

Artículo original

doi: 10.35366/104567

Resultados clínicos del tratamiento de la metatarsalgia mecánica sin afectación del primer metatarsiano

Clinical results of treatment of mechanical metatarsalgia without first metatarsal involvement

De Prado-Ripoll J,* De Prado M,* Forriol F[‡]

Hospital San Carlos, Quirón, Murcia.

RESUMEN. **Objetivo:** Analizar los resultados clínicos de las metatarsalgias tratadas con osteotomías metafisarias metatarsales distales (DMMO) por vía percutánea. **Material y métodos:** Estudio prospectivo y continuo de 29 pacientes afectados de metatarsalgia mecánica aislada unilateral, intervenidas con una DMMO, con un seguimiento medio de 38 meses. La edad media de los pacientes fue 58 (rango: 50-67) años y sólo dos hombres. Utilizamos la escala AOFAS, anotamos la fórmula digital y metatarsiana sobre la radiografía. Registramos la valoración subjetiva del cirujano y del paciente al final del tratamiento. **Resultados:** La mejoría de la puntuación final superó los 80 puntos en todos los metatarsianos ($p = 0.000$), con una mejoría significativa del dolor ($p = 0.000$) y de las callosidades ($p = 0.000$), mejorando la estabilidad articular metatarso-falángica e interfalángica y la alineación de los metatarsianos. El tipo de calzado no cambió después de la cirugía, no encontramos variación de la movilidad, ni en las articulaciones metatarso-falángicas ($p = 0.382$), ni en las interfalángicas ($p = 0.672$). Después de la cirugía aumentaron los pies cuadrados ($p = 0.027$). La fórmula metatarsiana sufrió pocas modificaciones, 96% de los pacientes y de los cirujanos se mostraron «muy satisfechos» o «satisfechos». **Conclusión:** La DMMO consigue un alto grado de satisfacción en pacientes y también en el cirujano, elimina el dolor y la hiperqueratosis bajo la cabeza de

ABSTRACT. **Objective:** To analyze the clinical results of metatarsalgia treated with percutaneous distal metatarsal metaphyseal osteotomies (DMMO). **Material and methods:** Prospective and continuous study of 29 patients with isolated unilateral mechanical metatarsalgia, operated on with DMMO, with a mean follow-up of 38 months. The mean age of the patients was 58 (range: 50-67) years and only two men. We use the AOFAS score, we obtained the digital and metatarsal formulas on the X-rays. We record the subjective assessment of the surgeon and the patient at the end of the treatment. **Results:** The improvement in the final score exceeded 80 points in all cases ($p = 0.000$), with a significant improvement in pain ($p = 0.000$) and calluses ($p = 0.000$), improving metatarsal-phalangeal joint stability and interphalangeal and metatarsal alignment. The type of footwear did not change after surgery, we found no variation in mobility, neither in the metatarsophalangeal joints ($p = 0.382$), nor in the interphalangeal joints ($p = 0.672$). After surgery increased the square foot morphology ($p = 0.027$) but the metatarsal formula underwent few modifications. Patients and surgeons were in 96% of the cases «very satisfied» or «satisfied». **Conclusion:** DMMO achieves a high degree of satisfaction in patients and in the surgeon, pain and hyperkeratosis under the head of the painful metatarsals

Nivel de evidencia: IV

* Hospital San Carlos, Quirón, Murcia, España.

‡ Facultad de Medicina, Universidad San Pablo-CEU, Campus de Montepíñlope, Madrid, España.

Correspondencia:

Francisco Forriol

Facultad de Medicina, Universidad San Pablo-CEU, 28665, Alcorcón.

E-mail: fforriol@mac.com

Recibido: 15-05-2021. Aceptado: 15-10-2021.

Citar como: De Prado-Ripoll J, De Prado M, Forriol F. Resultados clínicos del tratamiento de la metatarsalgia mecánica sin afectación del primer metatarsiano. Acta Ortop Mex. 2021; 35(5): 411-416. <https://dx.doi.org/10.35366/104567>



www.medigraphic.com/actaortopedia



los metatarsianos dolorosos que mejora significativamente la capacidad funcional de los pacientes.

Palabras clave: Metatarsalgia, pie, osteotomías metafisarias metatarsales distales, hiperqueratosis.

disappear and that significantly improves the functional capacity of patients.

