



Universidad de Oviedo

Programa de Doctorado: Ciencias de la Salud

**EVALUACIÓN DEL ACORTAMIENTO DEL SEGUNDO METATARSIANO
Y DE LA POSIBLE ALTERACIÓN DE LA PLACA PLANTAR DEL PIE
DESPUÉS DE OSTEOTOMÍA DISTAL TRAS INCISIÓN MÍNIMA
PARA EL TRATAMIENTO DE LA METATARSALGIA**

Miguel Lòpez Vigil
Oviedo, 2019.



Universidad de Oviedo

Programa de Doctorado: Ciencias de la Salud

**EVALUACIÓN DEL ACORTAMIENTO DEL SEGUNDO METATARSIANO
Y DE LA POSIBLE ALTERACIÓN DE LA PLACA PLANTAR DEL PIE
DESPUÉS DE OSTEOTOMÍA DISTAL TRAS INCISIÓN MÍNIMA
PARA EL TRATAMIENTO DE LA METATARSALGIA**

Miguel Lòpez Vigil
Oviedo, 2019.



RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español/Otro Idioma: Evaluación del acortamiento del segundo metatarsiano y de la posible alteración de la placa plantar del pie después de osteotomía distal tras incisión mínima para el tratamiento de la metatarsalgia.	Inglés: Evaluation of shortening of the second metatarsal and the possible disruption of the plantar plate after distal osteotomy with minimal incision for the treatment of metatarsalgia.

Nombre: Miguel Lopez Vigil	
Programa de Doctorado: Ciencias de la Salud	
Órgano responsable: Centro Internacional de Postgrado	

RESUMEN (en español)

Entre los problemas que afectan al antepié, la metatarsalgia de los radios centrales es uno de los motivos de consulta mas frecuentes en las clínicas de podología. Puede ser el resultado de numerosos trastornos, pero se asocia con mayor frecuencia a alteraciones mecánicas del antepié, como las deformidades digitales, la insuficiencia del 1er radio del pie o la presencia de un pie cavo con la consiguiente sobrecarga de los metatarsianos.

Esta patología tan habitual se caracteriza por dolor plantar asociado con hiperqueratosis persistente debajo de la cabeza de uno o varios metatarsianos del pie. Cuando no mejora con tratamientos conservadores, como pueden ser la modificación del calzado, los tratamientos antiinflamatorios, el tratamiento multidisciplinar combinando fisioterapia con el uso de soportes plantares personalizados, etc., puede requerir tratamiento quirúrgico. Sin embargo, sigue existiendo controversia con respecto a cuál es la mejor técnica quirúrgica.

Material y Métodos: En este trabajo se estudiaron 30 pacientes que habían asistido a la clínica podológica antes y después de practicarles osteotomía distal intracapsular mediante cirugía mínimamente invasiva. El grado de acortamiento del segundo metatarsiano (medido en radiografías dorsoplantares), el grado de recuperación funcional y el grado de satisfacción del paciente (medidos mediante la escala de la American Orthopaedic Foot and Ankle Society – AOFAS-) se evaluaron retrospectivamente. También se realizó un estudio del acortamiento del segundo metatarsiano tras osteotomía distal intracapsular en 10 piezas anatómicas de la Facultad de Medicina de Oviedo. El procedimiento quirúrgico fue idéntico al utilizado en los pacientes, y se empleó un calibrador electrónico para realizar la medición del segundo metatarsiano. La integridad de la placa plantar se verificó visualmente.

Resultados: El acortamiento medio del segundo metatarsiano, según lo determinado por el estudio radiológico, antes y después de la cirugía fue de 2,76 mm. La puntuación media final en la escala AOFAS, después de un período de seguimiento promedio de 1,5 años, fue de 95,26 puntos. El acortamiento medio en las piezas anatómicas fue de 2,10 mm y, en todos los casos, la placa plantar y el aparato flexor no se vieron afectados por el acto quirúrgico. Mediante osteotomía intracapsular a través de cirugía mínimamente invasiva se obtuvo un menor grado de acortamiento que mediante la osteotomía a través de cirugía abierta tipo Weil, según los datos publicados en la literatura. Sin embargo, muestra buenos resultados clínicos sin causar problemas de consolidación o rigidez en la articulación MTP. Esto se refleja en los resultados obtenidos en la escala AOFAS, que son mejores que los publicados, tanto tras osteotomía distal mediante cirugía abierta tipo Weil, como tras osteotomía distal extracapsular a través de cirugía mínimamente invasiva. Estos resultados sugieren que esta técnica podría ser un procedimiento quirúrgico seguro y efectivo, que debe considerarse como técnica de elección para las metatarsalgias de los radios menores.

Conclusiones: 1) después de la osteotomía distal intracapsular mediante cirugía mínimamente invasiva, el acortamiento metatarsiano es menor que el alcanzado en la cirugía abierta; 2) tras



este tipo de osteotomía se obtiene una excelente puntuación en la escala de satisfacción del paciente cuando se compara con los resultados en la escala AOFAS publicados por otros autores tras procedimientos tanto de cirugía mínimamente invasiva extracapsular como de cirugía abierta tradicional; 3) La ausencia de daño en la placa plantar y en los tejidos blandos circundantes es otro resultado importante (siempre teniendo en cuenta que la pieza anatómica se encuentra en un escenario diferente al clínico), ya que no ha sido posible encontrar ninguna referencia sobre la integridad de esta estructura tras un acto quirúrgico mediante mínima incisión.

RESUMEN (en Inglés)

Among the problems affecting the forefoot, metatarsalgia of central radii is one of the most frequent reasons for consultation in podiatry clinics. It can be the result of numerous disorders, but it is most frequently associated with mechanical alterations of the forefoot, such as digital deformities, the insufficiency of the 1st radius of the foot or the presence of a cavus foot with the consequent overload of the metatarsals.

This common pathology is characterized by plantar pain associated with persistent hyperkeratosis under the head of one or more metatarsals of the foot. When it does not improve with conservative treatments, such as footwear modification, anti-inflammatory treatments, multidisciplinary treatment combining physiotherapy with the use of custom foot supports, etc., may require surgical treatment. However, controversy remains regarding which is the best surgical technique.

Material and Methods: 30 patients who had attended the podiatry clinic were studied before and after practicing intracapsular distal osteotomy through minimally invasive surgery. The degree of shortening of the second metatarsal (measured on dorsoplantar radiographs), the degree of functional recovery and the degree of patient satisfaction (measured using the scale of the American Orthopedic Foot and Ankle Society -AOFAS-) were evaluated retrospectively. A study of the shortening of the second metatarsal after distal intracapsular osteotomy in 10 anatomical pieces of the Faculty of Medicine of Oviedo was also carried out. The surgical procedure was identical to that used in the patients, and an electronic caliper was used to measure the second metatarsal. The integrity of the plantar plate was verified visually.

Results: The mean shortening of the second metatarsal, as determined by the radiological study, before and after surgery was 2.76 mm. The final average score on the AOFAS scale, after an average follow-up period of 1.5 years, was 95.26 points. The mean shortening in the cadaveric foot was 2.10 mm and, in all cases, the plantar plate and the flexor apparatus were not affected by the surgical act. By means of intracapsular osteotomy through minimally invasive surgery, a lower degree of shortening was obtained than by osteotomy through open Weil type surgery, according to the data published in the literature. However, it shows good clinical results without causing problems of consolidation or stiffness in the MTP joint. This is reflected in the results obtained in the AOFAS scale, which are better than those published, both after distal osteotomy with open type Weil surgery, and after extracapsular distal osteotomy through minimally invasive surgery. These results suggest that this technique could be a safe and effective surgical procedure, which should be considered as the technique of choice for the metatarsalgias of minor radii.

Conclusions: 1) after the intracapsular distal osteotomy by minimally invasive surgery, the metatarsal shortening is less than that achieved in open surgery; 2) after this type of osteotomy, an excellent score on the patient satisfaction scale is obtained when compared with the results on the AOFAS scale published by other authors after both minimally invasive extracapsular surgery and traditional open surgery procedures; 3) The absence of damage in the plantar plaque and in the surrounding soft tissues is another important result (always bearing in mind that the anatomical piece is in a different scenario to the clinician), since it has not been possible to find any reference on the integrity of this structure after a surgical act through minimal incision.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a las distintas personas que me han acompañado en este bonito viaje.

A Carmen Rodríguez y a Santos Suarez, directora y codirector de este trabajo por su apoyo, sus consejos y su cariño.

A Antonio Palacio del departamento de matemáticas de la universidad de Oviedo, la estadística con tu ayuda es mas fácil.

A Gabino Jove, el objetivo de tu cámara hace mejor este trabajo.

A David Martínez por dar forma a esta investigación.

A los pacientes que confían en nuestro trabajo.

A todos esos podólogos que hace años lucharon por la cirugía podológica.

A maestros como Paco Piqueras o Luis Duran, claros ejemplos a seguir profesionalmente.

A Mario Suarez Ortiz, tu eres el principio y el fin de todo esto, gracias por tanto, nada seria asi si tu no hubieses aparecido. Gracias, Maestro, Amigo...Hermano.

A mis padres, gracias por ayudarme a crecer y guiar mis pasos para convertirme en la persona que soy, nunca podre agradecerlos todo los esfuerzos que habéis hecho por mi.

A mis Cristinas... Mi Apoyo, Mi Luz... Mi Todo.

ÍNDICE

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	7
1.1 ANATOMÍA FUNCIONAL DEL ANTEPIE	8
1.2 MARCHA HUMANA Y ANTEPIE	19
1.3 LAS METATARSALGIAS	22
1.3.1 DEFINICION Y ETIOLOGIA	
1.3.2 DIAGNOSTICO	
1.3.3 TRATAMIENTO	
A. TRATAMIENTO NO INVASIVO	
B. CIRUGIA ABIERTA	
C. CIRUGIA PERCUTÁNEA O MINIMAMENTE INVASIVA (MIS)	
II. OBJETIVOS	53
III. MATERIAL Y MÉTODOS	55
1. PACIENTES	56
2. CIRUGIAS REALIZADAS EN LOS PACIENTES	60
2.1 OSTEOTOMÍA EN LOS METATARSIANOS	
2.2 OSTEOTOMÍA EN LOS DEDOS	
3. MEDIDA DEL GRADO DE ACORTAMIENTO METATARSIANO CONSEGUIDO	65
4. EVALUACIÓN DE LA MEJORÍA Y SATISFACCIÓN DEL PACIENTE	65
5. ESTUDIO DEL ACORTAMIENTO DEL 2º METATARSIANO Y DE LA AFECTACIÓN DE PARTES BLANDAS EN PIEZAS ANATÓMICAS	67
IV. RESULTADOS	69
V. DISCUSIÓN	85
VI. CONCLUSIONES	95
VII. BIBLIOGRAFIA	97
VIII. PUBLICACIONES	109

I. INTRODUCCIÓN

1.1 ANATOMÍA FUNCIONAL DEL ANTEPIE

Entendemos por antepie la parte más distal del pie, que está formada, desde el punto de vista óseo, por los cinco metatarsianos y las falanges de los dedos. El primer dedo tiene dos falanges (proximal y distal), mientras el resto de los dedos tienen tres (proximal, media y distal). Existen articulaciones entre los metatarsianos y las falanges (articulaciones metatarsofalángicas) y articulaciones entre las falanges (articulaciones interfalángicas) (Fig. 1).

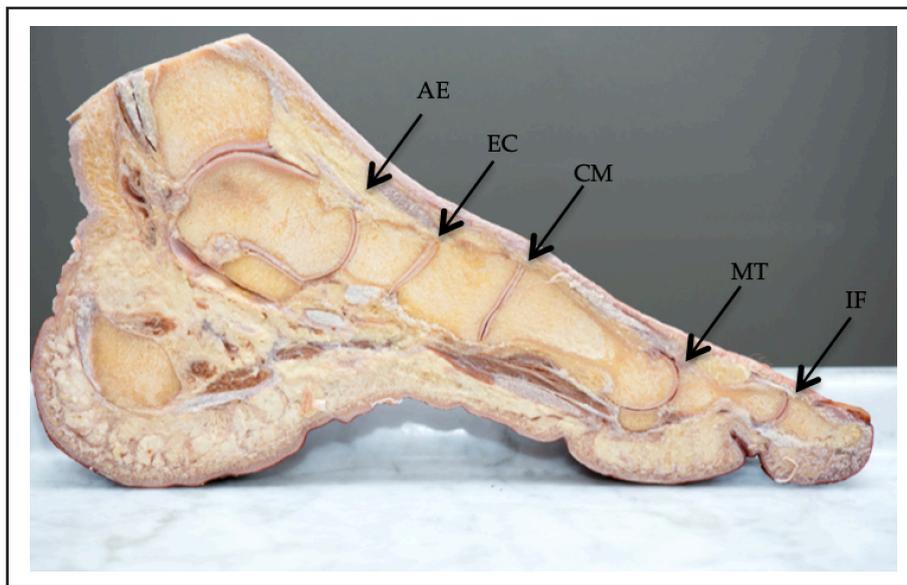


Figura 1. Pieza anatómica en la que se observan las distintas articulaciones que componen el mediopié y antepie humano. IF: interfalángica; MT: metatarsofalángica; CM: cuneo metatarsiana; EC: Escafocuneana; AE: astragaloescapioidea. Pieza realizada en la Universidad de Oviedo.

La región dorsal del antepie presenta una fina capa de piel sin apenas vello y con gran facilidad para el deslizamiento de la misma sobre el plano subyacente aponeurótico (Vázquez-Osorio et al, 2007). El arco venoso dorsal puede ser fácilmente visible en bipedestación, no siendo tan fácil apreciar las ramas nerviosas que participan en su inervación sensitiva. Estas son las ramas terminales cutáneas del nervio peroneo superficial (nervio cutáneo dorsal medial y nervio cutáneo dorsal intermedio), el nervio cutáneo dorsal lateral (rama terminal del nervio sural) y las ramas

terminales del nervio peroneo profundo (ramos cortos dorsales cutáneos, para la mitad externa de la primera falange del primer dedo y para la mitad interna de la primera falange del segundo dedo).

Por el contrario, en la zona plantar encontramos una piel más dura y sin vello, con una fascia plantar en profundidad con respecto a la piel y el tejido celular subcutáneo especial que se encuentra entre ambas estructuras, en forma de celdillas llenas de grasa y que hace de almohadillado perfecto a esta zona. La piel esta inervada por las ramas plantares (externa e interna) del nervio tibial posterior. La piel de esta cara plantar se une firmemente a los huesos, articulaciones y vainas tendinosas subyacentes del talón y antepie mediante extensiones especializadas de la fascia plantar. La fascia plantar es esencial para que se produzca la tracción entre el suelo y las estructuras esqueléticas del pie en carga. Durante la flexión dorsal de las articulaciones metatarso falángicas estas extensiones de la fascia plantar limitan el movimiento de la piel del antepie y el paquete adiposo metatarsiano plantar (Bojsen-Moller y Lamoreux, 1979).

La estructura del pie es compleja. Algunos autores (Villadot et al., 2007) la comparan con un arco romano de medio punto (una estructura arquitectónica en la que la superficie inferior y cóncava de un arco tiene forma de semicírculo), hablando así de bóveda plantar. Esta forma tan característica viene determinada por tres factores que se interrelacionan y se complementan:

1) Factor óseo, dispuesto en forma de arcos: dos longitudinales (que se dirigen de distal a proximal) y tres transversos (que se dirigen de lateral a medial). *El arco longitudinal interno* está conformado de atrás hacia delante por los huesos calcáneo, navicular, tres cuñas y tres primeros metatarsianos (Figs. 2 y 3).

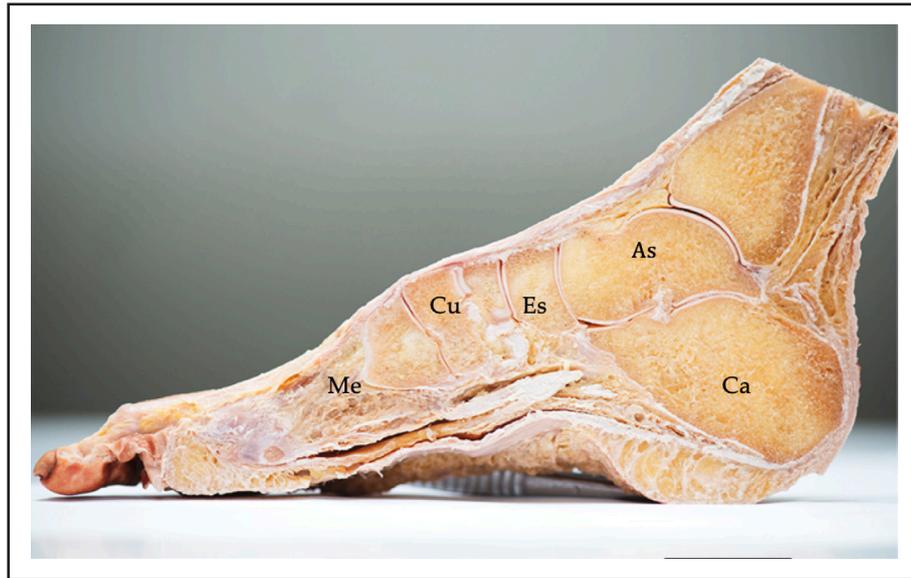


Figura 2. Pieza anatómica en la que se pueden observar los componentes del arco longitudinal interno (ALI) del pie. Ca: calcáneo; As: astrágalo, Es: escafoides. Cu: 1^{era} cuña, Me: 1^{er} metatarsiano. Pieza realizada en la Universidad de Oviedo.

El arco longitudinal externo está formado por el calcáneo, el cuboides y los dos últimos metatarsianos (Fig. 3). De los arcos transversos, que se extienden entre los dos longitudinales, el más importante y amplio es *el anterior o distal*, representado por las cabezas de los metatarsianos. *El medio* está en relación con las cuñas y la parte anterior del cuboides y *el posterior* con la parte posterior del cuboides y el navicular (Fig. 3).

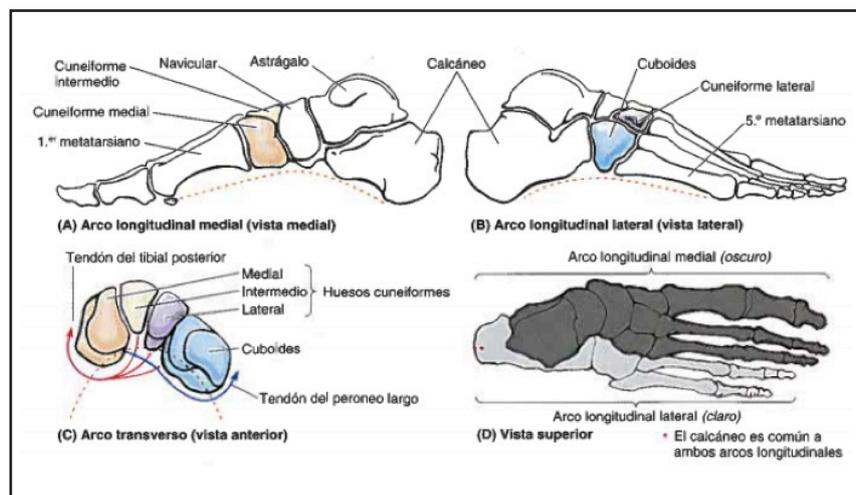


Figura 3: Imagen de los distintos arcos del pie. Tomada de "Anatomía con Orientación Clínica", KL Moore, AF Dalley y AMR Agur; 6^o ed. Wolters Kluwer Health España, SA.

2) Factor articular, capsular y ligamentoso. Todas las articulaciones establecidas entre los huesos descritos, junto con sus cápsulas y ligamentos propios (ligamentos dorsales, plantares e interóseos), ayudan a mantener la bóveda plantar con su morfología tan compleja. Son especiales por su función para mantener dicha bóveda las siguientes estructuras fibrosas: 1) *la fascia plantar* (Figs. 4 y 5), que actúa sobre la bóveda plantar como la cuerda de un arco (teoría de la cuerda de la bóveda plantar) (Nordin, et al., 2004), extendiéndose entre el apoyo posterior del pie (calcáneo) y el apoyo anterior (cabezas de los metatarsianos); 2) actuando bajo la misma premisa, *los ligamentos plantar largo* (entre el calcáneo y las bases de los 4 primeros metatarsianos), *calcáneo navicular plantar* (entre calcáneo y hueso navicular y siendo superficie articular para la articulación astrágalo navicular) (Fig. 5); y 3) en el arco transversal distal (cabezas de los metatarsianos), *el ligamento metatarso transversal profundo* o intermetatarsal.

