함으로써 전이성 중족골통을 초래하는 등의 문제가 발생할 수 있다.^{11,12)} 또한, 이론적으로 절골을 시상면에서 지면과 평행하게 시행을 하여야 절골 원위부가 근위 이동을 할 때 중족골두의 하방 전위가 발생하지 않으며, 이를 위하여 절골의 각도가 제 2중족골일 경우 간부에 대하여 약 30도 이내의 각도를 유지하여야 한다. 하지만 이러한 각도로 절골을 시행할 경우 원치 않게 중족골의 근위부까지 도달할 정도로 길어지는 절골을 피할 수 없으며, 이에 따른 연부조직 및 혈관의 손상을 유발하기도 한다. 이러한 술기상의 어려움으로 실제로는 절골의 각도가 이보다 커지게 되는 경우가 많으며, 이러한 수직에 가까운 절골로 인해 중족골두의 근위부 이동 시 의도치 않게 중족골두의 하방으로의 전위가 동반됨으로써 중족지간관절의 내재근들이 결과적으로 중족골두의 상방에 위치하게 되어 신전근으로의 역할을 하게 된다. 이는 추후 15%에서 많게는 50%의 환자들에게서 중족지간관절이 족배 굴곡된 상태로 구축되어 이로 인한 강

직과 부유족지 등을 유발한다고 보고되었다(Fig. 2).^{13,14)} 이에 일부 저자들은 Weil 절골의 각도가 커지는 것을 허용하는 동시에 배부(dorsal) 폐쇄쇄기를 추가함으로써 지나치게 긴 절골과 중족골두의 하방 전위를 방지하려는 목적의 술기를 고안하기도 하였다.¹⁵⁾ 또한, Weil 절골술은 관절낭의 종적 절개를 통하여 골두 연골의 상방 일부를 포함하게 되는 관절내 절골술로서 다른 절골술들에 비하여 족배부 반흔조직의 과도한 형성에 기인한 족배 굴곡으로의 구축을 유발할 수 있어 수술을 마칠 시 관절낭의 봉합을 하지 않거나 필요 시 신전건 연장술과 족저판(plantar plate) 단축술을 시행하기도 하며, 술 후 일정기간 해당 족지를 족저 굴곡시킨 상태에서 핀 고정을 유지하는 등의 방법들을 사용하기도 한다.¹³⁾

(2) 원위 중족 골간단 절골술(distal metatarsal metaphyseal osteotomies, DMMO)

Weil 절골술을 시행함에 있어 전후면 상의 중족골 길이는 Maestro 등⁹⁾이 제시한 바와 같이 주변 중족골들과의 조화를 이룰 수 있도록 방사선 영상 검사를 통하여 적절한 단축을 의도할 수 있다. 반면에 Weil 절골의 각도를 조정하거나 폐쇄쇄기를 추가함으로써 중족골의 높낮이, 즉 중족골의 경사를 어느 정도는 조정할 수 있지만, 이에 대한 술 전 계획을 세울 때나 수술 중에 방사선 영상 검사를 통하여 정확한 계측과 평가가 어려울 뿐만 아니라, 수술 과정 중에 나사못을 이용하여 골두의 높낮이를 인위적으로 고정함으로써 절골부의 안정성을 얻는 장점 대신에 술 후 보행 시 족부 아치의 문제 또는 아킬레스건의 단축 등에 의한 동적 영향을 받게 되더라도 추가적인 중족골두의 높낮이 변동이 불가능하여 예상치 못한 중족골통의 재발이나 전이성 중족골통이 발생할 수도 있다.¹⁶⁾

Vernois 등¹⁷⁾은 최소 침습 도달법을 통하여 직경이 작은 Shannon burr로 중족골 경부 중앙에서 시작하여 약 45도를 유지한 채로 중족골 간부로 절골을 진행하는 술식을 시행하였으며, 이에 대한 양호한 결과를 보고하였다. 이러한 술식은 Weil 절골술과 달리 관절의 절골술이므로 술 후 강직에 의한 관절운동 제한이 적게 발생하며, 절골부에 대한 고정을 시행하지 않음으로써 절골부의 완전 유합 이전에 보행을 시행하여 중족골두의 높낮이가 생역학적으로 자연스럽게 위치하는 장점이 있겠으나, 오히려 절골부의 불유합과 함께 과도한 골두의 상방 전위를 가져오는 부정유합 등이 문제가 되기도 한다.¹⁸⁾