Keywords: Metatarsalgia, foot, distal metaphyseal metatarsal osteotomy, hyperkeratosis.

Introducción

La metatarsalgia refiere el dolor localizado o generalizado de la parte distal del pie, en la zona de apoyo de las cabezas del segundo, tercer y cuarto metatarsianos y los dedos.^{1,2} Las causas de la metatarsalgia pueden ser primarias, secundarias o iatrogénicas. En 90% de los casos la metatarsalgia es de origen mecánico,³ diferenciando entre metatarsalgias «estáticas» y «propulsivas».⁴

Los factores que pueden desencadenar una metatarsalgia son muchos y variados, pueden influir las alteraciones en la biomecánica de la marcha, una actividad física excesiva o alteraciones morfológicas de la extremidad inferior.¹ Es frecuente la asociación de la metatarsalgia con patologías del primer radio, *hallux valgus* o *hallux rigidus*, aunque son patologías bien diferenciadas. La evolución de la metatarsalgia puede provocar una luxación o subluxación de las articulaciones metatarso falángicas (MTF) que desplazan distalmente la almohadilla plantar con un aumento de la presión sobre las cabezas de los metatarsianos (M), aumentando la sintomatología.

El tratamiento quirúrgico se plantea cuando falla el tratamiento conservador o presenta una causa que puede ser resuelta y su objetivo es restaurar la biomecánica y la distribución normal de las presiones plantares del antepié. Para ello se disponen de diferentes técnicas quirúrgicas, habiéndose publicado más de 20 tipos diferentes de osteotomías,⁵ variando el punto de corte (base, diafisarias o subcapitales) y la actuación sobre las partes blandas.

Por otra parte, los abordajes varían, desde una cirugía amplia a procedimientos localizados que se realizan de forma abierta o percutánea.

Durante los últimos años y tras los estudios de Maestro⁶ se ha considerado como objetivo del tratamiento quirúrgico de la metatarsalgia mecánica el restablecimiento de la fórmula metatarsal; pero la longitud de los metatarsianos no es el único factor responsable de las alteraciones biomecánicas del antepié. Nuestra hipótesis es que la cirugía percutánea del antepié puede resolver la metatarsalgia mecánica, sin necesidad de buscar la armonía metatarsal del antepié. El objetivo quirúrgico debe ser devolver la forma y la biomecánica del antepié a las condiciones de cada paciente.

En el presente estudio analizamos las metatarsalgias tratadas con osteotomías metafisarias metatarsales distales (DMMO) percutáneas y evaluamos los resultados clínicos, la morfología del pie y la fórmula metatarsal, así como la satisfacción de los pacientes intervenidos y del cirujano después de la cirugía y en la última revisión.

Material y métodos

Efectuamos un estudio entre Junio de 2014 y Abril de 2017, prospectivo y continuo, de 29 pacientes afectados de metatarsalgia aislada unilateral, operados por un único cirujano.

Se controlaron los pacientes antes y después de la intervención, con controles a los tres y seis meses y una última revisión a partir del año. La edad media de los pacientes fue de 58 (DE = 5; rango 50-67) años; 15 pies eran del lado izquierdo y 14 del derecho y en nuestra muestra sólo tuvimos dos hombres. El seguimiento medio fue de 38 (DE = 12; rango 18-71) meses.

Recogimos los datos preoperatorios, de la cirugía y postoperatorios. Todas las metatarsalgias eran mecánicas, una de las condiciones de inclusión en el estudio, además de ser unilateral, era que todos los pacientes hayan seguido un tratamiento conservador previo, al menos durante seis meses. Excluimos los casos con tabaquismo, tratamiento de corticoides, neuroma de Morton, enfermedades reumáticas, metatarsalgias bilaterales o con deformación en el primer radio ya sea por *hallux valgus* o *hallux rigidus*. Todos los pacientes firmaron el consentimiento informado antes de la cirugía.