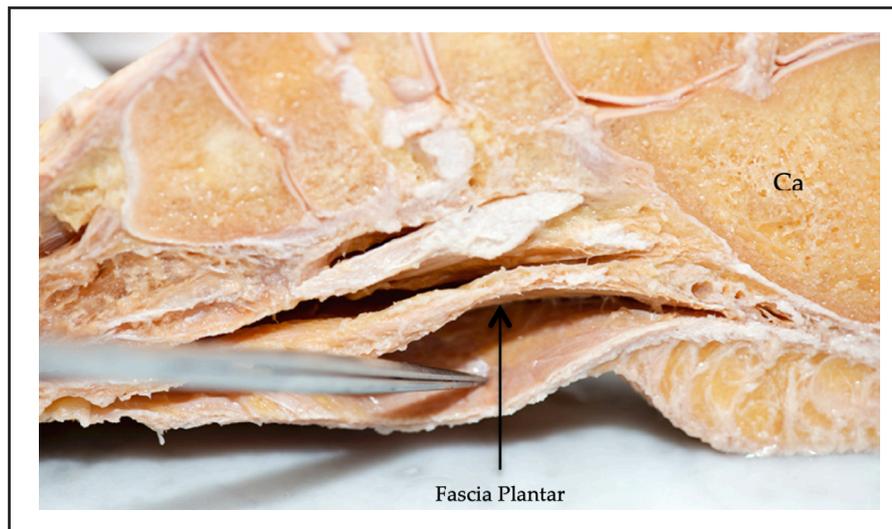


Figura 4. Fascia plantar en su inserción en el calcáneo. Ejemplo de estructura que mantiene el arco longitudinal interno. Ca: calcáneo. Pieza anatómica realizada en la Universidad de Oviedo.

3) Factor muscular (Fig. 5). Once de los doce músculos extrínsecos del pie actúan sobre el tobillo y/o el pie y todos los músculos intrínsecos van a actuar, ya sea estática o dinámicamente, sobre las articulaciones del pie y el mantenimiento de la bóveda plantar. Sin embargo, los músculos

solo actúan cuando los factores anteriores se ven sobrepasados por las contingencias biomecánicas que afectan al pie. Entre los más activos en esta función estática de mantenimiento de la bóveda plantar debemos destacar: entre los músculos intrínsecos, *el flexor corto plantar*, actuando en el plano sagital y sobre ambos arcos longitudinales; *el separador del dedo Hallux*, que actúa en el plano sagital y solo sobre el arco longitudinal interno; *el separador del 5º dedo*, que actúa también en el plano sagital, sobre el arco longitudinal externo; y *el fascículo transversal del aproximador del Hallux*, que actúa transversalmente sobre el arco transversal anterior; y entre los músculos extrínsecos, *el peroneo lateral largo*, que actúa sobre el arco transversal medio; *el tibial posterior*, sobre el arco transversal posterior y arco longitudinal interno y *el tibial anterior* y *los flexores del dedo gordo y de los dedos*, sobre el mismo arco.

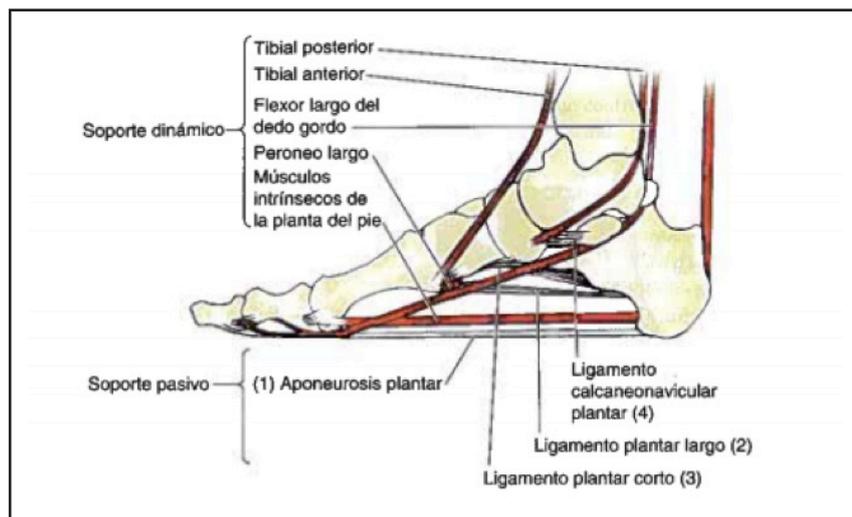


Figura 5: Estructuras implicadas en el sostén del arco longitudinal interno. Imagen tomada de "Anatomía con Orientación Clínica", KL Moore, AF Dalley y AMR Agur, 6º ed. Wolters Kluwer Health España, SA.

Dentro de las alteraciones más frecuentes que distinguimos en los arcos del pie se encuentran principalmente el pie cavo y el pie plano (Fig. 6A, 6B).

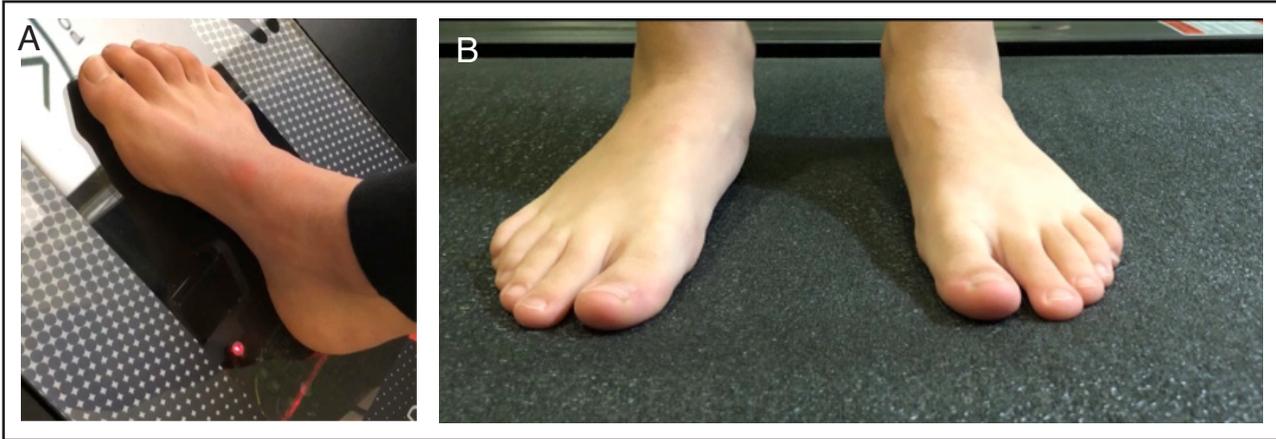


Figura 6: A) Ejemplo de pie plano con el consiguiente aumento de ALI; B) Ejemplo de pie plano con el consiguiente descenso del ALI.

El pie cavo (Fig. 6A). presenta un aumento en altitud y amplitud del arco longitudinal. El retro y antepié están más próximos y está muy disminuido el borde de apoyo externo del pie. El pie plano valgo muestra disminución del arco longitudinal interno y desviación del talón en valgo. El pie plano valgo (Fig. 6B) es fisiológico durante los 2 o 3 primeros años de edad. Con el crecimiento del niño va aumentando el puente del pie hasta hacerse el normal en el adulto. Esta deformidad es más frecuente en la población que el pie cavo.

Estas dos patologías pueden conllevar una sobrecarga en los metatarsianos centrales, en el caso del pie cavo al encontrarse estos verticalizados respecto al suelo, son susceptibles de sufrir una metatarsalgia mientras que en el caso de los pies planos debido a una insuficiencia del primer radio los radios centrales pueden verse sobrecargados con la consiguiente aparición de una metatarsalgia por transferencia de cargas (González et al., 2015)

La compleja disposición de huesos, articulaciones, fascias y músculos en el pie está diseñada para que el pie pueda funcionar como una estructura rígida, capaz de soportar todo el peso del cuerpo apoyado sobre la punta de los dedos (bailarina de ballet), y flexible (jugador de fútbol conduciendo el balón). La forma abovedada permite a su vez repartir el peso del cuerpo, así como adaptarse a la fuerza de reacción del suelo, habiendo dos zonas claramente de apoyo, la posterior del talón (hueso calcáneo) y el antepie (cabeza de los metatarsianos) (Dufour, 2006). Es en esta última

zona, el antepie, con las articulaciones metatarsofalángicas y todas sus estructuras anatómicas, así como con sus relaciones funcionales con otras articulaciones del mediopie (articulación de Lisfranc o articulación tarso metatarsiana), donde vamos a centrar nuestro estudio. Dentro de ellas nos centraremos especialmente en la 2ª articulación metatarsofalángica, la que efectúa la cabeza del 2º metatarsiano con la base de la 1ª falange.

Centrándonos en esta 2ª articulación metatarsofalángica debemos señalar sus características particulares: el 2º metatarsiano presenta un enclaustramiento en la articulación tarso metatarsiana (Fig7). Se articula por detrás con la 2ª cuña y medial y lateralmente respectivamente, con 1ª y 3ª. Por ser la 2ª cuña más corta en el plano sagital que sus homologas 1ª y 3ª, este enclaustramiento actúa como una llave en una cerradura y hace que este metatarsiano sea menos móvil, más rígido y también más estable.



Figura 7: Radiografía dorso plantar que muestra el enclaustramiento de la base del segundo metatarsiano entre las tres cuñas. 1: 1ª cuña; 2: 2ª cuña; 3: 3ª cuña.

Los estudios de presión plantar de Cavanaugh et al. (1987) sobre sujetos descalzos en bipedestación han determinado que la distribución de la carga en el pie corresponde en un 60% al

apoyo posterior (talón), un 8% al mediopie, un 28% al antepie y un 4% a los dedos. Las presiones pico sobre el talón son 2,6 veces mayores que en el antepie y en el apoyo anterior (antepie) las presiones pico se producen bajo la cabeza del 2º metatarsiano. También es cierto que otros autores como Soames (1985) describen que la presión pico más elevada y el máximo impulso pie-suelo durante la marcha sin calzado está debajo de la cabeza del tercer metatarsiano, en vez del 2º. Este mismo autor ya señaló sin embargo, que las presiones plantares cambian con el calzado, reduciendo la presión pico del talón y trasladándolo hacia las cabezas de los metatarsianos, especialmente al 1º y 2º (Fig. 8)

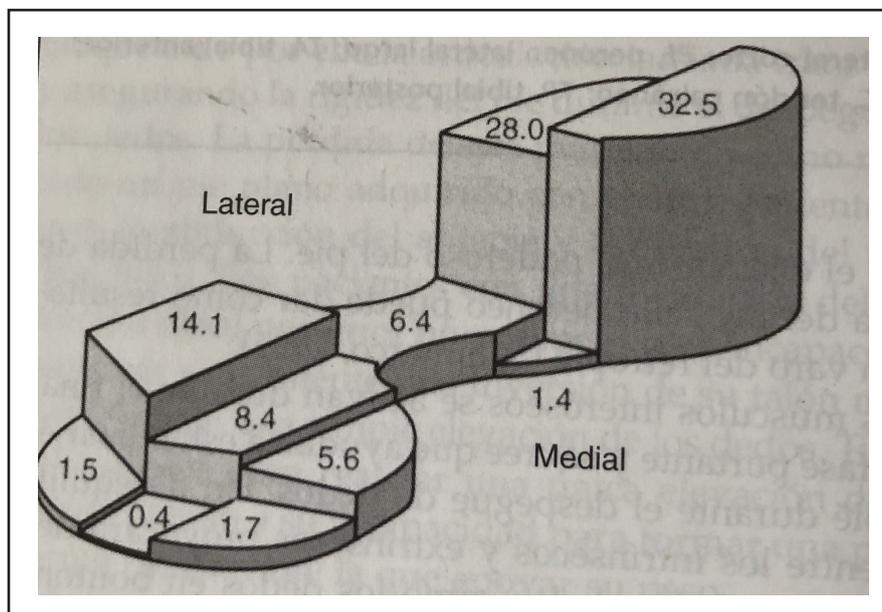


Figura 8: Esquema de distribución de cargas. *Biomecánica básica del sistema musculo esquelético*. Margareta Nordin, Victor H. Frankel. 3ª edición. McGraw- Hill.

Las articulaciones metatarsofalángicas de los dedos trifalángicos son articulaciones condíleas con dos grados de libertad, que permiten movimientos de flexión dorsal y flexión plantar, así como movimientos de aproximación y separación. De una forma pasiva y nunca activa, asociado a los movimientos anteriores también permiten movimientos de rotación. Sus cápsulas articulares no son rígidas, sino laxas. Esta articulación presenta refuerzos ligamentosos por los lados medial y lateral (ligamentos colaterales).

Como la cabeza del metatarsiano tiene un diámetro en el plano sagital claramente más amplio que la cavidad articular de la base de la falange, presentan por su lado plantar un fibrocartilago o **placa plantar** (Fig. 9) (Yu et al., 2002). Esta se encuentra en la parte inferior de cada articulación metatarsofalángica (excepto el 1^{er} radio del pie), debajo de la base de la falange proximal del dedo y de la cabeza del metatarsiano. Se trata de un espesamiento fibrocartilaginoso plantar de la cápsula articular cuya finalidad es aumentar la congruencia articular entre la cabeza articular del metatarsiano y la base de la falange proximal. Junto con los ligamentos colaterales forman una envoltura de tejido blando conectado a los lados de la cabeza del metatarsiano (Jonathan et al., 1995). No hay musculatura asociada con esta estructura.

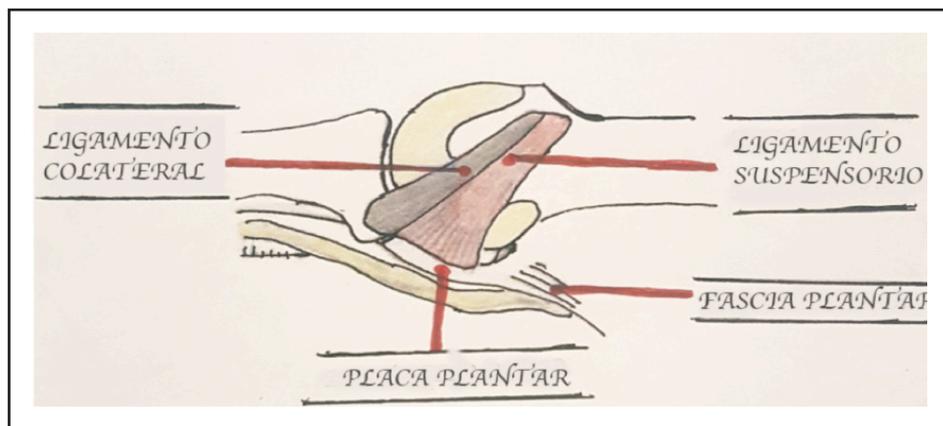


Figura 9: Esquema que describe las estructuras relacionadas con la placa plantar.

La placa plantar mantiene el dedo estabilizado y evita la hiperextensión, impidiendo que este supere el rango normal de movimiento, ya que en el ciclo de la marcha los dedos hacen flexión dorsal en la base de la articulación metatarsofalángica justo antes de la fase de despegue del pie.

Esta estructura está compuesta por fibrocartilago, que es una mezcla de fibras de colágeno y cartilago duro. Los tipos de células de la placa incluyen condrocitos y fibroblastos. La orientación de las fibras sugiere que resiste las cargas de tracción en línea con la fascia plantar, así como las cargas de compresión de la cabeza del metatarsiano. Gracias a la presencia de los ligamentos colaterales también puede resistir la flexión hacia los lados. La placa plantar constituye la inserción

distal más importante de la fascia plantar. Se observan importantes inserciones de la placa plantar en la falange proximal, en las bandas longitudinales mayores de la fascia plantar y en los ligamentos colaterales.

En resumen la placa plantar sirve para 1) estabilizar la articulación metatarsofalángica; junto a la cápsula fibrosa y los ligamentos colaterales, son los principales estabilizadores de la articulación; 2) resistir la hiperextensión de la articulación metatarsofalángica; y 3) absorber cargas de compresión.

Este fibrocartilago articular o placa plantar va por tanto a tener relaciones anatómicas directas con: la 1ª falange, albergando como superficie articular la cabeza del metatarsiano; el ligamento intermetatarsal o metatarso transverso profundo; los ligamentos colaterales y cápsula articular; y la fascia plantar.

Finalmente en la zona mas distal del antepie se alojan las articulaciones interfalángicas. Son trócleas, presentan ligamentos laterales de refuerzo y en ellas se realizan movimientos de flexo extensión. Existen dos en cada dedo trifalángico y una en el primer dedo.

Desde el punto de vista de la morfología de los huesos del antepié, se entiende como pie ideal aquel que presenta la fórmula metatarsal armónica descrita por Maestro (2003). En este pie ideal, el 1^{er} y el 2^o metatarsiano son iguales ($M1 = M2$); el 3^{er} metatarsiano es 3 mm más corto que el 2^o ($M2 > M3$); el 4^o metatarsiano es 6 mm más corto que el tercero ($M3 > M4$); y el 5^o metatarsiano es 12 mm más corto que el 4^o ($M4 > M5$). Se consideran normales, sin embargo, los pies con alguno de los tres tipos de fórmulas metatarsales siguientes (González, 2015): *Index minus*, en la que el primer metatarsiano es más corto que el segundo; *Index plus minus*, que supone igualdad en la longitud de primer y segundo metatarsianos; e *Index plus*, donde el primer metatarsiano sería mas largo que el segundo (Fig. 10).

Biomecánicamente se considera como formula metatarsal ideal, la formula Index plus minus en la cual tienen la misma longitud el primer metatarsiano y el segundo (González, 2015).

La formula Index minus donde la longitud del segundo metatarsiano es mayor que la del primero se puede relacionar con una metatarsalgia de tercer rocker ya que si la longitud es excesiva, en esa fase de la marcha ese metatarsiano se vera afectado.



Figura 10: Radiografías dorso plantares que muestran los 3 tipos de formula metatarsal. De izquierda a derecha: A) Index plus minus, B) Index plus y C) Index minus.

El ciclo de la marcha se define como el periodo de tiempo que transcurre entre el contacto del talón de un pie con el suelo y el momento en que ese mismo talón alcanza el suelo en el siguiente paso.

1.2 MARCHA HUMANA Y ANTEPIE

El ciclo de la marcha se divide en una fase de apoyo, en la que el pie está en contacto con el suelo y una fase de balanceo, en la que la extremidad avanza desde la posición retrasada y se prepara para el apoyo. Estas fases ocupan el 62% y el 38% del ciclo de la marcha respectivamente. Cuando una persona camina, el ciclo de la marcha dura aproximadamente 1 segundo. La fase de apoyo dura 0,6 segundos y la de balanceo 0,4 segundos. Estos valores de referencia están establecidos a una cadencia de marcha de 120 pasos por minuto. A una cadencia de marcha más baja, el tiempo de contacto del pie con el suelo se vería alargado (Martínez Nova et al., 2008).

La fase de apoyo, se divide a su vez en tres periodos (Viladot et al., 2000) (Fig. 12):

- a) Periodo de contacto (primer rocker). Comienza con el choque de talón y finaliza con la carga completa del antepie. El choque de talón se inicia por su zona postero-externa, debido a la posición de supinación (inversión) en la que se encuentran las articulaciones subastragalinas, calcáneo cuboidea y astrágalo navicular al inicio de este periodo, que actúan bajo un mismo eje de movimiento, el eje de Hencke. Posteriormente se produce un movimiento de pronación o eversión del pie en la articulación subastragalina, lo que permite al pie absorber y amortiguar las fuerzas reactivas del suelo y adaptarse a las irregularidades del terreno, comportándose como adaptador móvil.
- b) Periodo de medio apoyo (segundo rocker). Comienza con el apoyo completo del antepie y termina cuando el talón se eleva del suelo. Es el periodo más largo, ocupando el 40% de la fase de apoyo con una duración de aproximadamente 0,24 segundos. La extremidad inferior contralateral comienza su fase de balanceo mientras que el pie de apoyo pasa de ser un adaptador móvil a convertirse en una palanca rígida que debe canalizar grandes cantidades de fuerzas a través de sus articulaciones. Santos dice que lo ponga así.
- c) Periodo propulsivo (tercer rocker). Este periodo comienza en el momento en el que el talón se levanta del suelo y termina con el despegue digital. En una situación normal, la transferencia final

de fuerzas se produce a través del primer dedo y por la parte central del pulpejo. Ocupa el 33% final de la fase de apoyo y dura aproximadamente 0,2 segundos. Es el periodo en el que el primer segmento digito-metatarsal realiza su función más importante.