한편, Leventen과 Pearson⁸⁾은 중족골 경부에 rongeur를 이용하여 약 5 mm의 피질골을 제거한 후 골두에 상방으로의 도수 압박을 가하여 결과적으로 V자 모양의 배측 폐쇄쇄기 절골술을 유도하는 술식을 시행하였다. 이때, 술 후 전이성 중족골통의 속발을 방지하기 위해 제 2중족골두 또는 제 4중족골두 부위에 발생한 IPK의 경우 제 3중족골에 대한 절골술을 같이 시행하였고, 제 3중족골두 부위에 발생한 IPK에 대하여는 제 2중족골 및 제 4중족골에 대하여 절골술을 동시에 시행하여 양호한 결과를 보고하였다. 이러한 술

식의 절골부는 부진 골절(greenstick fracture)의 양상을 취하므로 원칙적으로 내고정을 요하지 않지만, 부정유합 또는 불유합이 우려되어 K강선으로 한시적 고정을 시행하기도 한다.

또한, Kitaoka와 Patzer¹⁹⁾는 중족골 골두와 경부의 경계를 정점으로 종적 원위 갈매기(vertical distal chevron) 절골을 시행하여 중족골두를 수직으로 2~3 mm 정도 거상시킨 후 절골 부위를 밀착시키는 술식을 시행하였으며, 이 또한 절골부 자체에 내재하는 안정성은 어느 정도 있지만 환자의 체중부하 보행에 따른 골두의 거상이 과도하게 발생할 수 있어, K강선을 이용하여 절골부를 한시적으로 고정하는 것을 권장하였다.^{15,19)}

2) 간부 절골술

Wolf²¹⁾는 V자 모양의 배측 폐쇄쇄기 절골술을 원위 간부에서 시행하였고, Helal은 원위 간부로부터 시작하여 약 45도의 각도로 중족골 골두의 결절(tubercle)에 손상이 가지 않는 범위 내에서 원위 족저 간부로 향하는 사형절골술을 시행한 후 내고정을 시행하지 않은 채로 체중부하 보행을 허용하여 원위절골편의 자연스러운 거상 및 근위부로의 이동을 유도하였다.^{20,21)} 이들 술기에 대한 양호한 결과들이 보고되었지만, 반대로 절골부의 부정유합이나 불유합의 발생 빈도가 높아 전이성 중족골통의 합병이 많고 임상적 만족도 역시 높지 않다는 보고들도 있다.²²⁾

한편, Fleischli 등²³⁾은 V자 모양의 배측 폐쇄쇄기 절골술을 중족-설상골간 관절로부터 약 1 cm 원위부인 근위 간부에서 치밀골을 약 2~5 mm가량 절제하는 방법으로 시행하였으며, 당뇨족의 전족부 궤양 및 지간 신경증을 가지는 환자들에게서 좋은 결과를 보고하였다.

결 론

중족골통에 시행하는 소족지 중족 절골술은 해당 중족골두로의 과도한 압력 집중을 회피하기 위한 목적으로 중족골두를 상방 또는 근위부로 이동시키는 술기로, 술 후 발생할 수 있는 중족골통의 재발이나 전이성 중족골통의 속발 등을 방지하기 위하여 전족으로의 과도한 압력을 유발할 수 있는 보행을 포함한 족부의 생역학 및 병변의 해부학적 이해가 요구된다.