Para la exploración clínica y la valoración de los resultados seguimos la escala *The American Orthopaedic Foot & Ankle Society* (AOFAS),⁷ antes de la cirugía y durante el seguimiento. Anotamos la fórmula digital, clasificando los pies, según la longitud del primer y segundo dedo en: pie griego, pie egipcio o pie cuadrado, antes y después de la cirugía y apuntamos la patología asociada en otros dedos (M2, M3, M4, M5), así como la movilidad de la MTF, plantar y dorsal, de los dedos laterales. En el examen clínico se estudió la cadena posterior, anotamos la existencia de un acortamiento de los gemelos (diferencial > 15°) y un posible tendón de Aquiles corto. Dentro de la estética global, nos fijamos en la posible existencia de un *genu valgo*, *genu varo* o alteración rotacional de los miembros inferiores. En dos pacientes detectamos un *genu valgo* (> 10°), en otro un *genu varo* (> 10°) y una tibia vara.

Sobre el podoscopio miramos si la huella plantar era simétrica, fisiológica o asimétrica y clasificamos los pies en normal (seis pies), plano (dos pies) o cavo (21 pies).

En el examen radiográfico, pre- y postquirúrgico estudiamos la relación de la longitud de los metatarsianos primero (M1) y segundo (M2), clasificados como Plus-Minus (M1 = M2), Minus (M1 < M2) o Plus (M1 > M2). En el examen radiográfico también observamos posibles luxaciones M-F.

Todas las metatarsalgias fueron tratadas con una DMMO. La DMMO de M2 + M3 + M4 se realizó en 20 (68.9%) ocasiones, de los cuatro metatarsianos laterales en ocho pies y de M2 + M3 en uno. En ocasiones se asociaron artrodesis o artroplastia de la articulación interfalángica (IF), osteotomías de la primera o de la segunda falange percutáneas o acortamientos. Seis cirugías se acompañaron de una osteotomía de la falange proximal, tres en el segundo radio, dos en el tercer radio, una en el cuarto y otra en el quinto.

Los tendones flexores de los dedos, corto y largo o extensores, corto y largo, requirieron ser seccionados en ocho ocasiones en M2, en cinco ocasiones en M3 y M4 y en cuatro ocasiones en M5. Antes de la cirugía encontramos en dos pies una luxación de la MTF2 y otro de la MTF3.

Se anotó la valoración subjetiva del cirujano (0-10) inmediatamente después de la cirugía y en la última revisión, además la del paciente al final del tratamiento.

Técnica quirúrgica

La anestesia se efectuó con un boqueo del tobillo, infiltrando el nervio tibial, las ramas cutáneas dorsales del nervio peroneo superficial, el nervio safeno, sural y peroneo profundo, con mepivacaína (2%) y bupivacaína (0.75%) a 50% por su rápida acción y duración prolongada.

Las DMMO percutáneas⁸ se realizaron con una incisión en el espacio o espacios intermetatarsianos correspondientes, despegamos, con la raspa DPR, el periostio de la cara externa del cuello del metatarsiano y después introdujimos la broca Shannon «44» larga para realizar las osteotomías. Con el fin de evitar la aparición de metatarsalgias por transferencia, no realizamos la osteotomía sólo en el metatarsiano correspondiente a la hiperqueratosis, seguimos la fórmula de Levantén,⁹ con una hiperqueratosis plantar bajo la cabeza de M2 efectuamos las osteotomías en M2 y M3. En caso de hiperqueratosis plantar bajo la cabeza de M3 realizamos osteotomías en M2, M3 y M4. Con una hiperqueratosis plantar bajo la cabeza de M4, realizamos las osteotomías de M3 y M4. Indicamos la realización de osteotomías en los tres metatarsianos centrales salvo en casos excepcionales de hiperpresión sobre la cabeza de un solo metatarsiano, normalmente M4, cuando eran metatarsalgias por descenso de dicho metatarsiano.

El cirujano valoraba, con fluoroscopía, la orientación de la osteotomía dando una inclinación de 45° respecto al plano del suelo y efectuando un movimiento de supinación con la mano para no cambiar la dirección del gesto quirúrgico. Una vez realizada la osteotomía, se suturaron las incisiones, con monofilamento 4-0.

Se lavó el pie y se colocó un vendaje de tracción de los dedos hacia medial y con una cincha metatarsiana, recomendando un zapato quirúrgico, de suela recta y rígida. La retirada de los puntos se realizó a la semana enseñando al paciente a cambiar su vendaje tras el aseo diario. Se prohibió andar descalzo, sin el zapato y sin el vendaje, para evitar el desplazamiento de las osteotomías. Pasado un mes,

se realizó la revisión con control radiográfico y si existía suficiente callo fibroso se autorizaba otro tipo de calzado, siempre ancho, con suela resistente y cordones, durante dos a tres meses después de la cirugía.