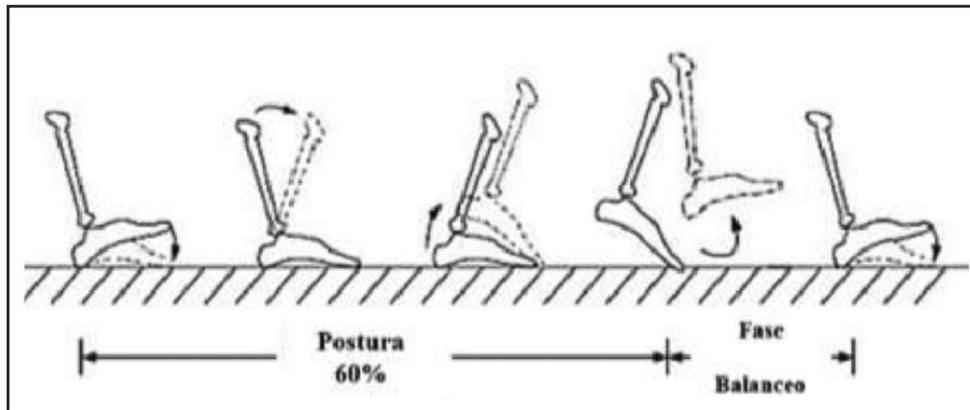


Figura 11: Representación gráfica de la fase de apoyo (postura) con sus tres periodos, así como de la fase de balanceo. Imagen tomada de Sauer y Kozlowski, (2009) *Ankle Robot for People with Drop Foot – Case Study. Robot Motion and Control* 396, 443.

La fase de balanceo empieza en el despegue digital y termina en el contacto de talón. Ocupa el 38% del ciclo de la marcha y aproximadamente los últimos 0,4 segundos. Se divide en primera y segunda mitad de la fase de balanceo. Durante la primera mitad el tobillo debe dorsiflexionar para permitir salvar el suelo mientras toda la extremidad inferior se desplaza hacia delante. Durante la segunda mitad las articulaciones deben colocarse en su posición más estable para permitir a la musculatura amortiguar de forma efectiva las fuerzas de reacción del suelo antes de que la extremidad vuelva a entrar en la fase de apoyo (Fig. 11).

La magnitud de las cargas experimentadas por el pie es muy elevada, las fuerza pico verticales alcanzan el 120% del peso corporal durante la marcha y se aproximan al 275% durante la carrera (Mann, 1982).

La distribución de la presión plantar durante la carrera demuestra que el primer contacto se produce a lo largo del borde lateral del pie (arco longitudinal externo, arco de apoyo), trasladándose rápidamente hacia donde transcurre el apoyo la mayoría del tiempo, que es en el antepie (Cavanagh et al., 1987).

Finalmente, el apoyo humano no es igual en todos los individuos. Podemos incluir las distintas formas de apoyo del pie en lo que se denominan tres tipos de pisada, que nos permite distinguir tres tipos de pie: el neutro, que no tendría por qué generar patologías; el supinador, que suele ir acompañado de pie cavo; y el pronador, que suele ir acompañado de pie plano. Estos dos últimos conllevan alteraciones en las cargas sobre las cabezas de los metatarsianos, por lo que pueden generar problemas en estos (Fuller, 2000) (Fig. 12).



Figura 12: Ejemplo de pie plano con la consiguiente pronación.

Cualquier alteración tanto en la anatomía del antepie (tercer metatarsiano mas largo que el segundo, pie cavo, etc.), como en las fases de la marcha, con mucha más importancia en la carrera, puede generar problemas que deriven en una metatarsalgia (Perez et al., 2014).

1.3 LAS METATARSALGIAS

1.3.1 DEFINICION Y ETIOLOGIA

La metatarsalgia es el dolor plantar asociado a hiperqueratosis persistente (Fig. 13A) bajo la cabeza de uno o varios metatarsianos del pie (Heui et al., 2017). Está asociada a alteraciones del apoyo del antepie.

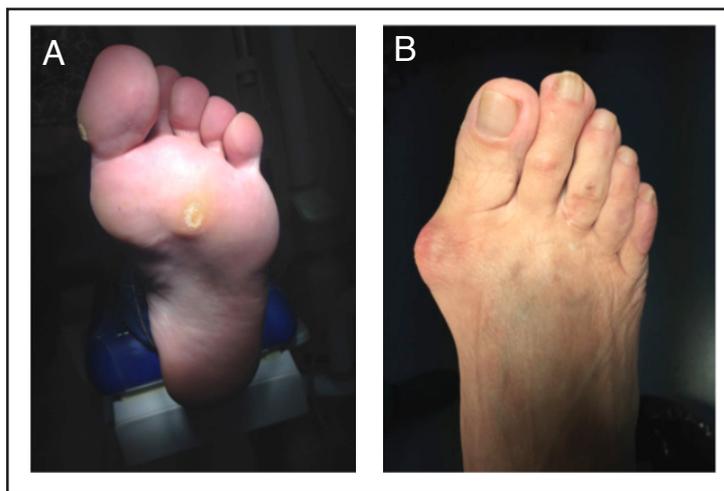


Figura 13. A) Ejemplo de hiperqueratosis plantar persistente localizada bajo las cabezas del segundo y tercer metatarsianos. B) Ejemplo de Hallux Valgus acompañado de deformidad digital.

Entre los problemas que afectan al antepie, la metatarsalgia de los radios menores (metatarsianos de los dedos trifalángicos), siendo estos el 2º, 3º, 4º y 5º, es una causa común de consulta. Esta puede ser el resultado de numerosos trastornos, pero se asocia con mayor frecuencia a alteraciones mecánicas del antepie, siendo unas de las más frecuentes, la insuficiencia del 1º radio del pie o Hallux Valgus (Fig. 13B) (Menéndez et al., 2015).

El 80% de las metatarsalgias se dan en pacientes femeninos. Aunque siempre se le ha atribuido este problema por el uso del calzado incorrecto, cada vez hay más datos que apoyan un origen genético (Verdu et al., 2017). Entre estos podemos considerar las alteraciones de la fórmula metatarsal (Oller-Asensio, 2007) que originan una sobrecarga en las cabezas de alguno de los

metatarsianos, dando lugar a la aparición de hiperqueratosis bajo las cabezas de los metatarsianos afectados.

Viladot et al. (1973) y posteriormente Bardelli et al. (2003), apoyados en un estudio epidemiológico sobre 1878 casos de metatarsalgias, propusieron una clasificación de este cuadro clínico. Proponen tres grandes grupos de metatarsalgia en cuanto a su origen: sistémico, de origen local y de origen biomecánico, siendo este último el principal motivo de consulta.

1. Metatarsalgias sistémicas. Pueden tener varias causas: enfermedades vasculares, tanto arteriales como venosas; enfermedades metabólicas, como puede ser la diabetes mellitus, muy frecuentes en consultas podológicas (Fig. 14 A), la gota o la osteoporosis; y metatarsalgias de origen reumático (Fig. 14 B), neurológico o psicótico (Finestone et al., 2018).

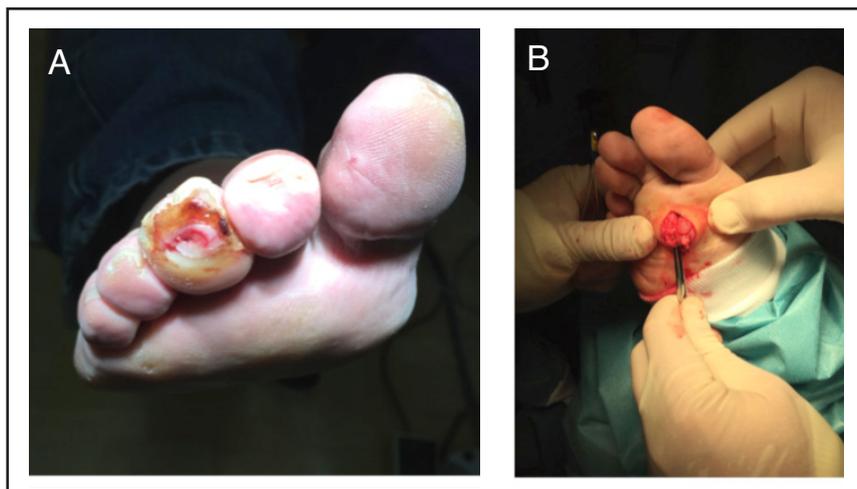


Figura 14. A) Deformidad digital con lesión en el pulpejo del tercer dedo del pie en un paciente que padece diabetes y es susceptible de tratamiento quirúrgico. B) Ejemplo de extracción de quiste de origen reumatoideo.

2. Metatarsalgias de origen local. Pueden ser producidas por la falta de almohadillado plantar en pacientes geriátricos, siendo una de las causas más frecuentes que generan la visita de los pacientes al podólogo.

También se pueden deber a verrugas plantares, de las cuales el 80% se localizan en la zona de apoyo metatarsal. Hasta hace poco tiempo se recomendaba evitar incisiones en la zona plantar para evitar lesiones cicatriciales postquirúrgicas, pero actualmente se tiende a intervenir quirúrgicamente este problema, excepto en pacientes que presenten o sean propensos a producir queloides.

Dos patologías que son motivo de consulta y que se deben incluir en este grupo son las osteocondrosis y el síndrome de Civinni-Morton. Las osteocondrosis producen una necrosis avascular de la cabeza metatarsal, siendo el segundo metatarsiano el más afectado y con mayor incidencia en pacientes jóvenes y femeninos. Se describió por primera vez en 1914 por Freiberg y en 1915 por Köhler, por lo que es conocida por enfermedad de Freiberg o Köhler II (Michael et al., 2009). Esta patología presenta dolor de aparición espontánea previo a la aparición de tumefacción dorsal. A medida que la enfermedad avanza aparece la falta de movilidad, así como deformidad digital y abultamiento en la zona dorsal secundario a exóstosis.

El síndrome de Civinni-Morton, es una causa de dolor metatarsal de origen irritativo descrita por Morton en 1876 que afecta en un 75% de los casos al tercer espacio intermetatarsiano (William et al., 2010). Una de las causas de su aparición es la irritación del nervio interdigital por compresión del ligamento intermetatarsal (metatarso transverso profundo) durante la fase propulsiva o tercer rocker (Fig. 15). En esta patología, el género femenino se encuentra mucho más afectado, llegando a ser un 75% de los casos y con una edad media de 25 a 50 años.

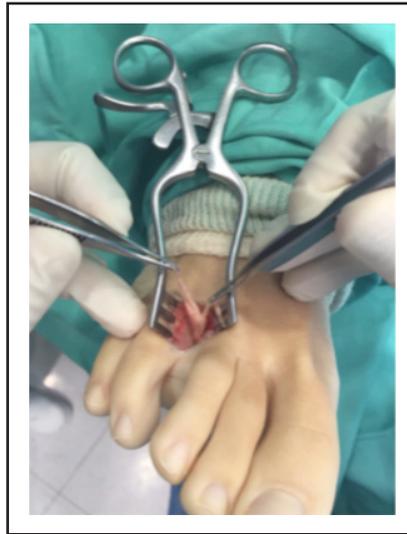


Figura 15. Ejemplo de intervención quirúrgica de un neuroma de Morton.

3. En último lugar, pero no por eso menos importante, se encuentran las metatarsalgias de origen biomecánico (Espinosa et al., 2008).

Entre estas las más importantes son: 1) las alteraciones en la bóveda plantar, como el pie plano, cavo, etc. (patologías estrechamente unidas al arco longitudinal interno), que se presentan tanto en niños como en adultos; 2) la laxitud ligamentosa; o 3) la deformidad digital, una de las causas más frecuentes de la aparición de la metatarsalgia.



Figura 16. A) Pérdida de apoyo digital acompañada de Hallux Valgus y sobrecarga de metatarsianos centrales. B) Falta de apoyo digital con la consiguiente sobrecarga del metatarsiano que lo acompaña.

En cuanto a esta última, la pérdida de apoyo digital (Fig. 16 A, B) por la deformidad conlleva una sobrecarga en los metatarsianos, así como la aparición de helomas en los pulpejos de los dedos y en su zona dorsal e hiperqueratosis bajo las cabezas de los metatarsianos afectados.

Las deformidades digitales más frecuentes (Michael et al., 1987) son:

En el plano sagital (Fig. 17):

- Dedo en martillo que conlleva una articulación metatarsofalángica en extensión, articulación interfalángicas proximal en flexión y articulación interfalángicas distal en extensión.
- Dedo en garra, con la articulación metatarsofalángica en extensión, la articulación interfalángicas proximal en flexión y la articulación interfalángicas distal en flexión.
- Dedo en mazo, con la articulación metatarsofalángica en extensión, la articulación interfalángicas proximal neutra y la articulación interfalángicas distal en flexión.



Figura 17: Ejemplos de distintas deformidades digitales. A) Segundo y tercer dedos en garra y cuarto dedo rotado; B) Segundo dedo supraducto con quinto dedo en varo.

En el plano transverso:

- Las clinodactilias, deformidades en rotación de las estructuras que son más frecuentes en el cuarto dedo (Fig. 17A).
- Los dedos supra o infraductus, normalmente acompañados de Hallux Abductus Valgus (HAV). (Fig. 17B).
- Quintos dedos varus (Fig. 17B)

1.3.2 DIAGNOSTICO

Para la valoración de las metatarsalgias se explora la sensación de dolor, la lesión que se encuentra bajo los metatarsianos afectados (hiperqueratosis, helomas plantares, IPK) (Gibbard et al., 2003) la morfología del pie (Hallux Valgus, deformidades digitales, alteraciones en la bóveda plantar, etc.) (Campillo, 2002) y en el tipo de pisada (neutro, pronador o supinador). Se debe observar si existen deformidades digitales y preguntar sobre el tipo de calzado más utilizado. Se debe evaluar también si existen alteraciones en el ciclo de la marcha. Entre estas están:

1. Las producidas durante el 2º rocker. Este comienza cuando el pie está completamente apoyado sobre el suelo y se produce el avance de la extremidad inferior por encima del pie gracias a la articulación del tobillo. Problemas de congruencia articular y de estructura del pie (Hallux Valgus acompañados de deformidades digitales) pueden acortar o alargar la duración de este rocker, produciendo alteraciones biomecánicas.
2. Las asociadas al periodo de propulsión o 3º rocker. Este se inicia cuando se empieza a elevar el talón del suelo y finaliza cuando despegamos los dedos del pie del suelo para iniciar la fase de balanceo. En este momento es importante que exista una buena movilidad en las articulaciones metatarsofalángicas para que no se produzca ningún tipo de sobrecarga de apoyo en esta zona.

El equipamiento de ayuda para la exploración clínica y diagnóstico de los trastornos y enfermedades del pie ha avanzado mucho en los últimos años. Se comenzó estudiando la huella plantar, tanto en sedestación como en bipedestación. Se hacía mediante la pedigrafía, técnica que

consiste en tomar la huella plantar mediante el apoyo del pie sobre un aparato llamado pedígrafo. Mediante esta técnica se pueden diagnosticar alteraciones en los arcos del pie, como el pie plano o el pie cavo (Valdez et al., 2016).

Con el paso del tiempo se incluyó el podoscopio (Fig.18). Este es un dispositivo de diagnóstico que resalta las áreas de carga postural del paciente mediante el uso de luces led.



Figura 18. Ejemplo de podoscopio utilizado en consultas de podología.

Actualmente se dispone de multitud de ayudas para una correcta exploración clínica y diagnóstico. Las plataformas de presiones (Fig.19A) nos permiten conocer la **distribución de presiones** en diferentes zonas de la planta del pie y evaluar las influencias directas de las fuerzas aplicadas, tanto en estática (Fig. 19B) como en dinámica (Fig. 20), a través de una plataforma de registro electrónico (Bernal et al., 2016) (Martinez-Nova et al., 2008 JAPMA).

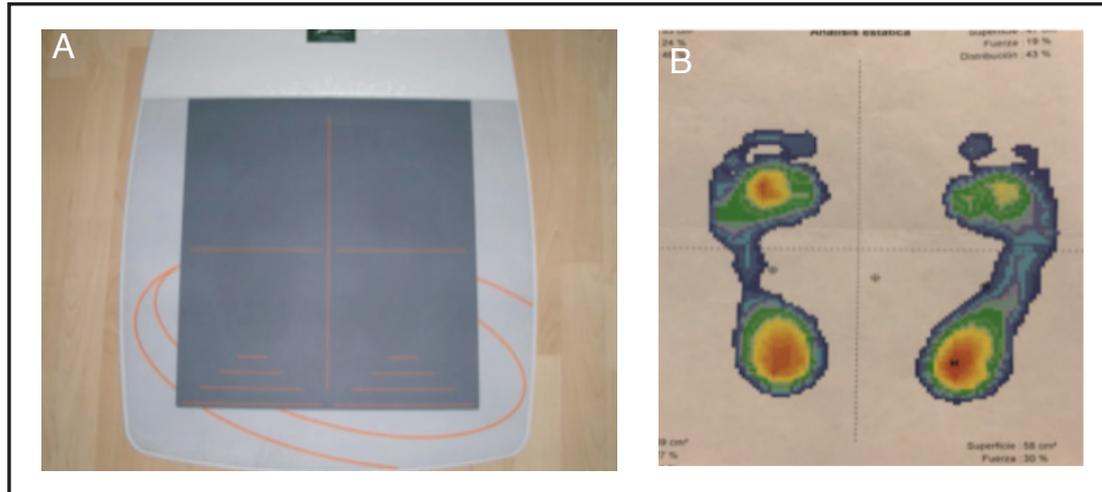


Figura 19. A) Plataforma de presiones utilizada para obtener datos sobre las presiones que ejerce el pie. B) Ejemplo de estudio en estática que nos muestra la distribución de las presiones en el pie y la sobrecarga que aparece en segundo y ter metatarsianos del pie izquierdo.

También se dispone de los bancos de marcha para exploraciones en **dinámica**, que nos dan datos sobre las presiones que soporta el pie en las diferentes fases de la marcha y de sistemas de plantillas informatizadas, que permiten un estudio en dinámica gracias a sensores que envían toda la información necesaria sobre el reparto de cargas. Son muy utilizados en el ámbito deportivo (Martínez-Nova et al., 2008). Finalmente, también es utilizado el ecógrafo, para ver el estado de las partes blandas que actúan durante la marcha (Bernal et al., 2016).

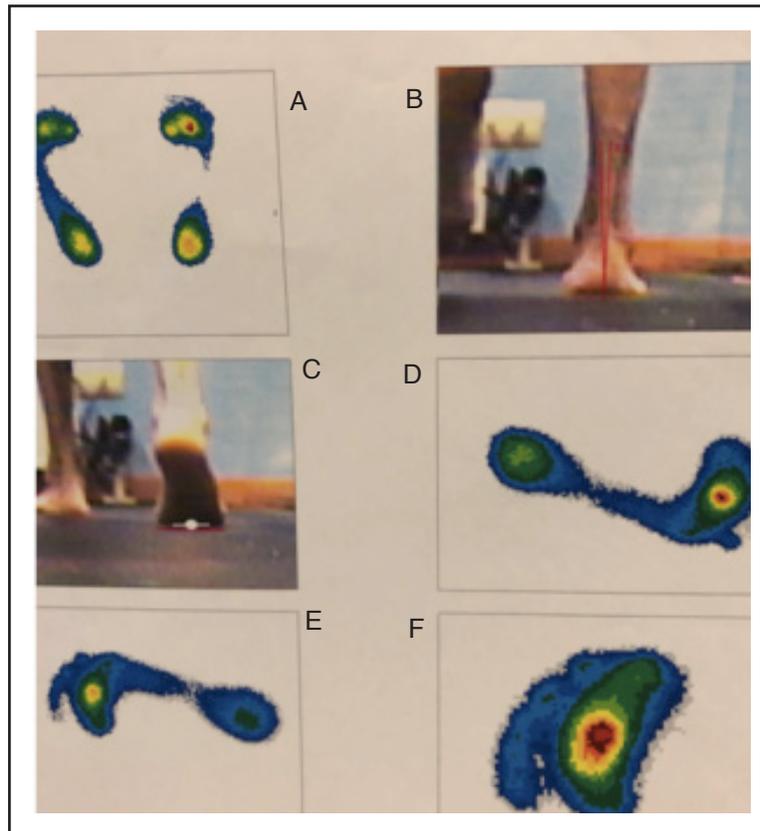


Figura 20: Ejemplo de estudio dinámico sobre plataforma de presiones donde se puede observar el cambio de presiones que se ejercen en el pie en las distintas fases de la marcha. A) apoyo bipodal, B) imagen del miembro en segundo Rocker, C) imagen del miembro en tercer Rocker, D y E) representación gráfica de segundo Rocker, F) representación gráfica de tercer Rocker.

1.3.3 TRATAMIENTO

A. TRATAMIENTO NO INVASIVO

En estas patologías solo se plantea un tratamiento quirúrgico si el resto de tratamientos anteriores han fracasado, o el trastorno o enfermedad está tan avanzado que los tratamientos no invasivos no dan ninguna esperanza de éxito.

El trabajo multidisciplinar es fundamental para intentar evitar el tratamiento quirúrgico, por lo que se debe comenzar con la combinación de tratamientos por parte del fisioterapeuta (por ejemplo, vendaje con Kinesiotape para descargar metatarsianos afectados) (Fig. 21), combinado con la prescripción de un buen soporte plantar por parte del podólogo.



Figura 21. Ejemplo de Kinesiotape para tratar la metatarsalgia.