REFERENCES

1. Feibel JB, Tisdell CL, Donley BG. Lesser metatarsal osteotomies. A biomechanical approach to metatarsalgia. *Foot Ankle Clin.* 2001;6:473-89.
2. Espinosa N, Maceira E, Myerson MS. Current concept review: metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2008;29:871-9.
3. Aronow MS, Diaz-Doran V, Sullivan RJ, Adams DJ. The effect of triceps surae contracture force on plantar foot pressure distri-

- bution. *Foot Ankle Int.* 2006;27:43-52.
4. Maskill JD, Bohay DR, Anderson JG. Gastrocnemius recession to treat isolated foot pain. *Foot Ankle Int.* 2010;31:19-23.
 5. O'Kane C, Kilmartin TE. The surgical management of central metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2002;23:415-9.
 6. Pearce CJ, Calder JD. Metatarsalgia: proximal metatarsal osteotomies. *Foot Ankle Clin.* 2011;16:597-608.
 7. Schuh R, Trnka HJ. Metatarsalgia: distal metatarsal osteotomies. *Foot Ankle Clin.* 2011;16:583-95.
 8. Leventen EO, Pearson SW. Distal metatarsal osteotomy for intractable plantar keratoses. *Foot Ankle.* 1990;10:247-51.
 9. Maestro M, Besse JL, Ragusa M, Berthonnaud E. Forefoot morphotype study and planning method for forefoot osteotomy. *Foot Ankle Clin.* 2003;8:695-710.
 10. Tóth K, Huszanyik I, Kellermann P, Boda K, Róde L. The effect of first ray shortening in the development of metatarsalgia in the second through fourth rays after metatarsal osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2007;28:61-3.
 11. Beech I, Rees S, Tagoe M. A retrospective review of the Weil metatarsal osteotomy for lesser metatarsal deformities: an intermediate follow-up analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2005;44:358-64.
 12. Grimes J, Coughlin M. Geometric analysis of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2006;27:985-92.
 13. Miguez A, Shullitel G, Bilbao F, Carrasco M, Solari G. Floating-toe deformity as a complication of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2004;25:609-13.
 14. Trnka HJ, Nyska M, Parks BG, Myerson MS. Dorsiflexion contracture after the Weil osteotomy: results of cadaver study and three-dimensional analysis. *Foot Ankle Int.* 2001;22:47-50.
 15. Snyder J, Owen J, Wayne J, Adelaar R. Plantar pressure and load in cadaver feet after a Weil or chevron osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2005;26:158-65.
 16. Khurana A, Kadamabande S, James S, Tanaka H, Hariharan K. Weil osteotomy: assessment of medium term results and predictive factors in recurrent metatarsalgia. *Foot Ankle Surg.* 2011;17:150-7.
 17. Vernois J, Redfern D, Ferraz L, Laborde J. Minimally invasive surgery osteotomy of the hindfoot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2015;32:419-34.
 18. Haque S, Kakwani R, Chadwick C, Davies MB, Blundell CM. Outcome of minimally invasive distal metatarsal metaphyseal osteotomy (DMMO) for lesser toe metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2016;37:58-63.
 19. Kitaoka HB, Patzer GL. Chevron osteotomy of lesser metatarsals for intractable plantar callosities. *J Bone Joint Surg Br.* 1998;80:516-8.
 20. Trnka HJ, Kabon B, Zettl R, Kaider A, Salzer M, Ritschl P. Helal metatarsal osteotomy for the treatment of metatarsalgia: a critical analysis of results. *Orthopedics.* 1996;19:457-61.
 21. Wolf MD. Metatarsal osteotomy for the relief of painful metatarsal callosities. *J Bone Joint Surg Am.* 1973;55:1760-2.
 22. Trnka HJ, Mühlbauer M, Zettl R, Myerson MS, Ritschl P. Comparison of the results of the Weil and Helal osteotomies for the treatment of metatarsalgia secondary to dislocation of the lesser metatarsophalangeal joints. *Foot Ankle Int.* 1999;20:72-9.
 23. Fleischli JE, Anderson RB, Davis WH. Dorsiflexion metatarsal osteotomy for treatment of recalcitrant diabetic neuropathic ulcers. *Foot Ankle Int.* 1999;20:80-5.