Estadística

Realizamos un estudio estadístico analítico descriptivo. Utilizamos la t de Student para las variables continuas con distribución normal, χ^2 para las variables cualitativas. Todos los valores $p \leq 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos.

Resultados

La valoración prequirúrgica y postquirúrgica de la escala AOFAS se presenta en la *Tabla 1*. La mejoría de la puntuación final fue evidente, llegando después de la cirugía a una puntuación superior a los 80 sobre 100 en todos los metatarsianos desde una puntuación inicial de 50 puntos ($p = 0.000$). Observamos una mejoría significativa del dolor ($p = 0.000$) y de las callosidades ($p = 0.000$), mejorando la estabilidad articular M-F e I-F y la alineación de los metatarsianos. La exigencia del calzado no cambió después de la cirugía, no encontramos variación en la movilidad ni de las articulaciones metatarso-falangicas ($p = 0.382$) ni tampoco en las interfalangicas ($p = 0.672$).

La movilidad de la articulación MTF de los dedos intervenidos se midió la flexión dorsal y flexión plantar. Antes y después de la cirugía, ambas disminuyeron ligeramente con la cirugía en todos los radios intervenidos y los valores fueron muy similares en todos ellos. La flexión plantar antes de la cirugía fue 75° (DE = 10°; rango 90°-50°) y 76.07° (DE = 9.16°; rango 90°-70°) en el último control, sin encontrar diferencias ($p = 0.416$). Por su parte, la flexión dorsal antes de la cirugía fue 67.14° (DE = 11.17°; rango 80°-40°) y 65.71° (DE = 11.99°; rango 80°-40°) en el último control, sin hallar diferencias ($p = 0.382$).

El tipo de pie presentó antes de la cirugía una mayoría de pies egipcios (60%), seguido de pies griegos (28%) y por último pies cuadrados. Después de la cirugía, la proporción de

Tabla 1: Evolución de la escala de AOFAS, antes de la cirugía y en el último control.

	Antes de la cirugía	Último control	p		
Total	38.67 (14.42)	69-14	78.75 (9.04)	95-58	0.000
Dolor	6.43 (9.51)		37.85 (4.17)		0.000
Limitación funcional	3.93 (1.35)		9.46 (1.17)		0.000
Calzado	6.07 (2.09)		6.78 (2.79)		0.641
Movilidad MTF	6.25 (2.20)		6.25 (2.20)		0.715
Movilidad IF	3.75 (2.20)		3.39 (2.38)		0.473
Estabilidad	4.46 (1.57)		4.82 (0.94)		0.383
Alineación	7.61 (3.84)		10 (3.22)		0.013

MTF = metatarso falangicas, IF = articulación interfalangica.

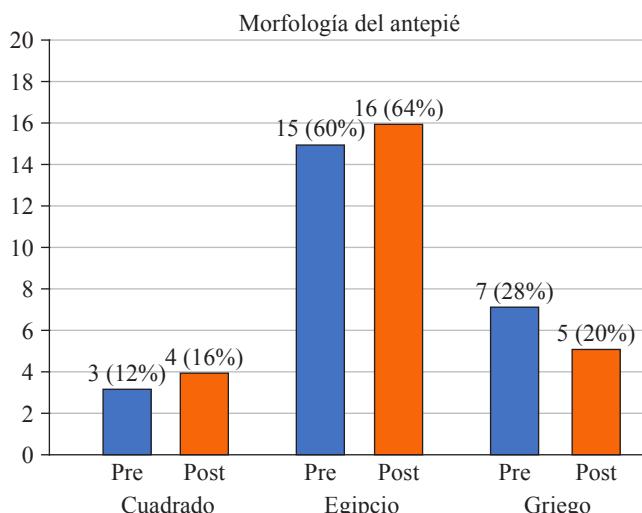


Figura 1: Evolución de la morfología del pie, antes y después de la cirugía.

pies cuadrados (56.2%) aumentó de forma significativa ($p = 0.027$), disminuyendo los pies egipcios (37.1%) (Figura 1).