Estos soportes pueden incluir barras de descarga retrocapitales o almendras de descarga (Fig. 22), dependiendo de las necesidades de cada paciente.

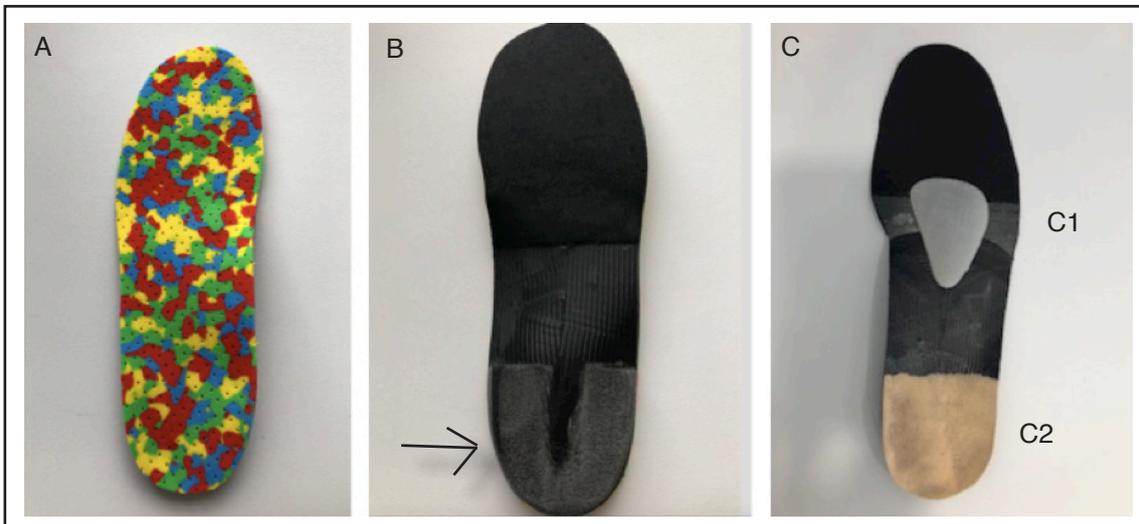


Figura 22: Ejemplo de soporte plantar diseñado en clínica podológica. A) Se observa el soporte plantar ya acabado, B) Se observa el soporte en su zona plantar con la pieza para estabilizar el retropié, C) Se observan las distintas piezas utilizadas para dar solución a las sobrecargas existentes (C1) Almendra de descarga C2) porón para descarga de retropié)

Estos pueden completarse con infiltraciones, que normalmente son de corticoides (Pascual et al., 2010). Los corticoides son sustancias con gran poder antiinflamatorio y pueden ser utilizados tanto en lesiones agudas como crónicas. Este tipo de infiltraciones actúan mucho mejor en lesiones agudas, hasta 6 semanas, que en lesiones crónicas, donde ya se ha producido un daño en los tejidos. Hay que recordar que este tratamiento no está exento de efectos secundarios como presión ocular elevada (glaucoma), retención de líquidos, aumento en la presión arterial, cambios de humor, aumento de peso, aumento en el riesgo de infecciones, cataratas o producir o empeorar la diabetes mellitus.

También se utilizan las infiltraciones de colágeno o de factores de crecimiento. El colágeno es una proteína que forma una parte esencial de músculos, tendones, capsulas articulares y huesos. El colágeno ayuda a regenerar el tejido dañado, pudiéndose utilizar en diversas patologías, tanto agudas como crónicas. No tiene contraindicaciones conocidas, por lo que se puede utilizar en un mayor número de pacientes, incluyendo pacientes con diabetes mellitus, pacientes anticoagulados e incluso niños a partir de los 12 años. Se pueden utilizar tantas infiltraciones como sean necesarias. A diferencia de los corticoesteroides, se puede infiltrar en pequeñas cantidades dentro del tendón.

Los factores de crecimiento han demostrado eficacia en la aceleración de la cicatrización y regeneración de los tejidos, reduciendo el dolor, la inflamación y haciendo mucho menos traumático el proceso de recuperación de la lesión, ya que es un tratamiento autólogo (Andrew et al., 2018) (Fig. 23). Este tipo de infiltración se está utilizando mucho en el ámbito del deporte, ya que se consigue que se acorten los tiempos de recuperación de los deportistas.

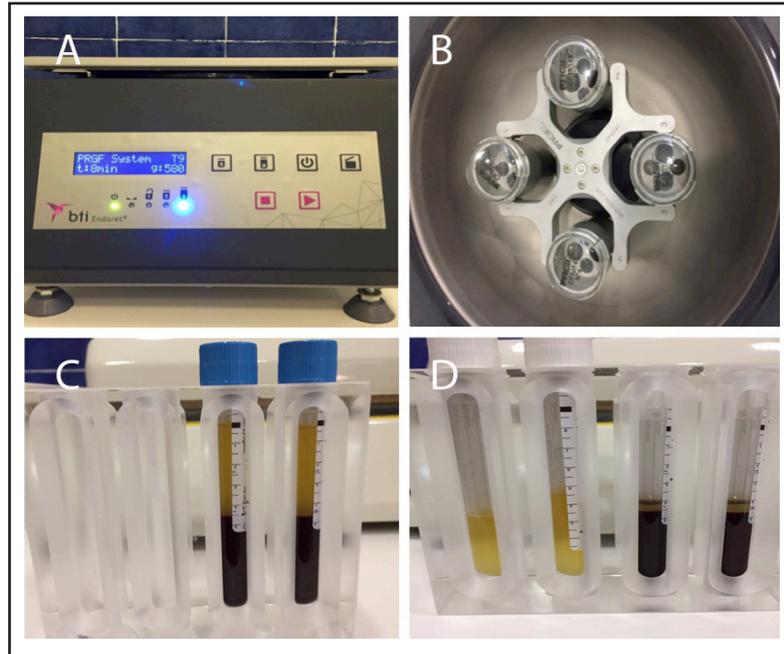


Figura 23. Proceso de obtención de plasma del propio paciente rico en factores de crecimiento para su posterior infiltración en la zona a tratar. A) centrifuga utilizada para la obtención de los factores. B) zona donde se colocan los tubos con la sangre que alcanzará una velocidad de centrifugado de 580 G durante 8 minutos. C) distintos estratos de la sangre centrifugada. D) factores separados de la serie roja.

B. CIRUGIA ABIERTA

Aunque el tratamiento no invasivo sea de primera elección y en algunos casos, efectivo (Diligent et al., 2014), en un buen número de casos se debe recurrir a tratamientos quirúrgicos (Besse et al., 2017).

En la actualidad se dispone de varios tratamientos quirúrgicos para dar solución a la sobrecarga de los metatarsianos centrales (Barouk, 2003). La discusión surge a la hora de decidir que técnica es la más idónea (García-Fernández et al., 2006). Desde 1920 se han descrito unas 15 variedades de osteotomías para solucionar la sobrecarga de los metatarsianos (Emily et al., 2018).

Una de las causas que pueden generar la metatarsalgia en radios centrales viene dada por la insuficiencia del 1^{er} radio (Slullitel et al., 2016). Esta puede estar producida porque el metatarsiano sea corto, por un 1^{er} dedo corto, por un 1^{er} metatarsiano elevado, por una pérdida de fuerza para

la flexión plantar de la 1ª articulación metatarsofalángica o por una dorsiflexión excesiva del 1^{er} metatarsiano. En los casos en los que existe un HAV, todas estas alteraciones se pueden mezclar (Coughlin et al., 2007), por lo que se combinarán distintas técnicas para dar solución tanto al HAV (Weil et al., 2000) (Beech et al., 2005), como a la metatarsalgia existente (Hofstaetter et al., 2005).

El procedimiento quirúrgico para un HAV pretende conseguir la eliminación del bunion (aumento anormal de hueso en la cabeza del metatarsiano en su zona medial y dorsal), la corrección de la deformidad en valgo del dedo, así como de la deformidad en varo del 1^{er} metatarsiano, la recolocación de la cabeza y una 1ª articulación metatarsofalángica funcional (Leemrijse et al., 2008).

Las metatarsalgias de radios menores se pueden deber también a otras alteraciones de la fórmula metatarsal (Ferbel et al., 2001) (por ejemplo, longitud excesiva del tercer metatarsiano, que rompe la armonía del pie y produce una sobrecarga sobre dicho metatarsiano) que originan una sobrecarga en las cabezas de algunos de ellos y se manifiestan por el dolor y por la aparición de hiperqueratosis bajo las cabezas de los metatarsianos afectados (Pontius et al., 1997). También las alteraciones en la bóveda plantar, en la pisada o en el ciclo de la marcha llevan en última instancia a sobrecarga de alguno de los metatarsianos.

Cuando fracasa el tratamiento conservador de los radios menores, se procede a la realización de osteotomías con las que se pretende acortar el metatarsiano y elevar su cabeza, de forma que se disminuya la sobrecarga que presenta (Schuh et al., 2011). El criterio para la planificación de la cirugía en estas osteotomías, se basa en tratar de conseguir la fórmula o parábola metatarsal mas armónica. Para esto se estudian radiografías dorso plantares previas a la intervención, valorando el grado de acortamiento que sería necesario para conseguir dicha parábola. Se busca conseguir un patrón específico en el que la diferencia entre el 3^{er} y el 4^o metatarsiano sea el doble que entre el 2^o y el 3^o y la diferencia entre el 4^o y el 5^o metatarsiano sea del doble que la que buscamos entre el 3^o y el 4^o.

Históricamente, se han descrito diferentes técnicas quirúrgicas para la osteotomía en el tratamiento de las metatarsalgias orientadas a acortar el metatarsiano y elevar su cabeza. Las

primeras en practicarse fueron las osteotomías diafisárias. Meisenbach et al. (1916) describían las osteotomías transversas diafisárias sin fijación, defendidas y propuestas por Giannestras et al. en 1954 y por Helal et al. en 1975. La osteotomía diafisária de Helal tuvo gran difusión. Esta osteotomía se realiza en el metatarsiano afectado de proximal y dorsal hacia distal y plantar. No se utilizaba fijación, por lo que dio como resultado una alta tasa de complicaciones, como uniones defectuosas sintomáticas de hueso y transferencia de cargas. Wilson y Trnka (1996) no obtuvieron resultados satisfactorios, por lo que recomendaron descartar dicha técnica.

Las osteotomías proximales fueron propuestas en los años 40 por (Mau et al., 1940), siendo retomadas posteriormente por Sgarlato et al. (1971). Tienen como ventaja su buena consolidación, pero por el contrario, al poseer un brazo de palanca muy largo, pueden producir hipercorrección con facilidad, lo que nos puede llevar a una transferencia de cargas hacia otros metatarsianos (Vafek et al., 2018).

Las osteotomías distales fueron propuestas por Borggreve et al. (1949) y posteriormente por Davidson et al. (1969) y por Weil et al. (1991). Esta última fue popularizada en Europa por Barouk (Orthopade, 1996) y es en la actualidad una de las más utilizadas. La osteotomía de Weil no requiere una curva de aprendizaje larga, ya que técnicamente es sencilla de realizar (Jarde et al., 2001).

Comienza en la cabeza del metatarsiano, realizándose unos 2 mm por debajo del borde dorsal del cartílago y colocando la sierra lo mas paralela posible a la superficie de apoyo con una inclinación de 10-15°, siendo esta una osteotomía intracapsular (Sherma, 2005). Una vez realizada la osteotomía se fija con dos agujas de Kirschner o con tornillo canulado de 2,4 mm (Pascual Huerta et al., 2017) (Kennedy, 2006).

Una de las modificaciones mas utilizadas en la actualidad de esta técnica es el Triple Weil o modificación de Maceira (Hermida, 2012) (Maceira, 2003). Esta modificación consiste en realizar de 3 cortes sobre el metatarsiano afectado. Se realiza un primer corte completo de cortical a cortical comenzando justo proximal al cartílago articular de la cabeza metatarsiana (en este caso la osteotomía es extraarticular), con una orientación de dorsal a plantar y de distal a proximal. A

continuación se realiza un segundo corte proximal, perpendicular al suelo (de dorsal a plantar) con la idea de acortar la longitud del metatarsiano los milímetros que previamente hayan sido planificados en el preoperatorio. Finalmente, se realiza un tercer corte completo con la misma angulación que el primer corte en el mismo borde dorsal donde se realizó el segundo corte. La consecuencia más evidente de esta modificación es que realiza un acortamiento controlado junto con elevación de la cabeza metatarsiana.

Complicaciones

La cirugía abierta presenta varias complicaciones:

A. Complicaciones generales

1. Complicaciones de la herida: retardo de la curación de la herida, dehiscencia de la herida, cicatrices hipertróficas dolorosas (queloides) y necrosis en los bordes de las heridas. Para evitar estas complicaciones se recomienda seguir una serie de indicaciones básicas: evitar incisiones próximas entre sí; seguir con la incisión las líneas direccionales de la piel y los trayectos nerviosos; evitar incisiones en zona de apoyo o de compresión ósea o realizar la incisión con la longitud adecuada para la técnica a realizar.

2. Lesiones tendinosas, nerviosas o vasculares. La necrosis avascular de la cabeza de los metatarsianos menores tras osteotomías cervicocapitales es infrecuente y generalmente no sintomática (hallazgo radiológico) (Núñez-Samper, 2007).

3. Infecciones: Generalmente son poco frecuentes y superficiales. Suelen resolverse mediante curas y tratamiento antibiótico. Las infiltraciones con corticoides alteran la inmunidad local y favorecen la infección, especialmente tras exposiciones óseas amplias.

Las osteomielitis (infección súbita o de larga duración del hueso o médula ósea, normalmente causada por una bacteria piógena u hongos) son mucho más raras, pero de consecuencias biomecánicas extremadamente graves. Su incidencia es doce veces mayor en la población diabética (Galeote-Rodríguez, 2004).

4. Fracturas.

5. Complicaciones tardías: Se da en algunas ocasiones un síndrome doloroso regional complejo, denominado atrofia de Sudeck, tras intervenciones o traumatismos del pie. Suele afectar más a las mujeres, a los individuos fumadores y cuando se inmoviliza la extremidad demasiado tiempo. Por suerte su frecuencia no es alta, con incidencias que varían del 1% hasta el 8% (Núñez-Samper, 2007).

8. Tromboembolismo.

B. *Complicaciones específicas*. Como todos los actos quirúrgicos, la cirugía del antepie no esta exenta de problemas, que pueden surgir por varias razones. Estas pueden ser debidas a mala indicación del procedimiento realizado por una valoración inadecuada de la lesión; mala realización técnica del procedimiento, ya sea debido a un desplazamiento no deseado o a la corrección de deformidades en exceso o por defecto; mala realización de las técnicas de osteosíntesis, que pueden provocar pseudoartrosis o desplazamientos secundarios; incisiones o vías de abordaje inadecuadas, etc (Llanos-Alcazar et al., 2007).

Nos vamos a centrar en las complicaciones del tratamiento quirúrgico de los radios menores, donde se enmarca el objetivo del presente trabajo.

1. Tras intervenciones dirigidas a corregir una deformidad digital:

A. Recidiva de la deformidad: es más frecuente cuando se realiza una artroplastia de resección de la articulación interfalángica proximal (Viladot et al., 2007). Para corregirlo requiere una artrodesis.

B. Hipercorrección: es más frecuente cuando se realiza artrodesis y se fija con aguja de Kirschner, quedando el dedo excesivamente recto, sin apoyo del pulpejo del dedo, lo que ocasiona una sobrecarga mecánica de la articulación metatarsofalángica.

C. Perdida de fuerza: Ocurre tras tenotomías o alargamientos tendinosos, pero sin ocasionar metatarsalgia generalmente.

2. Tras intervenciones dirigidas a corregir una luxación metatarsofalángica:

Recidiva de la deformidad tras resección de la base de la falange proximal: Se ha visto que

conlleva una pérdida de la función del dedo, ya que se desvía hacia proximal y dorsal, provocando muchas molestias al calzarse. Para dar solución al problema existente, habrá que acortar la longitud del metatarsiano y alargar el tendón extensor (Viladot et al., 2007).

3. Tras intervenciones dirigidas a corregir un cuadro de metatarsalgia.

a) Rigidez articular, que es la complicación más frecuentemente descrita en la articulación metatarsofalángica.

b) Cuando existe, puede llevar aparejado un dedo flotante. Se entiende por dedo flotante aquel que está elevado y no toca el suelo, dando lugar a metatarsalgia en dicho radio. Esta deformidad ocurre en el contexto de rigidez articular después de un gran acortamiento metatarsal. Éste lleva aparejado un descenso de la cabeza del metatarsiano y el cambio de su centro rotacional, lo cual provoca que los músculos intrínsecos pasen a actuar como dorsiflexores en lugar de flexores plantares.

c) Metatarsalgia recurrente: Debido a un insuficiente acortamiento o a un descenso de la cabeza metatarsal. La recidiva de la metatarsalgia varía entre un 12% y un 26%, y suele ser de menor intensidad que la inicial, salvo cuando es debida a protrusión plantar del material de osteosíntesis.

d) Metatarsalgia de transferencia: Debido a un excesivo acortamiento o a un ascenso de la cabeza metatarsal. Su incidencia varía desde su inexistencia (Trnka et al., 1999) hasta un 15%. Por consiguiente, cuando se prevea que va a ser necesario un gran acortamiento, sería conveniente optar por alguna de las modificaciones de la osteotomía de Weil (Melamed et al., 2002), como por ejemplo la exéresis de lámina o cuña ósea dorsal, con el fin de minimizar el descenso del centro de rotación de la cabeza, que conduce a un cambio de función de la musculatura intrínseca, pasando a ser extensora y produciendo un dedo flotante o en extensus (Trnka et al., 2001).

La clave para no presentar metatarsalgia recurrente o de transferencia es la elección de la técnica a realizar; es decir, acortar la longitud del metatarsiano, en el caso de las metatarsalgias producidas en el 3º rocker o elevar la cabeza metatarsal en metatarsalgias producidas durante el 2º rocker.

d) Dolor por protrusión plantar del material de osteosíntesis. Se caracteriza por la presencia de dolor importante bajo una cabeza metatarsal con una adecuada fórmula metatarsal global que obliga a reintervenir y extraer el material (Davies et al., 1999).

C. CIRUGIA PERCUTÁNEA O MINIMAMENTE INVASIVA (MIS)

Las técnicas de cirugía mínimamente invasiva (MIS, del inglés “Minimal incision Surgery”) en la cirugía del pie son, como su nombre indica, técnicas quirúrgicas en las que realiza la osteotomía a través de pequeñas incisiones en la piel. Fueron iniciadas en el año 1945 por Morton Polokoff mediante el uso de pequeñas limas para pulir pequeñas exostosis (Polokoff, 1962). Estas ideas que preconizó Polokoff serían incorporadas posteriormente por otros cirujanos del pie, como Edwin Propper y Bernard S Weinstock, que fueron los que realmente dieron el impulso definitivo a la cirugía MIS (Propper, 1972).

Desde estos primeros inicios hasta nuestros días han aumentado los conocimientos anatómicos y teóricos-prácticos del área y las técnicas utilizadas para realizar las intervenciones han experimentado un gran desarrollo, lo que se ha traducido en un aumento del porcentaje de éxitos postoperatorios. Todo esto se debe en gran medida a una figura fundamental para todo este desarrollo, el Doctor Stephen Isham gran impulsor de este tipo de cirugía del pie (Bauer et al., 2009), que llegó incluso a tener varios procedimientos con su nombre (Isham, 1991).

Actualmente podemos decir que con el uso de la cirugía de mínima incisión se obtienen unos resultados postoperatorios satisfactorios, lo que hace pensar que el hecho de utilizar técnicas mínimamente invasivas es una opción válida a la hora de solucionar patologías podológicas (Botezatu et al., 2015).

La cirugía MIS presenta una serie de particularidades que la diferencian de la cirugía tradicional (Isham, 2010). Las más relevantes y señaladas de forma resumida son las siguientes:

- Las técnicas utilizadas son consideradas microcirugía, es decir, se realizan a través de pequeñas incisiones en la piel. Como resultado obtendremos solo pequeñas cicatrices apenas perceptibles a nivel epidérmico y un trauma tisular mínimo, lo que conllevará menor inflamación postoperatoria y una más pronta recuperación.
- Se realiza generalmente utilizando anestesia local de la zona susceptible de ser intervenida con los anestésicos habituales, véase mepivacaína, bupivacaína o el uso de ambas conjuntamente y sin uso de vasoconstrictor. La sedación es optativa, dependiendo del tipo de procedimiento, el deseo

de paciente y su historia médica.

-La cirugía MIS se realiza sin control visual directo del campo operatorio por lo que son necesarios métodos de imagen que nos permitan realizar un seguimiento de las intervenciones de forma directa. El instrumento ideal para llevar a cabo estas técnicas es el fluoroscopio, material imprescindible para obtener resultados óptimos.

- No se utiliza torniquete ni hemostasia. Por un lado, el sangrado facilita la salida del detritus óseo resultante del fresado; por otro, se permite el refrigerado de zonas hipertérmicas debidas al uso de fresas. Hay que pensar que el sangrado no altera la visión del campo quirúrgico puesto que las técnicas MIS se realizan sin visión directa del campo operatorio.

- La deambulación del paciente es inmediata, procurando realizar un reposo relativo las primeras 24 horas tras la cirugía.

- Debido a que la agresión a los tejidos es mínima, es posible la realización de multitécnicas en un mismo acto quirúrgico (Figs. 24 y 26). Se considera que estos procedimientos son apropiados y justificables cuando el paciente presenta múltiples problemas. Esto no es posible con la cirugía tradicional, donde podrían aparecer efectos no deseados como problemas de cicatrización, rechazo del material de osteosíntesis o una mala colocación de este que llevaría la cirugía al fracaso (Pascual Huerta et al., 2016). La historia y la exploración clínica del paciente, junto con un adecuado diagnóstico deben justificar esta opción.

- No se utilizan elementos de fijaciones internas ni osteosíntesis tipo agujas Kirschner, tornillos o clavos. Se considera que los propios elementos musculotendinosos y capsulares, junto con el diseño de las osteotomías (en su mayoría incompletas) y su localización intracapsular (en los casos en los que se hace así), nos ayudarán a que no exista desplazamiento de los segmentos osteotomizados

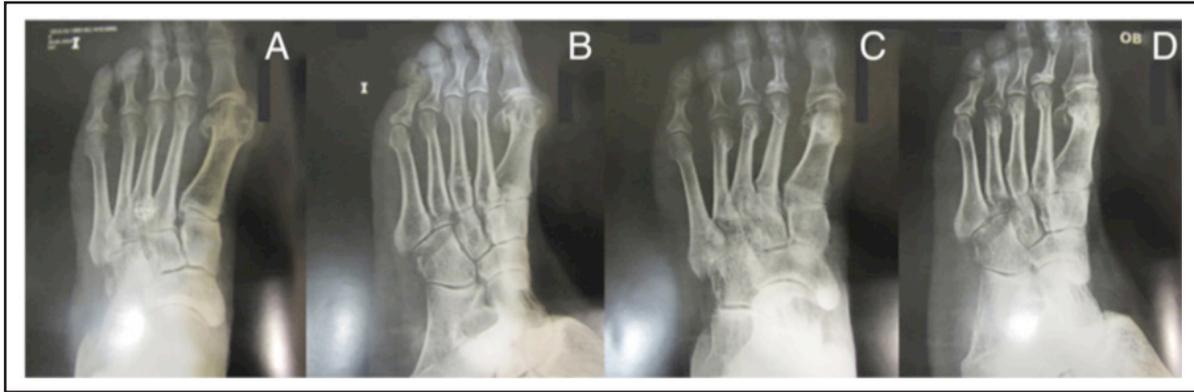


Figura 24: Proyecciones dorso-plantar y oblicuas donde se observan las deformidades de antepie existentes tanto en 1^{er} radio como en radios centrales, así como el resultado tras cirugía MIS multitécnica que se practico en todos los radios afectados.

Se realizan vendajes funcionales (Fig.25) para que no exista movilidad ínter fragmentaria. El paciente acude a su primera revisión a las 72 horas para comprobar como se encuentra tanto el vendaje como el pie.

Ese primer vendaje se mantiene unos 10/11 días, ya que es un vendaje consistente a base de gasas, vendas de gasa e Hypafix. Una vez retirado ese primer vendaje se realiza otro solamente a base de Hypafix, que fijará las osteotomías realizadas a modo de material de osteosíntesis. Se cambiará una vez por semana hasta la cuarta semana postquirúrgica donde se retirara definitivamente.

Estos vendajes van acompañados del uso de un zapato postquirúrgico hasta el día en que retiramos el ultimo vendaje y el paciente se calza con un zapato cómodo tipo zapatilla deportiva.



Figura 25 : Ejemplo de vendaje compresivo postquirúrgico para dar estabilidad y confort al paciente los primeros días posteriores al acto quirúrgico.

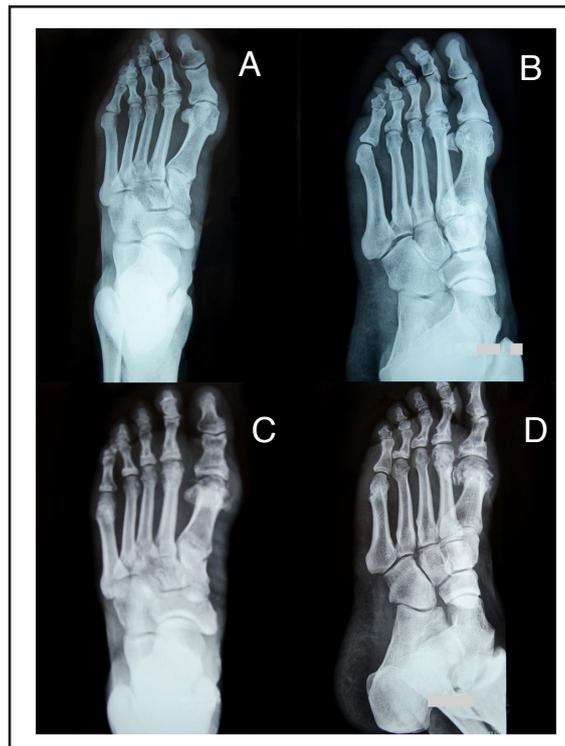


Figura 26: Proyecciones dorso-plantar (A y C) y oblicuas (B y D) donde se observan las deformidades de antepié existentes, tanto en el 1^{er} radio como en los radios centrales (A y B), así como el resultado tras cirugía MIS multitécnica que se practicó en todos los radios afectados (C y D).

En la cirugía mínimamente invasiva se realizan osteotomías distales metafisarias para tratar de restablecer la longitud y posición de las cabezas metatarsianas y lograr así un buen funcionamiento biomecánico del pie para la marcha. Estas osteotomías pueden ser realizadas intra o extracapsularmente, dependiendo de los autores.

Dentro de la bibliografía internacional el término más utilizado para definir estas osteotomías sea DMMO (Distal metatarsal minimal invasive osteotomy) (De Prado et al., 2016). Las osteotomías metatarsales distales mínimamente invasivas (DMMO) (González et al., 2015) son procedimientos, que al igual que el resto de osteotomías distales realizadas mediante cirugía percutánea, están indicados para pacientes con metatarsalgia y deterioro funcional, una vez que han fracasado todos los tratamientos no invasivos, persistiendo los síntomas de dolor y las lesiones plantares (IPK o hiperqueratosis) (Leventen et al., 1990) (Gibbard et al., 2003). Las DMMO (igual que otras osteotomías distales percutáneas) se pueden realizar en todos los metatarsianos con menos posibilidades de producir una menor elevación de la cabeza metatarsal del primer radio en comparación con las osteotomías diafisarias. (Coillard et al., 2011). Este tipo de osteotomía es extracapsular, pero no lleva ningún tipo de fijación. Esto puede conllevar un desplazamiento mayor al deseado y no controlado en metatarsianos centrales.

Debido a esto, hay otros autores que realizan lo que se denomina DICMO (distal intra-capsular minimally- invasive osteotomy) (Laffenêtre et al., 2019). Estas osteotomías se diferencian de las anteriores por tener una localización intracapsular (Nieto, 2017) lo que le proporciona una mayor estabilidad ya que la capsula articular actúa como método de fijación para la osteotomía (Naranjo, 2015).

En este estudio se ha realizado la DICMO. Esta osteotomía se realiza a través de una pequeña incisión de aproximadamente unos 2 mm entre las cabezas de los metatarsianos que hay que intervenir (Fig. 27A). Se despega, con ayuda del bisturí de mínima incisión el periostio del cuello de los metatarsianos.

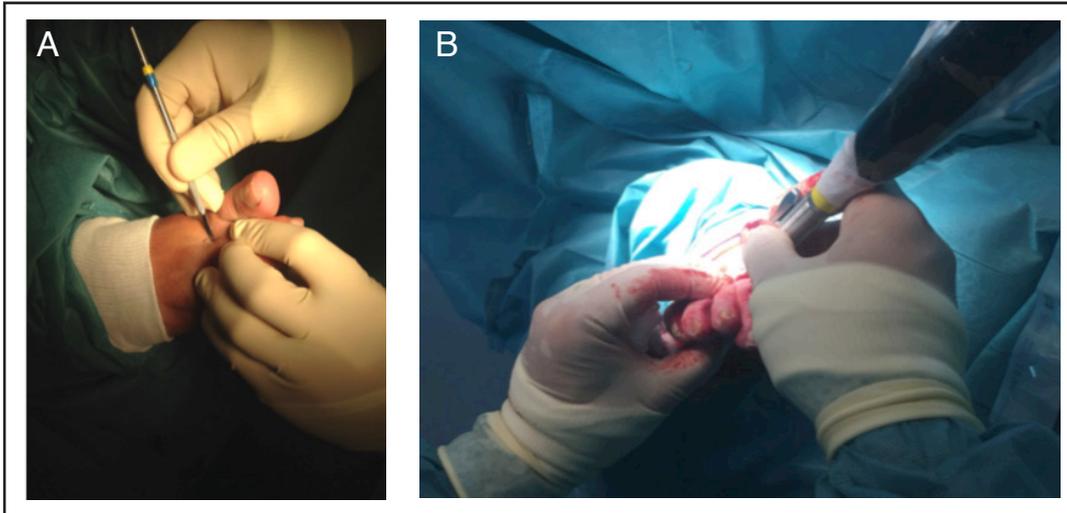


Figura 27: A) Incisión realizada con mango de bisturí y hoja diseñada para cirugía MIS, a través de la cual se realizara la osteotomía para el metatarsiano afectado. B) Angulación de 45° para la correcta realización de la osteotomía.

Luego, se lleva a cabo una osteotomía de 45° de inclinación respecto al plano del suelo (Fig. 27B) de dorsal a plantar y de medial a lateral, dejando las cabezas sin fijar, sin ningún material de osteosíntesis, para que la carga inmediata las lleve a su nivel más adecuado (Haque et al., 2016).

Pocas veces se logra la corrección de la fórmula metatarsal mediante la actuación sobre sólo uno de los metatarsianos, por lo que casi siempre se actúa sobre al menos dos de ellos, atendiendo al siguiente esquema (Miranda et al., 2015):

- Sobrecarga del segundo metatarsiano: osteotomías del segundo y tercer metatarsianos.
- Sobrecarga del tercer metatarsiano: osteotomías del segundo, tercer y cuarto metatarsianos.
- Sobrecarga del cuarto metatarsiano: osteotomías del tercer y cuarto metatarsiano.

Durante un tiempo se tomó como referencia de metatarsianos a tratar la fórmula de Leventin (Leventen et al., 1990), aunque esta idea es insuficiente ya que solo valora la longitud de los metatarsianos, olvidando la flexión plantar de alguno de ellos, lo que conllevaría la consiguiente sobrecarga (Nieto et al., 2017).

Complicaciones

Como en toda cirugía, en la cirugía MIS pueden presentarse complicaciones, unas generales como problemas anestésicos, alergias o cualquier otra complicación derivada del estado de salud del paciente y otras locales como pueden ser, infecciones, recidivas de la deformidad (Kilmartin, 2002), retardos de consolidación o una inflamación persistente, sin olvidar que la curva de aprendizaje de esta cirugía es larga y que una mala praxis del cirujano puede acarrear infinidad de problemas. Krenn et al., 2018 refieren las complicaciones que pueden surgir en estadios tempranos de la formación del cirujano, pudiendo ir desde un edema mas prolongado de lo normal hasta una no unión o una necrosis. Entre estas están las siguientes:

- Mala localización de la osteotomía, ya que si se realiza muy proximal puede crear un callo de fractura mayor del deseado con lo que surgiría un edema mucho mayor, una transferencia de cargas no deseada o un tiempo de recuperación mayor (Nieto et al., 2017).
- Osteotomías extra capsulares que pueden además generar un desplazamiento no deseado de la cabeza metatarsal.
- Afectación de la piel debido a un mal uso de la fresa quirúrgica lo que puede conllevar quemaduras en la piel, no deseadas.
- Retardos de consolidación o falta de unión debido a una osteotomía muy agresiva o amplia.
- Complicaciones derivadas del mal uso de las fresas quirúrgicas por desconocimiento de las propiedades que tiene cada una y su función, unas pueden ser de corte y otras pueden ser de resección.
- Complicaciones vasculonerviosas, que nos suelen ser muy importantes ya que van desapareciendo con el tiempo. (De Prado et al., 2016)

A parte de las complicaciones citadas anteriormente, pueden surgir problemas similares a los que se pueden generar tras una intervención mediante cirugía tradicional como pueden ser: (Yeo et al., 2016) edema, rigidez articular y dedos flotantes.

Instrumental

Aunque existe un instrumental que es común a otros tipos de cirugía podológica, en la cirugía MIS se utiliza material específico (De Prado et al., 2003).

El hecho de que las técnicas de cirugía MIS sean muy particulares en cuanto a ejecución y desarrollo, ha hecho que con el paso del tiempo el instrumental utilizado para ellas haya sido modificado y posteriormente específicamente diseñado para así obtener una mayor eficacia en los gestos quirúrgicos, con un mínimo esfuerzo y una mayor ergonomía en el trabajo.

Dentro del instrumental del que podemos hacer uso en una intervención de cirugía MIS, diferenciamos tres grupos, que van a ser analizados: el primero, el instrumental motorizado, el segundo, el específico del campo operatorio y como tercer grupo, el instrumental de control radiológico, siendo los tres igualmente importantes a la hora de realizar una cirugía de mínima incisión.

INSTRUMENTAL MOTORIZADO: MICROMOTOR Y PIEZA DE MANO

Los sistemas motorizados tienen unos terminales capaces de transformar la velocidad y potencia que produce el micromotor en movimientos rotatorios para así poder eliminar superficies óseas mediante el uso de determinadas fresas y sierras de corte con movimientos oscilantes. Dentro de los tipos de instrumental motorizado se seleccionan aquellos que tienen una adecuada relación de la velocidad con la potencia, es decir, que no pierdan potencia con la disminución de velocidad. Se deben considerar los siguientes factores:

- La velocidad en cirugía MIS será la menor posible que permita realizar el gesto quirúrgico programado.
- La potencia del sistema motorizado debe ser la suficiente para vencer la resistencia de la superficie a fresar.
- Se deben mantener las revoluciones por minuto que adquiere la fresa dentro de los márgenes de seguridad, puesto que conforme aumenta la velocidad a la que se trabaja, aumentará la temperatura

de punta de fresa y como consecuencia también la temperatura de los tejidos.

Se sabe que si se alcanzan temperaturas de 50°C se producen necrosis osteotérmicas titulares y que una fresa trabajando a 250 rpm genera por norma una temperatura de 38°C. Es necesario por tanto no sobrepasar ese límite, ya que si se hacen lesiones de hipertermia o necrosis ósea existirán alteraciones importantes en el tiempo de consolidación de la osteotomía. En resumen, el máximo de revoluciones por minuto que se deben utilizar para no provocar alteraciones térmicas tisulares es 250 rpm, cosa que sólo se consigue con el uso del micromotor y pieza de mano con reductora, a la cual irán acomodadas las fresas. El hecho de que la pieza de mano tenga reductora permite que podamos trabajar a bajas revoluciones.

INSTRUMENTAL DEL CAMPO QUIRÚRGICO

Llamamos así al instrumental que es utilizado para realizar las intervenciones, utilizado principalmente en la mesa de Mayo quirúrgica y que no lleva incorporado ningún instrumento rotatorio. Aunque es un material de uso común con la cirugía tradicional, en cirugía MIS algunos de los utensilios han sido modificados y se seleccionan tipos particulares de cada instrumento:

Hojas de Bisturí

Las particularidades de estas hojas son que tienen una forma circular distal con el corte en la base y en el 1/3 distal, y que son hojas desechables (Fig. 28).

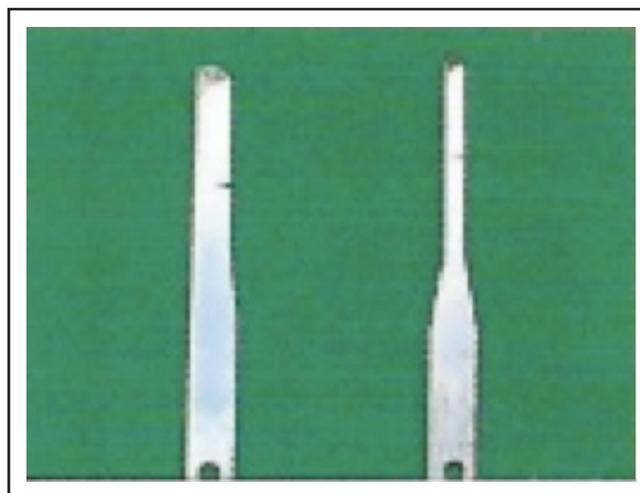


Figura 28: Ejemplo de hojas de bisturí.

La hoja 64 realiza unas incisiones de 2 mm, mientras que la 64 MIS las hace de 1mm.

Para estructuras grandes usaremos la 64, mientras que si necesitamos pequeños cortes usaremos la 64 MIS ; para las incisiones en piel, que servirán como vía de abordaje para actos posteriores se utilizara la hoja 64, mientras que para tenotomías del abductor o extensor del 1º dedo, tenotomías de flexores y tenotomías de extensores de dedos menores utilizaremos la 64 MIS; en el caso de las capsulotomías, utilizaremos la hoja 64 para la capsulotomía del 1ª MTT, mientras que utilizaremos la 64 MIS para las de MTT menores, como el segundo metatarsiano.

Mangos de bisturí

Generalmente son redondos, aunque también pueden ser hexagonales. Están formados por dos partes en las que se inserta la hoja de bisturí. En cirugía MIS se utilizan mangos de dimensiones reducidas, consiguiendo una gran precisión en los movimientos. Permiten movimientos oscilantes manteniendo como punto de pivote el punto de entrada en la piel.

Limas

Dentro de los distintos tipos de limas que existen en el mercado hay que resaltar: Lewis gruesa, Lewis fina, Bell, Polokoff. El diseño de estas es el mismo que las limas de cirugía tradicional diferenciándose únicamente en el tamaño.

Fresas

Hay muchos tipos de fresas que se utilizan en cirugía de mínima incisión. Los 5 tipos que se usan con más frecuencia son: Shannon 44 corta, Shannon 44 mediana, Shannon 44 larga, Brophy y Wedge (Fig. 29). Todas son de acero inoxidable.

Shannon 44 Corta.

Las medidas de esta fresa son: diámetro de la cabeza, 2mm; longitud de la cabeza, 8mm; y longitud total, 65 mm. Es utilizada para fresar pequeñas superficies o realizar osteotomías de huesos de pequeño diámetro: osteotomías de las falanges de dedos menores, tanto dorsales como plantares; exostectomías de dedos; y remodelado de superficies óseas.

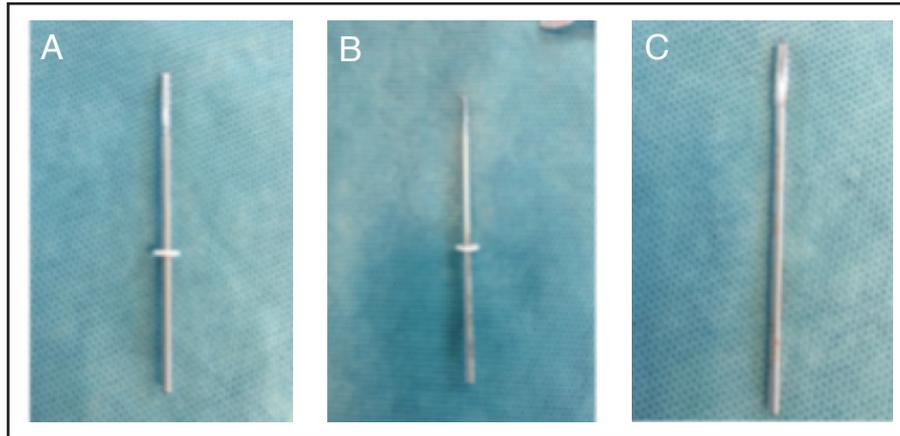


Figura 29: Ejemplos de fresas. A) Shannon corta para dobles osteotomías de dedos o exostosis. B) Shannon Larga para la osteotomía de metatarsianos centrales. C) Wedge para bunion.

Shannon 44 Mediana.

Las medidas de esta fresa son: diámetro de la cabeza, 2.0 mm; longitud de la cabeza, 12.0 mm; longitud total, 65.0 mm. Es utilizada para fresar superficies más o menos voluminosas o bien para realizar osteotomías de huesos de un diámetro ligeramente mayor: osteotomías de las falanges de dedos menores, tanto dorsales como plantares; exostectomías de dedos; exostectomías del 5º dedo en varo; o exostectomías cuneo-metatarsales dorsales.