El índice metatarsiano $M1 < M2$ fue la fórmula más frecuente antes de la cirugía (80%). Tras la cirugía hubo una redistribución, 64% siguieron siendo $M1 < M2$ y el resto se dividió a partes iguales, entre $M1 = M2$ (16%) y $M1 > M2$ (20%) (Figura 2).

La media de la satisfacción del cirujano fue de 8.11 (DE = 0.6; rango 7-9) puntos antes de la cirugía y pasó a 8.64 (DE = 0.69; rango 8-9) puntos después de la cirugía (Tabla 2). Encontramos pocos casos de pacientes (10%) o de cirujanos (5%) decepcionados o muy decepcionados. Los pacientes manifestaron estar muy satisfechos en 51.7% de los casos, porcentaje inferior en los cirujanos, 35.3%.

Encontramos una correlación significativa y positiva entre la satisfacción del paciente y la del cirujano ($p = 0.000$) (ρ de Spearman = 0.705). Como es lógico, la satisfacción de los pacientes y del cirujano se correlacionaron con la puntuación obtenida en la escala AOFAS, $p = 0.000$, $r = 0.708$ en los pacientes y $p = 0.000$, $r = 0.479$ para el cirujano. La satisfacción de los pacientes no se correlacionó con el tipo de pie ($p = 0.664$).

En cuanto a las complicaciones, no tuvimos ningún acortamiento, pero encontramos dos retrasos de consolidación, uno en $M2$ y otro en $M3$, una recidiva y una metatarsalgia de transferencia que requirió la osteotomía posterior de $M5$. La luxación en $M2$ fue en un caso que ya estaba luxado antes de la cirugía.

Discusión

En la metatarsalgia hay una sobrecarga sobre una zona localizada del antepié producida por una alteración mecánica de la estructura del pie. Según algunos autores,^{6,10} la metatarsalgia está asociada con mucha frecuencia con un *hallux valgus*. Incluso la metatarsalgia podría ser consecuencia del *hallux valgus* que produce una sobrecarga mecánica en

la cabeza de los metatarsianos por insuficiencia del primer radio; sin embargo, no hay evidencia de que esto sea así. Hofmann y colaboradores¹¹ observaron presiones plantares mayores en los pies con *hallux valgus* debajo de las cabezas metatarsianas $M2$, $M3$, $M4$ y $M5$ que en los pies sin alteraciones del primer radio. Las presiones bajo el *hallux* no mostraron diferencias.

La cirugía debe enfocarse para cambiar la zona de carga y redistribuir las presiones sobre la planta del pie. Para ello, se han propuesto osteotomías sobre los metatarsianos laterales para cambiar y mejorar el apoyo del antepié durante la estética y la marcha,^{4,12} aunque no siempre es fácil determinar el número de huesos a osteotomizar.

Insistimos en que el objetivo de la cirugía no debe ser restaurar la «forma anatómica ideal o armónica del antepié»,⁶ pues cada persona tiene una morfología diferente y los criterios de Maestro pueden ser útiles para calcular el acortamiento de los metatarsianos, pero la morfología armónica ideal se encuentra en pocos pies y carece de valor predictivo en los resultados clínicos¹³ y, además, no garantiza la redistribución de las presiones plantares ni la eliminación del dolor.¹⁴

En el desarrollo de la metatarsalgia mecánica no sólo importa la longitud de los metatarsianos. Hay otros factores que influyen de manera directa en el origen de la metatarsalgia que no se resuelven con el acortamiento de los metatarsianos o el descenso de alguno de ellos. La insuficiencia de la musculatura intrínseca del pie es un factor a tener en cuenta en el desarrollo de la metatarsalgia mecánica.¹⁴

La cirugía percutánea ha evolucionado, desarrollando nuevas técnicas¹⁵ más precisas y seguras si se siguen indicaciones correctas. Además, el tiempo quirúrgico es más corto, la recuperación más rápida, la anestesia puede ser local, las tasas de complicaciones son más bajas,¹⁶ la estancia hospitalaria se reduce y los tiempos de recuperación son más rápidos, con tasas de morbilidad más bajas y procuran

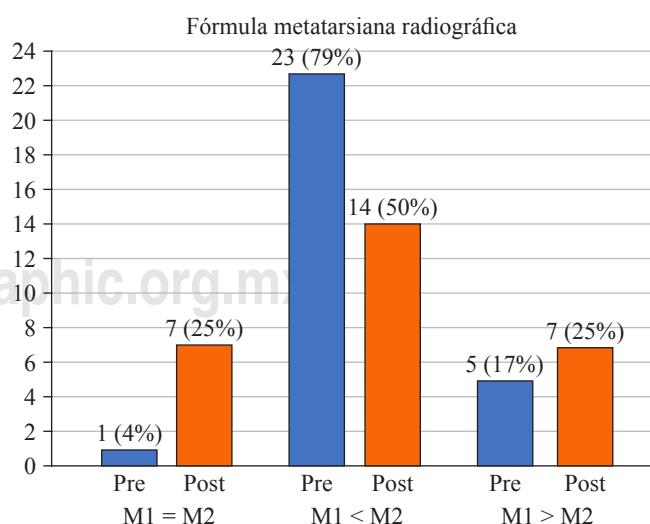


Figura 2: Evolución de la fórmula metatarsiana, antes y después de la cirugía.

Tabla 2: Satisfacción del paciente en el último control y del cirujano, después de la cirugía y en el último control.

	Final tratamiento		
	Después cirugía	Cirujano	Paciente
Muy satisfecho	64	72	76
Satisfecho	36	24	20
Decepcionado	0	4	4
Muy decepcionado	0	0	0

Todos los datos se muestran en porcentaje.

un apoyo inmediato.¹⁷ Las posibles desventajas de la cirugía percutánea son la necesidad de equipos específicos, requiere fluoroscopía, un manejo postoperatorio específico¹⁸ y, sobre todo, se precisa de una larga curva de aprendizaje.^{19,20} También se ha señalado que los abordajes abiertos tradicionales en el tratamiento de la metatarsalgia provocan mayor frecuencia de rigideces.²¹

Aunque de Prado y colaboradores⁸ recomiendan operar sólo un pie cada vez para así favorecer la marcha del paciente durante el postoperatorio y aumentar la carga, lo que teóricamente mejoraría una más rápida consolidación de las osteotomías, no hay estudios publicados que confirmen esta indicación.

Biz y su equipo¹³ analizaron la DMMO viendo la mejoría clínica, 76.3% habían consolidado a los tres meses y el morfotipo armónico ideal se restableció en muy pocos pies (3.2%), con 12.9% de complicaciones. De Prado y su grupo⁸ revisaron los resultados de 84 pies intervenidos quirúrgicamente mediante DMMO con cirugía percutánea, obteniendo 90.47% de los resultados buenos y muy buenos; 92.9% consolidó en los tres primeros meses, 5.9% tuvo un retraso de consolidación y sólo 1.2% presentó una seudoartrosis, 14.28% de los casos presentó alguna complicación como edema persistente, hiperqueratosis residual o metatarsalgia por transferencia. Magnan y colaboradores²² evaluaron las DMMO con mejoría de la puntuación en la escala AOFAS y una satisfacción de 98.6% de los pacientes. Haque y colaboradores,²⁰ en 30 pacientes sometidos a DMMO percutánea, sólo dos empeoraron después de la operación. Tuvieron cuatro complicaciones, una seudoartrosis y un retraso de consolidación, una metatarsalgia de transferencia y un caso de osificación de tejidos blandos. Johansen y su equipo²³ compararon de forma aleatoria 45 osteotomías de Weil con 73 osteotomías DMMO. Seis semanas después de la operación presentaron edema del antepié 66.7% de las osteotomías de Weil y 73.3% de las DMMO que desapareció con el tiempo, pero la rigidez postoperatoria y el déficit en el rango de movimiento no cambiaron en el transcurso del tiempo. El EVA mejoró para ambos grupos. El tiempo de isquemia y el de cirugía fueron más bajos y las dosis de radiación más altas en el grupo DMMO.