Shannon 44 larga.

Las medidas de esta fresa son: diámetro cabeza, 2.0 mm; longitud cabeza, 12.0 mm; longitud total, 65.0 mm. Se utiliza para fresar grandes superficies y para realizar osteotomías de huesos de un diámetro importante: osteotomías del 1º metatarsiano, tanto en la cabeza como en la base, indicada para actos quirúrgicos como el Reverdin- Isham; osteotomías de metatarsianos menores, osteotomías de la falange proximal del 1º dedo, cirugía de espolón calcáneo, exostectomía posterior de calcáneo en la enfermedad de Haglund; o exostectomías cuneo- metatarsales dorsales.

Brophy.

Las medidas de esta fresa son: diámetro cabeza, 4.14 mm; longitud cabeza, 15.3 mm; longitud total, 70 mm. Se considera una fresa de pulido de superficies amplias y con ella no se realiza ningún

tipo de osteotomía: exostectomía del bunion, (crecimiento óseo anormal) de la cabeza del 1^{er} metatarsiano, exostectomía del bunion del 5^o metatarsiano y en algunos casos, exostectomías cuneo metatarsales dorsales.

Wedge Burns X-MASS Tree 3.1 Y 4.1.

Son fresas con aristas helicoidales y con forma cónica generalmente utilizadas para fresar. En dependencia del tamaño de su base, distinguimos 2: la pequeña, de 3.1 mm o la grande, de 4.1 mm. Las medidas de estas fresas son respectivamente: diámetro cabeza, 2.6 mm ; longitud cabeza, 12.7 mm; longitud total, 65.0 mm. Y diámetro cabeza, 3.0 mm; longitud cabeza, 12.7 mm ; longitud total, 65.0 mm.

Se utiliza en exostectomía del bunion de la cabeza del 1^o metatarsiano; decorticalización, para disminuir la dureza ósea al usar otro tipo de fresas; aumento del tamaño de la osteotomía Reverdin Isham; espolones calcáneos; enfermedad de Haglund; o exostectomías cuneo metatarsales dorsales.

Elevadores

Hay tres tipos de elevadores: Freer, Curvo y de Seibilleau. Se utilizan para separar la cápsula de las adherencias a segmentos óseos, como en la cabeza del 1^{er} metatarsiano; para separar tejidos adyacentes a la intervención; en la disección atraumática; o para el desbridamiento.

Finalmente, y como en cualquier tipo de cirugía, se utilizan también *pinzas de hemostasia, portaagujas, tijeras o pinzas de disección.*

INSTRUMENTAL DE CONTROL RADIOLÓGICO

FLUOROSCOPIO

El fluoroscopio (Fig. 30) es un sistema de emisión de radiaciones que está controlado por un multiprocesador que hace que se obtengan, una alta calidad y resolución de las imágenes, gran precisión y alta velocidad de reconocimiento.

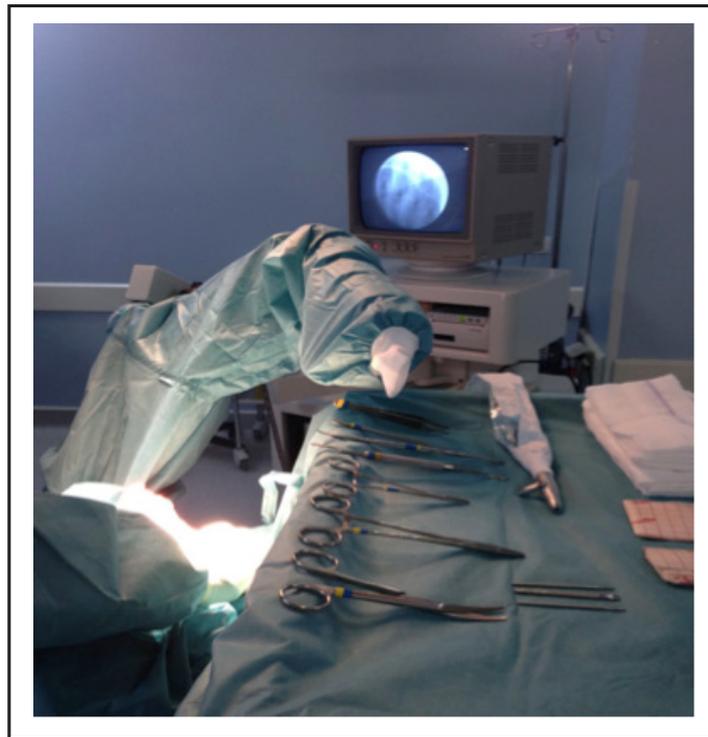


Figura 30: Ejemplo de campo quirúrgico dispuesto para la realización de una intervención quirúrgica mediante cirugía MIS, junto al fluoroscopio que se usa para la comprobación radiológica intraquirúrgica.

Las ventajas que presenta el fluoroscopio con respecto a otros equipos radiológicos son las siguientes:

- Menos del 1% de filtración de radiación especificada por la FDA para equipos de fluoroscopia en el ámbito de seguridad.
- Irradiación colimada, por lo que produce baja radiación dispersa.
- Reduce los tiempos de exploración.
- Elimina el hacer placas de RX.
- Permite hacer proyecciones especiales.
- Permite obtener imágenes invertidas.

- Permite ver el desarrollo de las técnicas con imágenes en tiempo real.
- Permite comprobar las osteotomías y su efectividad correctora.
- Fácil manejo.
- Gran calidad y resolución.

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

La realización de osteotomías distales que acortan los metatarsianos y elevan su cabeza con el fin de atenuar su sobrecarga y así tratar las metatarsalgias está bien reconocida. Tanto cuando se realiza mediante cirugía abierta tradicional como a través de cirugía percutánea extracapsular (DMMO) se obtienen buenos resultados. Los estudios publicados en la bibliografía en los que se realizan ambas técnicas son abundantes y aportan datos tanto en relación con el acortamiento de los metatarsianos como con la mejoría y la satisfacción del paciente. En general se obtienen resultados similares, aunque la cirugía percutánea presenta un número de complicaciones ligeramente menor, es menos agresiva y permite una recuperación más cómoda y rápida. Los estudios publicados de osteotomías distales intracapsulares a través de cirugía mínimamente invasiva (DICMO) son sin embargo muy escasos. Aunque la técnica está bien descrita y en la actualidad es cada vez más utilizada, no existen datos sobre el grado de acortamiento conseguido ni sobre la valoración de la mejoría del paciente. Por tanto, el objetivo general de este estudio fue valorar la eficacia y los resultados en cuanto a acortamiento metatarsiano de la DICMO, centrándonos fundamentalmente en el segundo metatarsiano, dada su importancia funcional en la estabilidad del pie.

Objetivos específicos

- 1.- Valorar el acortamiento medio del segundo metatarsiano tras DICMO, considerándolo tanto de forma conjunta en todos los pacientes como en relación con el sexo, edad del paciente o lado del pie operado.
- 2.- Estudiar los actos quirúrgicos adicionales que fueron necesarios cuando se operó el segundo metatarsiano.
- 3.- Estudiar la posible existencia de relación entre la necesidad de cirugía en un metatarsiano y la necesidad de cirugía en su correspondiente dedo.
- 4.- Valorar la mejoría y la satisfacción del paciente tras DICMO.
- 5.- Estudiar el acortamiento medio del segundo metatarsiano tras DICMO en piezas anatómicas de cadáver.
- 6.- Asegurar la falta de afectación de tejidos blandos, particularmente la placa plantar, tras DICMO.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

II. MATERIAL Y MÉTODOS

1. PACIENTES

Para este trabajo se han seleccionado pacientes mayores de 18 años que acudieron a la consulta podológica con metatarsalgia en metatarsianos centrales, siendo susceptibles de tratamiento quirúrgico (n=30). Como parámetros de exclusión se ha tenido en cuenta que fuesen pacientes mayores de edad y pacientes no intervenidos anteriormente de dichos metatarsianos. La edad media de los pacientes operados es de 58,9 años con una desviación típica de 12,87 años. El 50 % de los pacientes se encontraban en edades comprendidas entre los 56 y los 67 años. El paciente de menor edad tenía 34 años y el de mayor edad 87 (Tabla I)

	mean	sd	IQR	cv	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Age	58.90	12.87	11.00	0.22	34.00	56.00	63.00	67.00	87.00

Tabla I. Edad media de los pacientes del estudio. *sd*: desviación típica; *IQR*: amplitud intercuartílica; *cv*: coeficiente de variación.

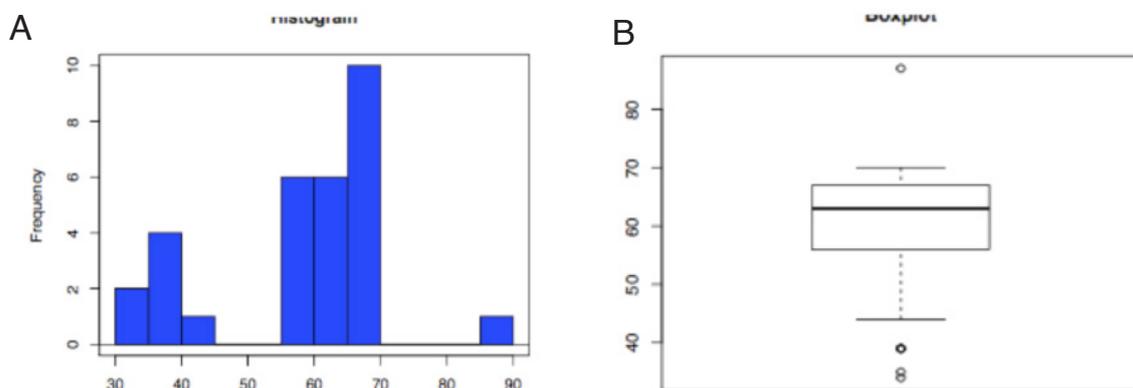


Figura 31. Distribución de los pacientes según su edad, representada como A) histograma; y B) diagrama de cajas.

La mayoría de los pacientes operados tenían edades comprendidas entre los 55 y los 70 años (Fig. 31), aunque hay varios cuyas edades están bastante alejadas de estas (Fig. 31A), observándose algunos de ellos como datos atípicos en el diagrama de cajas (Fig. 31B). Entre los pacientes había 24 mujeres (80%) y 6 hombres (20%) (Fig. 32).

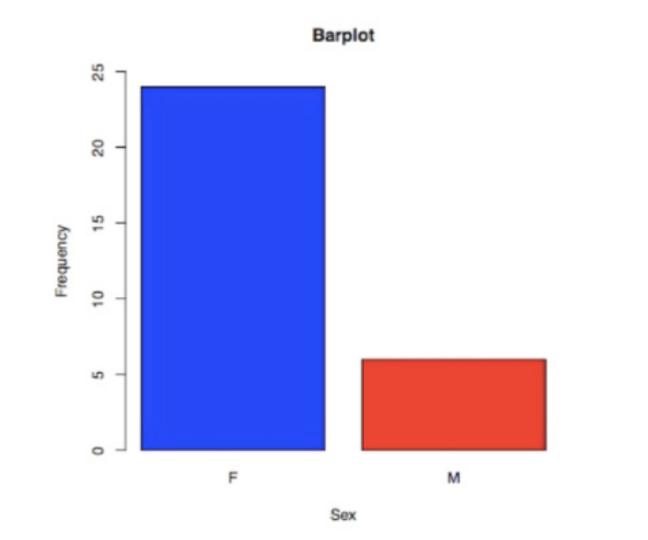


Figura 32. Distribución de los pacientes según su sexo.

	mean	sd	IQR	cv	0%	25%	50%	75%	100%
Female Age	60.62	12.00	8.25	0.20	34.00	58.75	63.00	67.00	87.00
Male Age	52.00	15.07	26.75	0.29	39.00	39.00	47.50	65.75	70.00

Tabla II. Edad media de los pacientes del estudio distribuida por sexos.

La media de edad entre las mujeres es de 60,62, años mientras que para los hombres es de 52 años. La dispersión de edades es menor en el caso de las mujeres que en el de los hombres, como indican tanto la amplitud intercuartilica como la desviación típica (Tabla II).

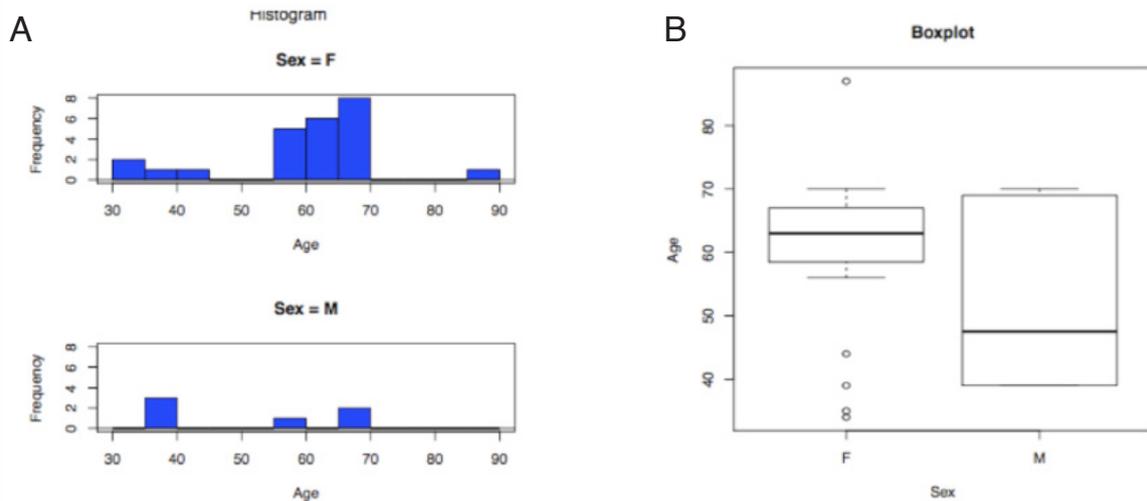


Figura 33. Edades de los pacientes distribuidas por sexos. A) histograma B) diagrama de cajas. F: femenino; M: masculino.

La mayoría de las mujeres tenían una edad entre los 55 y los 70 años (Fig. 33), con pocas pacientes alejadas de este rango de edad (3, 22, 26, 28 y 29). En el caso de los hombres no se pueden sacar conclusiones válidas, ya que el número de datos es muy pequeño, reforzando la teoría de que el paciente masculino no acude tanto a las clínicas podológicas como el femenino (Fig. 33).

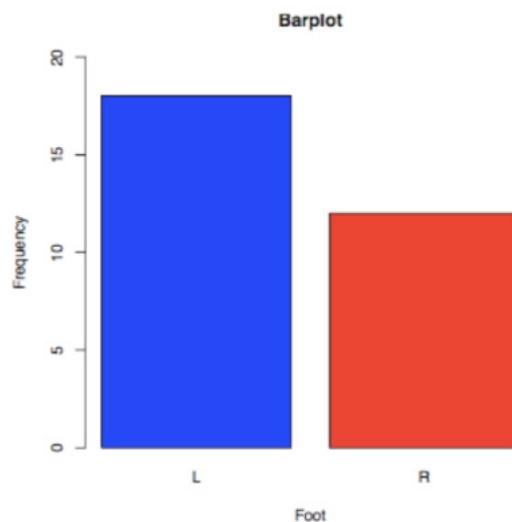


Figura 34. Distribución de los pacientes dependiendo del pie intervenido.

Se han operado 18 pacientes el pie izquierdo (60%) y 12 pacientes el derecho (40%) (Fig. 34). La edad media de los pacientes que han operado el pie derecho es de 64,33, mientras que la del pie izquierdo es de 55,28. La edad está más dispersa entre los pacientes que han operado el pie izquierdo, como indican tanto la amplitud intercuartílica como la desviación típica (Tabla III)

	mean	sd	IQR	cv	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Left Foot Age	55.28	12.93	26.25	0.23	34.00	40.25	61.00	66.50	69.00
Right Foot Age	64.33	11.16	10.00	0.17	39.00	60.00	65.00	70.00	87.00

Tabla III: Edades medias de los pacientes dependiendo del pie intervenido.

Los pacientes que han sido operados del pie derecho tienen edades comprendidas entre los 52 y los 73 años, salvo dos observaciones de 39 y 87 años (Fig. 35A). Estos dos datos son los que precisamente se observan en el diagrama de cajas como datos atípicos (Fig. 35B). Entre los pacientes operados del pie izquierdo cabe destacar un gran grupo de ellos entre los 63 y los 68 años (Fig. 35A).

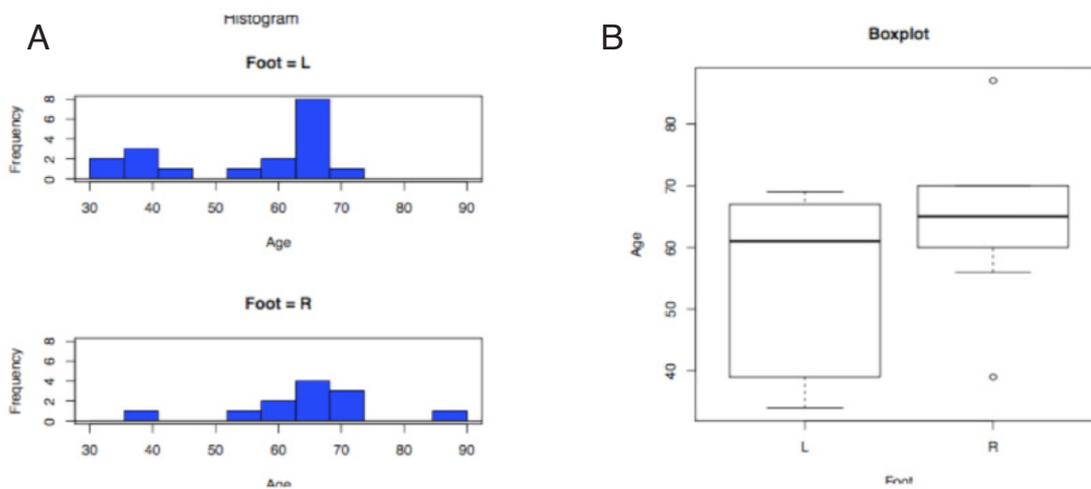


Figura 35. Rangos de edad de los pacientes dependiendo del pie intervenido. A) histograma B) diagrama de cajas. L: izquierdo; R: derecho.

2. CIRUGIAS REALIZADAS EN LOS PACIENTES

2.1 OSTEOTOMÍA EN LOS METATARSIANOS

Se realizó osteotomía elevadora y acortadora del 2º metatarsiano y, en la mayoría de los casos, de otros metatarsianos adicionales que se consideró necesario según los criterios utilizados para lograr la armonía del pie (Maestro, 2003) durante la planificación de la cirugía, teniendo en cuenta que en el caso de la cirugía MIS ese planteamiento no es igual que para una intervención tradicional aunque las dos vertientes busquen un resultado similar. En el caso de la cirugía mínimamente invasiva se estudian una radiografía dorsoplantar y otra oblicua para valorar las deformidades anatómicas existentes y así plantearle al paciente el tratamiento quirúrgico más efectivo. Para esta cirugía se utilizó bisturí de MIS y una hoja 64 o 64 MIS, dependiendo de las necesidades que la cirugía conllevara. Así, en los pacientes sanos y jóvenes se utilizaron indistintamente, aunque con la 64 MIS se dieron casos en los que no hizo falta suturar las incisiones realizadas. En los casos de pacientes de edad avanzada, donde la piel es muy frágil se optó por la hoja 64 para evitar desgarrar la piel o producir alguna quemadura. La fresa utilizada fue la Isham larga en todos los casos, ya que es la fresa indicada para la realización de este tipo de osteotomía. En esta cirugía se realiza una osteotomía oblicua en el cuello quirúrgico del segundo metatarsiano.

La incisión se realizó en el espacio entre las cabezas del 2º y 3º metatarsiano (en el caso de la osteotomía del 2º; en el espacio entre sucesivas cabezas, para el caso de sucesivos metatarsianos) con bisturí Beaver 64 (Fig. 36). Se profundizó hasta incidir en la cápsula articular y llegar a la cortical lateral del cuello quirúrgico del segundo metatarsiano (o sucesivos). Se realizó una pequeña muesca y se comprobó mediante el fluoroscopio la correcta localización para que la osteotomía fuera intracapsular.



Figura 36: Incisión para abordaje quirúrgico del 2º metatarsiano.

La fresa se colocó con una angulación de 45° en el cuello quirúrgico del metatarsiano a tratar siguiendo el mismo recorrido que se hizo con el bisturí, controlado por fluoroscopia (Fig. 37 A), para no dañar zonas vecinas y la osteotomía se realizó de distal dorsal a plantar proximal (Fig. 37B).

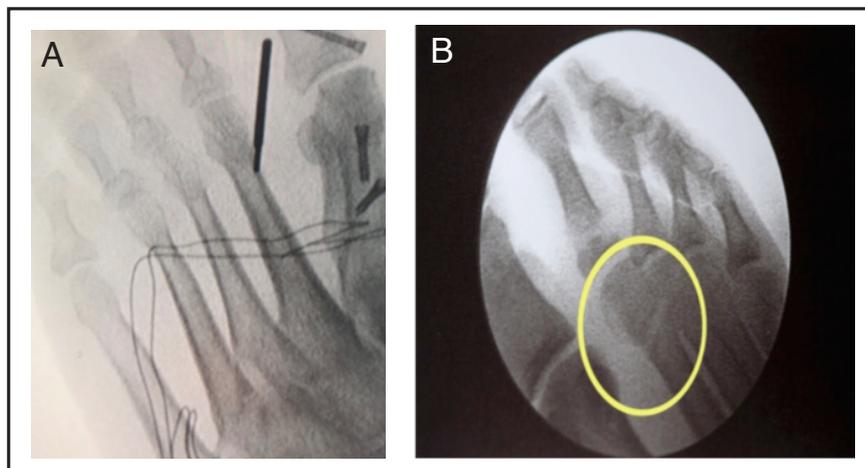


Figura 37: A) Ejemplo de fluoroscopia intraquirúrgica que confirma la localización correcta de la fresa quirúrgica. B) Imagen fluoroscópica que muestra la angulación de la osteotomía metatarsal

2.2 OSTEOTOMÍA EN LOS DEDOS

Aunque el objetivo principal del trabajo es valorar el acortamiento medio del segundo metatarsiano, en la mayoría de los pacientes con metatarsalgia la osteotomía del segundo metatarsiano debe acompañarse (además de la intervención en metatarsianos vecinos) de otras intervenciones quirúrgicas.

Una de las patologías más frecuentes que acompañan a los metatarsianos afectados son las deformidades digitales. Para la intervención quirúrgica de los dedos 2º, 3º, 4º y 5º se realizaron dos osteotomías, una en la falange media y otra en la falange proximal.

Para la osteotomía de la falange media se comenzó con una incisión de dos milímetros con hoja de bisturí 64 MIS en el centro de la cara medial (si hablamos de un pie derecho; lateral en el caso del izquierdo) de dicha falange, llegando hasta el periostio (Fig. 38).

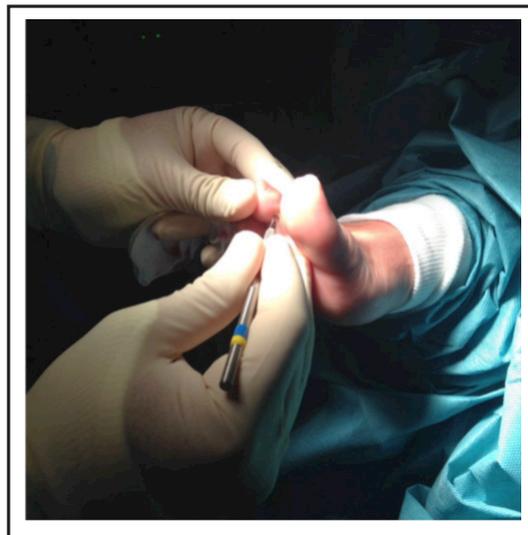


Figura 38: Vía de abordaje para la realización de una osteotomía en la falange media.

Una vez realizada la incisión se introdujo la fresa Shannon corta con la misma dirección que se empleó con la hoja de bisturí (Fig. 39) para desperiostizar la falange y se realizó una osteotomía completa. La dirección de la osteotomía fue de medial a lateral de la falange intervenida en el caso de los pies derechos y de lateral a medial en el caso de los izquierdos.



Figura 39: Ejemplo sobre pieza anatómica (Universidad de Oviedo) de la colocación de la fresa quirúrgica previa a osteotomía.

Una vez completada la osteotomía de la falange media se procedió a realizar la incisión en la base de la falange proximal (Fig. 40) para hacer la osteotomía proximal.



Figura 40: Vía de abordaje para una osteotomía en la falange proximal del dedo afectado.

Con la misma fresa, Shannon corta, y la metodología que se realizó la osteotomía de la falange media, se realizó la osteotomía de la falange proximal, lo más cerca posible de su base, con cuidado de no invadir el espacio articular, siendo la dirección de la osteotomía igual que la realizada en la falange intermedia. (Fig. 41).



Figura 41: Ejemplo sobre pieza anatómica (Universidad de Oviedo) que muestra la correcta colocación de la fresa quirúrgica.

Una vez realizadas las dos osteotomías (Fig. 42) se conseguirá una relajación de partes blandas, lo que permitirá que la deformidad existente se corrija con un vendaje de sujeción.

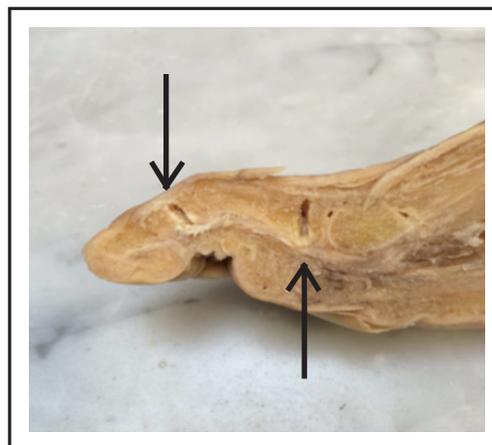


Figura 42: Imagen de pieza anatómica (Universidad de Oviedo) que muestra las osteotomías ya realizadas. La flecha de la izquierda muestra la osteotomía distal, localizada en el centro de la falange intermedia. La flecha de la derecha muestra la osteotomía proximal, localizada en la base de la falange proximal.

3. MEDIDA DEL GRADO DE ACORTAMIENTO METATARSIANO CONSEGUIDO

Para la evaluación del acortamiento del segundo metatarsiano tras la osteotomía se realizó una medición del metatarsiano antes y después de la cirugía con un calibre electrónico en radiografías pre y postquirúrgicas (Fig. 43).

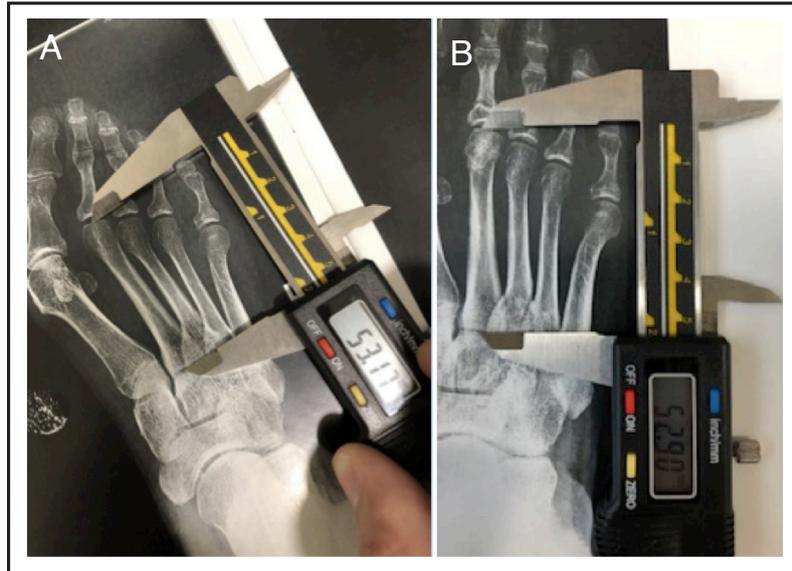


Figura 43: Imagen donde se observa el acortamiento del 2º metatarsiano tras una osteotomía intraarticular mediante cirugía mínimamente invasiva. A) Ejemplo de medición con calibre electrónico sobre radiografía prequirúrgica; B) Ejemplo de medición en radiografía postquirúrgica.

4. EVALUACIÓN DE LA MEJORÍA Y SATISFACCIÓN DEL PACIENTE

Para evaluar la sensación de mejoría de los pacientes, se les pasó a estos un test de la American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) (Tabla III), que valora una serie de parámetros que reflejan la mejoría y la escala de satisfacción con el tratamiento recibido.

	ESCALA AOFAS
Dolor	40 puntos
Ninguno	40
Leve, ocasional	30
Moderado, diario	20
Intense, casi siempre presente	0
Función	45 puntos
1. - <i>Limitación de actividad, necesidades de ayuda</i>	
a. Sin limitaciones	10
b. Sin limitaciones para las actividades diarias, limitaciones para actividades de ocio, sin ayuda	7
c. Limitación para las actividades diarias y de ocio, uso de bastón	4
d. Limitación severa para las actividades de la vida diaria y de ocio, uso de órtesis (Walker), muletas, silla de ruedas	0
2. - <i>Hiperqueratosis relacionados con MTF-IF</i>	
a. Sin hiperqueratosis o asintomáticos	5
b. Hiperqueratosis, sintomático	0
3. - <i>Requerimiento de calzado</i>	
a. De moda, convencionales, sin modificaciones	10
b. Cómodo, con modificaciones	5
c. Zapato a medida o modificados	0
4. - <i>Movilidad MTF (flexión dorsal-plantar)</i>	
a. Normal o ligera limitación (>75o)	10
b. Limitación moderada (30-75o)	5
c. Limitación severa (<30o)	0
5. - <i>Movilidad IF (flexión plantar)</i>	
a. Sin limitación	5
b. Limitación severa (<10o)	0
6. - <i>Estabilidad MTF-IF (todas direcciones)</i>	
a. Estable	5
b. Inestable	0
Alineación	15 puntos
Buena, pie plantígrado, mediopié bien alineado	15
Regular, pie plantígrado, algún grado de desalineación, sin síntomas	8
Mala, pie no plantígrado, desalineación severa, sintomático	0
TOTAL	100

Tabla IV: ejemplo de escala AOFAS utilizado en este estudio. Estudio del acortamiento del 2º metatarsiano y de la afectación de partes blandas en piezas anatómicas.

5. ESTUDIO DEL ACORTAMIENTO DEL 2º METATARSIANO Y DE LA AFECTACIÓN DE PARTES BLANDAS EN PIEZAS ANATÓMICAS

Los pies cadavéricos (n=10) fueron estudiados en el Área de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad de Oviedo. De estos 5 fueron izquierdos 5 derechos. El protocolo quirúrgico fue el mismo que el utilizado en los pacientes (Fig. 44).

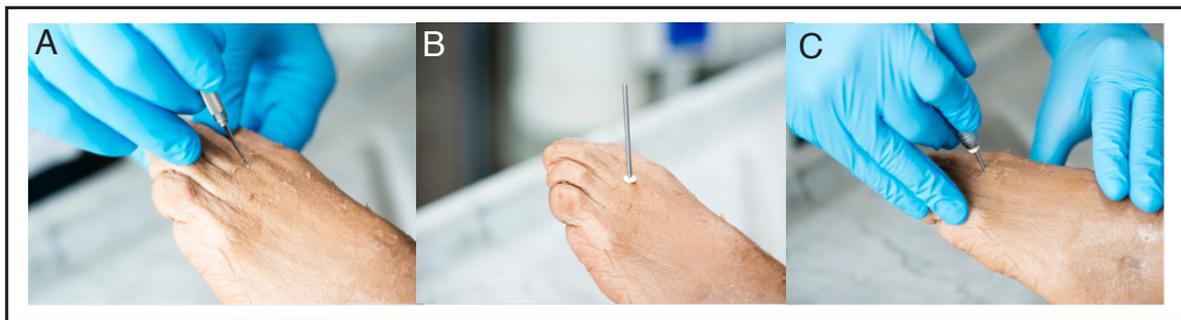


Figura 44: Pasos que se siguieron para realizar la osteotomía del segundo metatarsiano sobre las piezas anatómicas del pie. A) Incisión en piel para poder realizar osteotomía.;B) colocación de la fresa para realizar la osteotomía. C) Realización de la osteotomía de segundo metatarsiano.

Tras el acto quirúrgico se congeló el pie y se realizó un corte sagital de este discurriendo por el 2º Radio (Fig. 45 A y B).

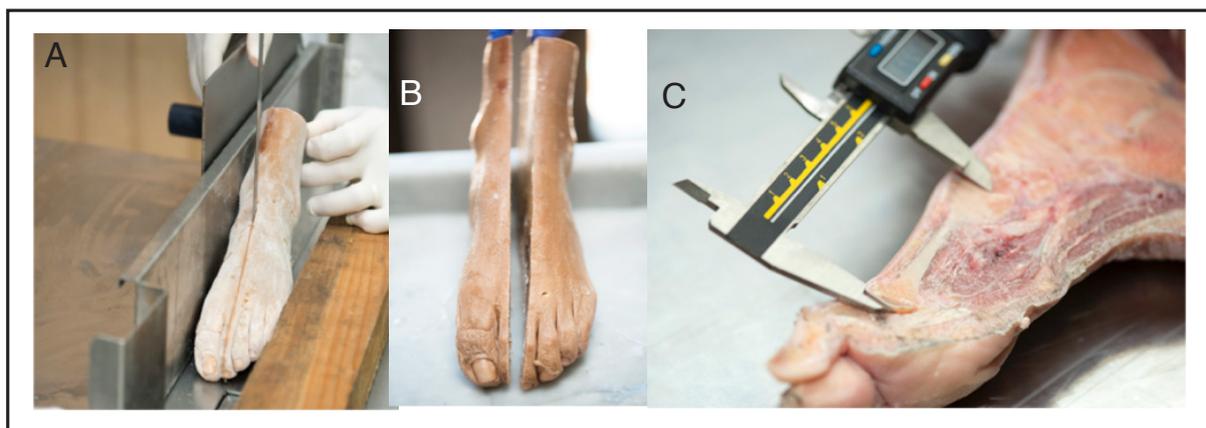


Figura 45: A y B) Corte sagital en pieza anatómica congelada y posterior C) medición con calibre electrónico.

A continuación se midió el acortamiento del metatarsiano mediante calibre electrónico (Fig. 45C). Finalmente se comprobó visualmente la integridad de la placa plantar, observando también los elementos relacionados con ella de forma minuciosa e individual.

IV. RESULTADOS

RESULTADOS

Los datos individuales recogidos sobre la edad, sexo, pie operado y acortamiento del segundo metatarsiano en los pies de 30 pacientes de la clínica podológica después de una osteotomía distal mínimamente invasiva se muestran en la Tabla V.

	Age	Sex	Foot	Short
1	63	F	L	2.70
2	69	M	L	2.40
3	34	F	L	2.80
4	63	F	R	3.11
5	63	F	L	3.09
6	67	F	R	2.10
7	64	F	R	2.10
8	66	F	R	2.10
9	63	F	L	2.20
10	70	M	R	3.00
11	67	F	L	2.20
12	68	F	L	2.84
13	58	F	L	3.45
14	70	F	R	2.07
15	59	F	L	2.23
16	56	F	R	4.38
17	67	F	L	3.20
18	67	F	L	3.00
19	60	F	R	2.60
20	39	M	R	3.07
21	39	M	L	3.11
22	87	F	R	3.65
23	70	F	R	3.55
24	56	M	L	3.77
25	65	F	L	2.02
26	44	F	L	1.96
27	60	F	R	2.20
28	39	F	L	2.11
29	35	F	L	3.00
30	39	M	L	2.87

Tabla V: Datos recogidos sobre la edad, sexo, pie derecho o izquierdo y acortamiento posterior a intervención.

Acortamiento medio del segundo metatarsiano tras osteotomía intracapsular mediante cirugía mínimamente invasiva.

El acortamiento medio del 2º metatarsiano tras la osteotomía intracapsular mediante cirugía MIS FUE de 2,76 mm, con una desviación típica de 0,62 mm. Si nos centramos en el 50 % de los datos centrales de la muestra, se observa un acortamiento que varía entre 2,20 mm y 3,10 mm; es decir, hay un recorrido intercuartílico de 0,90 mm. El coeficiente de variación indica que el porcentaje de variación de la muestra respecto de su media es del 22 %. Además, se observa que el menor acortamiento sufrido por un paciente tras la cirugía es de 1,96 mm mientras que el mayor es de 4,38 mm (Tabla VI)

	mean	sd	IQR	cv	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Shortening	2.76	0.62	0.90	0.22	1.96	2.20	2.82	3.10	4.38

Tabla VI: Acortamiento medio del segundo metatarsiano tras osteotomía intracapsular mediante cirugía mínimamente invasiva.

En la mayoría de los pacientes el acortamiento varió entre 2 y 3,2 milímetros, destacando dos grupos, los que se encuentran entre 2 y 2,2 milímetros y los que varían entre 2,8 y 3,2 milímetros respectivamente (Fig. 46A). En el diagrama de cajas se observa que no existe ningún dato atípico y que los datos están ligeramente más dispersos cuanto mayor es el acortamiento (Figura 46B).

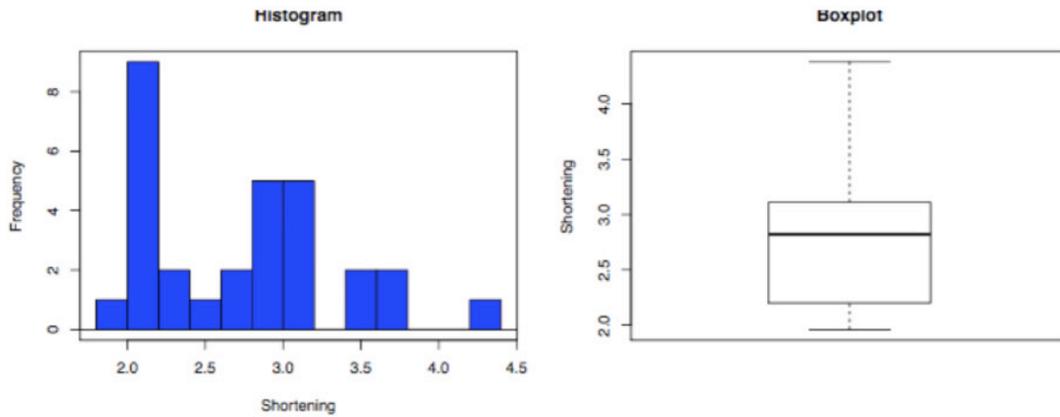


Figura 46: Histograma (A) y diagrama de cajas (B) que muestran la dispersión de los datos y los posibles datos atípicos en el acortamiento del segundo metatarsiano.

Estudio del acortamiento del segundo metatarsiano en relación con el sexo del paciente.

El acortamiento medio de este metatarsiano en las mujeres fue de 2,69 mm, mientras que en los hombres fue de 3,04 mm (Tabla VII). La amplitud intercuartílica es mucho mayor en las mujeres (0,99 mm) que en los varones (0,20 mm). También se observa que la desviación típica en el caso femenino es mayor que en el masculino (0,65 mm vs 0,44 mm), sucediendo lo mismo con el coeficiente de variación (0,24 vs 0,15). Estos datos indican que la dispersión del acortamiento es mayor en las mujeres que en los varones. No obstante, el número de pacientes varones es muy bajo, por lo que es difícil sacar conclusiones válidas en este sentido.

	mean	sd	IQR	cv	0%	25%	50%	75%	100%
Female Shortening	2.69	0.65	0.99	0.24	1.96	2.11	2.65	3.09	4.38
Male Shortening	3.04	0.44	0.20	0.15	2.40	2.90	3.04	3.10	3.77

Tabla VII: Acortamiento del segundo metatarsiano relacionado con el sexo del paciente.

La dispersión del acortamiento de los pacientes femeninos también se observa en el histograma (Fig. 47A), situándose entre 1,8 y 3,7 milímetros, mientras que en los varones se

distribuye en torno a los 3 mm. Los diagramas de cajas (Fig. 47B) muestran que hay varios datos atípicos en el caso de los varones, aunque estos datos están muy probablemente ligados al hecho de que hay pocas observaciones.

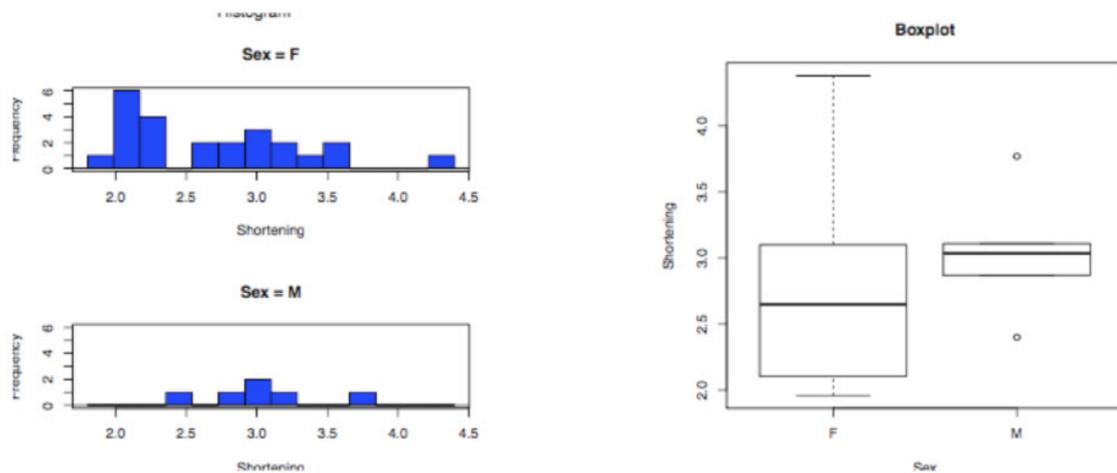


Figura 47: Histograma (A) y diagrama de cajas (B) que muestran la dispersión de los datos y los posibles datos atípicos en el acortamiento del segundo metatarsiano dependiendo del sexo del paciente (F: femenino; M: masculino).