La DMMO es una técnica extraarticular con poco riesgo, a diferencia de la osteotomía de Weil que puede producir

una rigidez²⁴ y tiene tasas de complicaciones más bajas debido a su ubicación extraarticular y su naturaleza mínimamente invasiva.²³ Con la DMMO se establece la longitud del metatarso automáticamente al soportar el peso del pie. El retroceso de la cabeza del metatarso fue idéntico en cada radio en el grupo DMMO,²⁵ aunque logra menor grado de acortamiento que la osteotomía de Weil.²⁶ A los tres meses, el edema y la metatarsalgia de transferencia fueron significativamente mayores en el grupo DMMO con unas mediciones radiográficas comparables.²⁴

Rivero Santana y colaboradores²⁶ revisaron la bibliografía sobre la eficacia y seguridad de la osteotomía de Weil comparada con la DMMO e identificaron cuatro estudios retrospectivos, sin encontrar diferencias significativas en la efectividad clínica o la satisfacción de los pacientes. El tiempo de consolidación ósea fue más largo en la DMMO, aunque la osteotomía de Weil mostró más problemas con las heridas y rigidez de la articulación MTF.

Según Nieto-García y colaboradores,²⁷ las tenotomías asociadas a las osteotomías de falange incompletas proporcionan peores resultados clínicos, mayores tasas de complicaciones y un mayor tiempo de recuperación en comparación con cirugías similares en el antepié sin tenotomías.

Las complicaciones más comunes de las osteotomías metatarsianas intraarticulares son rigidez debido a cicatrices y, en consecuencia, dedos en martillo. Estos riesgos se minimizan con las técnicas percutáneas.²⁰ Una de las complicaciones más frecuentes tras una osteotomía metatarsiana central es la aparición de deformidades digitales, como el dedo flotante,¹⁹ pero conviene recordar que la mayoría de estos dedos son flotantes antes de la cirugía.^{18,28,29}

La metatarsalgia recurrente se debe, a menudo, a una técnica deficiente o una comprensión deficiente del problema subyacente que tiene una etiología multifactorial.

El desarrollo de la metatarsalgia de transferencia se ha asociado con la corrección y acortamiento del primer radio.³⁰ En el caso de las metatarsalgias sin deformidad del primer radio, la transferencia se puede producir por no intervenir el número de metatarsianos adecuado, para evitarlo recomendamos seguir las indicaciones de Levantén.⁹

La DMMO consigue un alto grado de satisfacción en pacientes y también en el cirujano, elimina el dolor y la hiperqueratosis bajo la cabeza de los metatarsianos dolorosos y mejora significativamente la capacidad funcional.

Referencias

1. Espinosa N, Brodsky JW, Maceira E. Metatarsalgia. *J Am Acad Orthop Surg.* 2010; 18(8): 474-85.
2. Espinosa N, Maceira E, Myerson MS. Current concept review: metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2008; 29(8): 871-9.
3. Diligent J, Diebold PF. Metatarsalgias estáticas. *EMC - Podol.* 2014; 16: 1-13.
4. Besse JL. Metatarsalgia. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017; 103(1S): S29-S39.
5. Loya K, Guimet M, Rockett MS. Proximal shortening lesser metatarsal osteotomy: a mathematical-geometric basis. *J Foot Ankle Surg.* 2000; 39(2): 104-13.

6. Maestro M, Besse JL, Ragusa M, Berthonnaud E. Forefoot morphotype study and planning method for forefoot osteotomy. *Foot Ankle Clin.* 2003; 8(4): 695-710.
7. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 1994; 15(7): 349-53.
8. De Prado M, Ripoll PL, Golanó P. Cirugía percutánea del pie: técnicas quirúrgicas, indicaciones, bases anatómicas. Barcelona: Masson, 2003.
9. Levant EO, Pearson SW. Distal metatarsal osteotomy for intractable plantar keratoses. *Foot Ankle.* 1990; 10(5): 247-51.
10. Lopez V, Slullitel G. Metatarsalgia: Assessment algorithm and decision making. *Foot Ankle Clin.* 2019; 24: 561-9.
11. Hofmann UK, Gotze M, Wiesenreiter K, Müller O, Wünschel M, Mittag F. Transfer of plantar pressure from the medial to the central forefoot in patients with *hallux valgus*. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019; 20(1): 149.
12. Martínez-Ayora A, Cuervas-Mons Cantón M, Benjumea-Carrasco A, Arnal-Burró J, Sobrón-Caminero FB, Vaquero J. Tips, quirks and pearls: Ultrasound-guided distal metatarsal minimal invasive osteotomy (US-DMMO). *Foot and Ankle Surgery : Official Journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons.* 2021; 27(1): 30-4.
13. Biz C, Corradin M, Kuete Kanah WT, Dalmau-Pastor M, Zornetta A, Volpin A, et al. Medium-long-term clinical and radiographic outcomes of minimally invasive distal metatarsal metaphyseal osteotomy (DMMO) for central primary metatarsalgia: do maestro criteria have a predictive value in the preoperative planning for this percutaneous technique? *Biomed Res Int.* 2018; 2018: 1947024.
14. Bryant AR, Tinley P, Cole JH. Plantar pressure and radiographic changes to the forefoot after the Austin bunionectomy. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2005; 95(4): 357-65.
15. Meusnier T, Mukish P. Minimally invasive forefoot surgery in France. *Foot Ankle Clin.* 2016; 21(2): 351-65.
16. Botezatu I, Marinescu R, Laptoiu D. Minimally invasive-percutaneous surgery - recent developments of the foot surgery techniques. *J Med Life.* 2015; 8: 87-93.
17. Bauer T, de Lavigne C, Biau D, De Prado M, Isham S, Laffenréte O. Percutaneous hallux valgus surgery: a prospective multicenter study of 189 cases. *Orthop Clin North Am.* 2009; 40(4): 505-14.
18. Derner R, Meyr AJ. Complications and salvage of elective central metatarsal osteotomies. *Clin Podiatr Med Surg.* 2009; 26(1): 23-35.
19. Bauer T. Percutaneous forefoot surgery. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014; 100(Suppl): S191-204.
20. 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(1): 58-63.
21. Redfern DJ, Vernois J. Percutaneous surgery for metatarsalgia and the lesser toes. *Foot Ankle Clin.* 2016; 21(3): 527-50.
22. Magnan B, Bonetti I, Negri S, Maluta T, Dall’Oca C, Samaila E. Percutaneous distal osteotomy of lesser metatarsals (DMMO) for treatment of metatarsalgia with metatarsophalangeal instability. *Foot Ankle Surg.* 2018; 24(5): 400-5.
23. Johansen JK, Jordan M, Thomas M. Clinical and radiological outcomes after Weil osteotomy compared to distal metatarsal metaphyseal osteotomy in the treatment of metatarsalgia. A prospective study. *Foot Ankle Surg.* 2019; 25(4): 488-94.
24. Henry J, Besse JL, Fessy MH. Distal osteotomy of the lateral metatarsals: a series of 72 cases comparing the Weil osteotomy and the DMMO percutaneous osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2011; 97(Suppl): S57-65.
25. Lopez-Vigil M, Suárez-Garnacho S, Martín V, Naranjo-Ruiz C, Rodríguez C. Evaluation of results after distal metatarsal osteotomy by minimal invasive surgery for the treatment of metatarsalgia: patient and anatomical pieces study. *J Orthop Surg Res.* 2019; 14: 121.
26. Rivero-Santana A, Perestelo-Pérez L, Garcés G, Álvarez-Pérez Y, Escobar A, Serrano-Aguilar P. Clinical effectiveness and safety of Weil's osteotomy and distal metatarsal mini-invasive osteotomy (DMMO) in the treatment of metatarsalgia: a systematic review. *Foot Ankle Surg.* 2019; 25(5): 565-70.
27. Nieto-García E, Ferrer-Torregrosa J, Ramírez-Andrés L, Nieto-González E, Martínez-Nova A, Barrios C. The impact of associated tenotomies on the outcome of incomplete phalangeal osteotomies for lesser toe deformities. *J Orthop Surg Res.* 2019; 14(1): 308.
28. Hofstaetter SG, Hofstaetter JG, Petroutas JA, Gruber F, Ritschl P, Trnka HJ. The Weil osteotomy: a seven-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br.* 2005; 87(11): 1507-11.
29. Roukis TS. Percutaneous and minimum incision metatarsal osteotomies: a systematic review. *J Foot Ankle Surg.* 2009; 48(3): 380-7.
30. Walker AK, Harris TG. The role of first ray insufficiency in the development of metatarsalgia. *Foot Ankle Clin.* 2019; 24(4): 641-8.