Estudio del acortamiento del segundo metatarsiano en relación con el pie operado.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el 60% de los pacientes han operado el pie izquierdo y el 40% el derecho. El acortamiento medio del segundo metatarsiano en los pacientes que han operado el pie izquierdo fue de 2,72 mm, mientras que en los que han operado el pie derecho fue de 2,83mm (Tabla VIII). La desviación típica muestra que la dispersión es mayor en el caso de los pacientes operados del pie derecho (0,76 mm vs 0,52 mm). El rango intercuartílico también es mayor en los pacientes que han operado dicho pie. Estos datos, junto con el mayor valor del coeficiente de variación en los pacientes que han operado el pie derecho, indican que el grado de acortamiento está más disperso entre los pacientes que han operado dicho pie (Tabla VIII).

	mean	sd	IQR	cv	0%	25%	50%	75%	100%
Left Foot Shortening	2.72	0.52	0.86	0.19	1.96	2.21	2.82	3.07	3.77
Right Foot Shortening	2.83	0.76	1.12	0.27	2.07	2.10	2.80	3.22	4.38

Tabla VIII: Acortamiento del segundo metatarsiano relacionado con el lado del pie intervenido.

En los histogramas (Fig. 48A) se confirma que la dispersión es mayor en los pacientes que han operado el pie derecho. Además, en el diagrama de cajas (Fig. 48B) se observa que el tamaño de la caja es menor en el caso de los pacientes que han operado el pie izquierdo, lo que significa que el 50 % de los datos centrales está menos disperso en dicho caso.

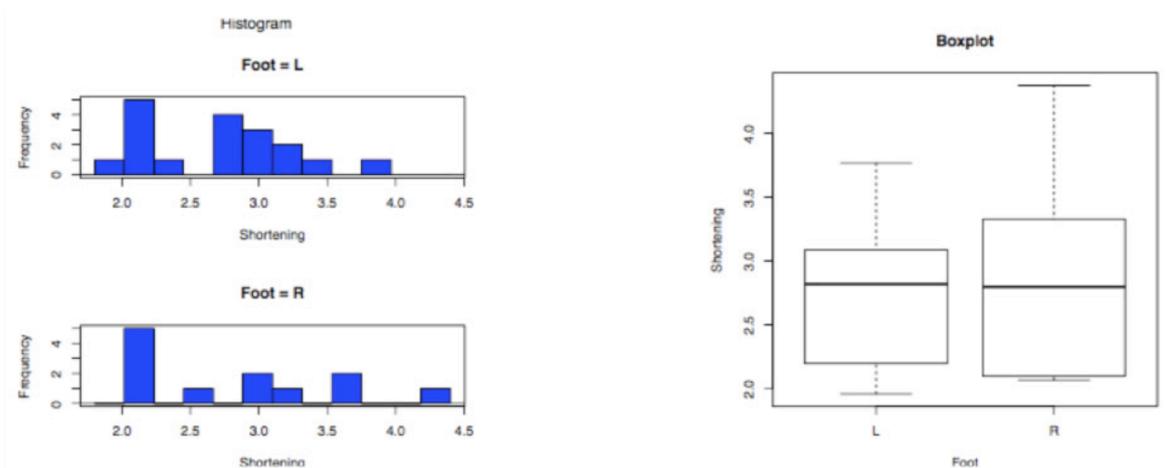


Figura 48: Histograma (A) y diagrama de cajas (A) que muestran la dispersión de los datos y los posibles datos atípicos en el acortamiento del segundo metatarsiano dependiendo del lado intervenido en el paciente (F: femenino; M: masculino).

Estudio de la relación entre la edad y el acortamiento del segundo metatarsiano

Como se puede observar en el diagrama de puntos (Fig. 49), no parece existir ningún tipo de tendencia clara que pueda relacionar el acortamiento que se sufre tras realizar la operación con la edad que tienen los pacientes cuando se someten a la misma (Fig. 49).

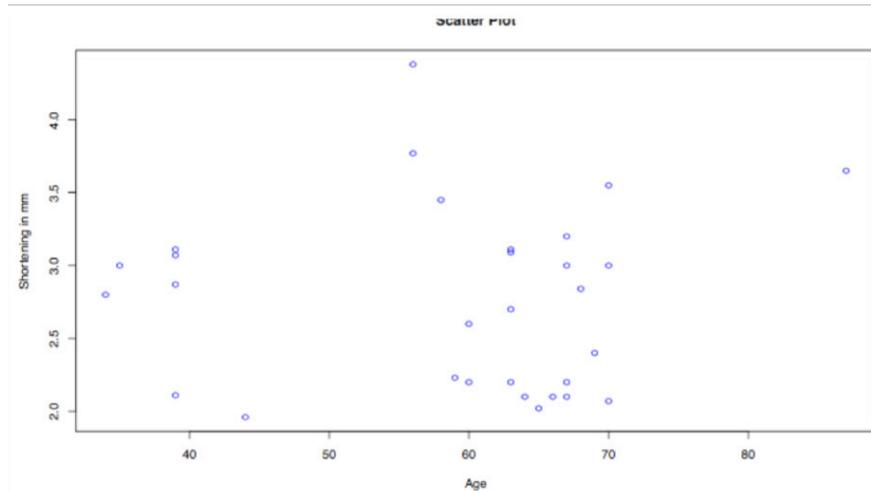


Figura 49: Diagrama de puntos que intenta relacionar el acortamiento del 2º metatarsiano con la edad del paciente.

Para comprobar esto numéricamente se realizó un test de correlación entre estas variables, observándose que la correlación entre dichas variables es de 0,01. Este valor indica que la relación entre las variables edad y acortamiento es prácticamente nula, es decir, que no existe influencia de la edad en el acortamiento y viceversa. (Tabla IX).

	Age	Short
Age	1.00	0.01
Short	0.01	1.00

Tabla IX: Test de correlación entre las variables edad y acortamiento.

Análisis de las intervenciones realizadas junto con la osteotomía del segundo metatarsiano

Respecto a los metatarsianos y dedos que se han operado adicionalmente en el mismo acto quirúrgico en el que se operaba el segundo metatarsiano, se observó que en la mayoría de los casos hubo que operar un Hallux Valgus (Tabla X).

	Hallux	Dedo2	Dedo3	Dedo4	Dedo5	Meta3	Meta4	Meta5
1	No: 4	No: 1	No: 6	No:10	No:25	No:13	No:20	No:24
2	Si:26	Si:29	Si:24	Si:20	Si: 5	Si:17	Si:10	Si: 6

Tabla X: Representación de los metatarsianos y dedos que fueron intervenidos durante el mismo acto quirúrgico objeto del presente estudio. No: n° de dedos/metatarsianos que no necesitaron intervención; Sí: n° de dedos/metatarsianos que la necesitaron.

Los metatarsianos 3°, 4° y 5° tuvieron que ser operados en varios casos (Fig. 50), siendo el n° de estos decreciente del tercer al quinto metatarsiano (Tabla X).

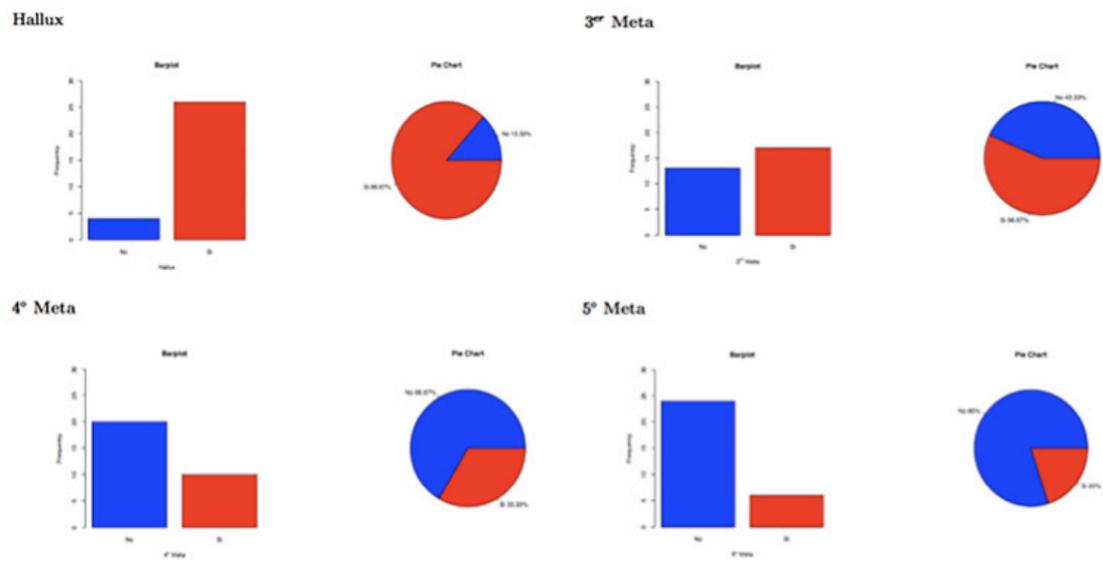


Figura 50: Demostración grafica de los metatarsianos que se operaron junto al segundo metatarsiano para dar solución a los problemas que presentaban los pacientes. Rojo: porcentaje operado; Azul: porcentaje no operado.

Finalmente, los dedos del 2° al 5° también tuvieron que ser operados, disminuyendo la frecuencia del dedo 2°, donde se tuvo que hacer intervención quirúrgica en 29 de 30 casos, al 5°, donde sólo la hubo que hacer en 6 casos (Fig. 51).

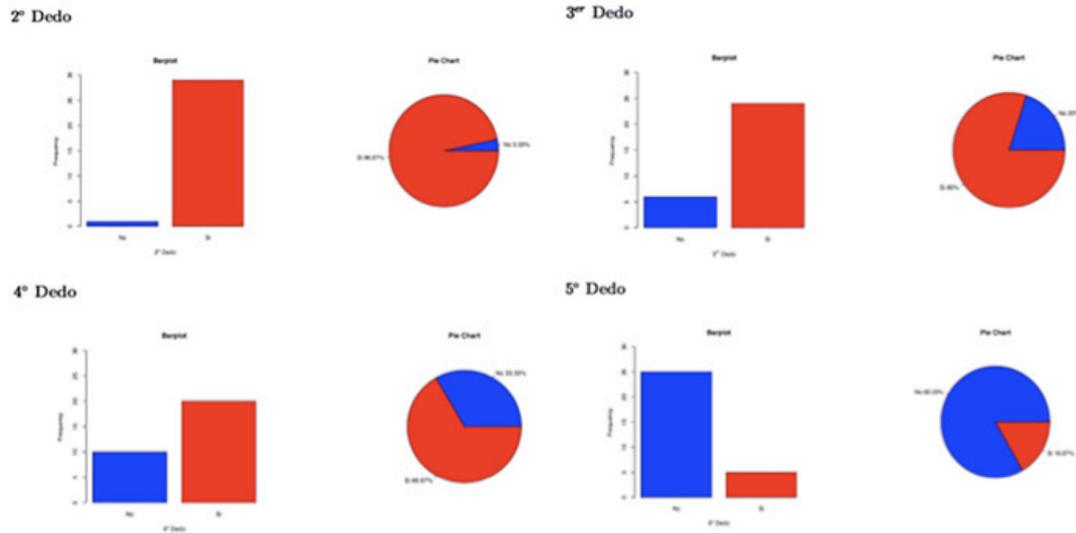


Figura 51: Demostración grafica de los dedos intervenidos junto al segundo metatarsiano para dar solución a los problemas que presentaban los pacientes. Rojo: porcentaje operado; Azul: porcentaje no operado.

A continuación se trató de establecer alguna relación entre el hecho de que se tenga que operar un dedo cuando se opera su correspondiente metatarsiano. Para ello se realizó un test de independencia Chi-cuadrado.

Relación entre la necesidad de cirugía en el 3^{er} dedo y en el 3^{er} metatarsiano

El análisis Chi-cuadrado del nº de terceros dedos que se tuvieron que intervenir cuando se intervinieron los terceros metatarsianos (Tabla XI) nos mostró que no existía ninguna relación entre estas dos variables, dado que el valor de p resultó mayor de 0.05 (Tabla XII).

Dedo 3 ↓ \ Meta 3 →	No	Si	Total
No	10.00	10.00	20.00
Si	33.30	46.70	80.00
Total	43.30	56.70	100.00

Tabla XI: Correlación entre la necesidad de intervención del 3^{er} dedo y del 3^{er} metatarsiano.

```

Pearson's Chi-squared test

data: .Table
X-squared = 0.13575, df = 1, p-value = 0.7125

```

Tabla XII: Test de independencia Chi-cuadrado para tercer dedo / tercer metatarsiano

Relación entre la necesidad de cirugía en el 4º dedo y en el 4º metatarsiano

La tabla XIII nos muestra los 4^{os} dedos y los 4^{os} metatarsianos que se tuvieron que intervenir.

Dedo 4 ↓ \ Meta 4 →	No	Si	Total
No	30.00	3.33	33.33
Si	36.67	30.00	66.67
Total	66.67	33.33	100.00

Tabla XIII: Correlación entre la necesidad de intervención del 4º dedo y del 4º metatarsiano.

En el caso del estudio de la relación entre la intervención del 4º dedo cuando se operó el 4º metatarsiano el valor de p es muy cercano a 0.05, por lo que es posible que sí haya una relación (Tabla XIV).

```

Pearson's Chi-squared test

data: .Table
X-squared = 3.675, df = 1, p-value = 0.05523

```

Tabla XIV: Test de independencia Chi-cuadrado para 4º dedo / 4º metatarsiano.

Relación entre la necesidad de cirugía en el 5º dedo y en el 5º metatarsiano

La tabla XV nos muestra los 5^{os} dedos y los 5^{os} metatarsianos que se tuvieron que intervenir.

Dedo 5 ↓ \ Meta 5 →	No	Si	Total
No	70.00	13.33	83.33
Si	10.00	6.67	16.67
Total	80.00	20.00	100.00

Tabla XV: Correlación entre la necesidad de intervención del 5º dedo y del 5º metatarsiano.

Dado el valor de p obtenido con el test del Chi-cuadrado (>0.05), no hay evidencias de relación estadística entre ambas variables.

Pearson's Chi-squared test	
data:	.Table
X-squared =	1.5, df = 1, p-value = 0.2207

Tabla XVI: Test de independencia Chi-cuadrado para el 5º dedo / 5º metatarsiano.

Podemos concluir, que con los datos de los que disponemos, no parece existir ninguna relación entre la operación de cada uno de los dedos con su correspondiente metatarsiano, salvo en el 4º dedo.

Estudio del acortamiento del segundo metatarsiano en pies cadavéricos.

Los datos recogidos de las dos mediciones realizadas se muestran en la Tabla XVII.

	Foot	Short1	Short2
1	R	2.39	0.99
2	R	1.60	1.45
3	R	1.56	1.56
4	I	1.57	2.03
5	I	2.36	2.36
6	I	2.01	2.02
7	I	2.40	2.48
8	R	2.13	1.80
9	R	2.43	1.98
10	I	2.50	2.46

Tabla XVII: Acortamientos y lado del pie intervenido en las piezas anatómicas.

El acortamiento medio del segundo metatarsiano en piezas cadavéricas tras osteotomía intracapsular mínimamente invasiva fue de 2,10 mm con una desviación típica de 0,39 mm (Tabla XVIII). El acortamiento mínimo registrado fue de 1,56 mm, mientras que el máximo fue de 2,50 mm. El recorrido intercuartílico fue de 0,89 mm. Con estos datos podemos concluir que la dispersión es bastante grande.

	mean	sd	IQR	cv	0%	25%	50%	75%	100%
Shortening1	2.10	0.39	0.69	0.18	1.56	1.70	2.25	2.40	2.50

Tabla XVIII: Acortamiento medio del segundo metatarsiano tras osteotomía intracapsular mediante cirugía de mínima incisión en las piezas anatómicas.

Como se puede observar tanto en el histograma (Fig. 52A) como en el diagrama de cajas (Fig. 52B), la dispersión de los datos es considerable. No obstante, dado el número de observaciones (10) es posible que el tamaño de muestra sea pequeño para tener conclusiones fiables.

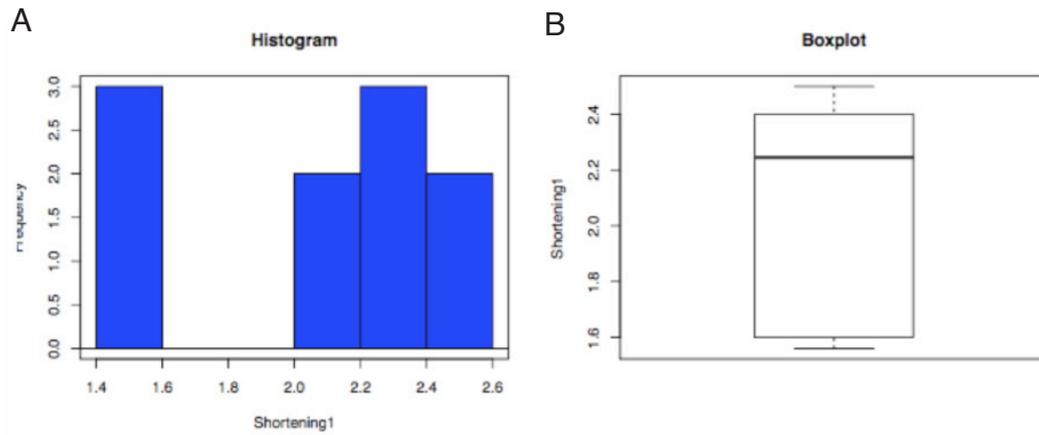


Figura 52: Histograma (A) y diagrama de cajas (B) que muestran la dispersión de los datos y los posibles datos atípicos en el acortamiento del segundo metatarsiano en pieza anatómica.

Aunque el número de observaciones no permita sacar conclusiones definitivas, se ha realizado una comparación en la primera de las mediciones con respecto al pie que ha sido operado (Tabla XIX). La media de la dicha medida para los pies izquierdos fue 2,17 mm, mientras que para los pies derechos fue 2,02 mm. Como indica la desviación estándar, la dispersión fue mayor también en el caso de los pies derechos que en el de los izquierdos.

	mean	sd	IQR	cv	0%	25%	50%	75%	100%
Shortening1 Left Foot	2.17	0.38	0.39	0.18	1.57	2.01	2.36	2.40	2.50
Shortening1 Right Foot	2.02	0.42	0.79	0.21	1.56	1.60	2.13	2.39	2.43

Tabla XIX: Acortamiento medio del segundo metatarsiano en piezas anatómicas en relación con el lado del pie intervenido.

Estudio de satisfacción del paciente (escala AOFAS).

El índice de satisfacción promedio del paciente evaluado mediante la escala AOFAS previo a la intervención programada fue de 50.3 puntos mientras que el dato postquirúrgico obtenido fue de 95.26 puntos (Tabla XX).

	ESCALA AOFAS
<u>Dolor</u>	40 puntos
Ninguno	40
Leve, ocasional	30
Moderado, diario	20
Intense, casi siempre presente	0
<u>Función</u>	45 puntos
1. - Limitación de actividad, necesidades de ayuda	
a. Sin limitaciones	10
b. Sin limitaciones para las actividades diarias, limitaciones para actividades de ocio, sin <u>ayud</u>	7
c. Limitación para las actividades diarias y de ocio, uso de bastón	4
d. Limitación severa para las actividades de la vida diaria y de ocio, uso de <u>órtesis</u> (Walker), muletas, silla de ruedas	0
2. - Hiperqueratosis relacionados con MTF-IF	
a. Sin hiperqueratosis o asintomáticos	5
b. Hiperqueratosis, sintomático	0
3. - Requerimiento de calzado	
a. De moda, convencionales, sin modificaciones	10
b. Cómodo, con modificaciones	5
c. Zapato a medida o modificados	0
4. - Movilidad MTF (flexión dorsal-plantar)	
a. Normal o ligera limitación (>75o)	10
b. Limitación moderada (30-75o)	5
c. Limitación severa (<30o)	0
5. - Movilidad IF (flexión plantar)	
a. Sin limitación	5
b. Limitación severa (<10o)	0
6. - Estabilidad MTF-IF (todas direcciones)	
a. Estable	5
b. Inestable	0
<u>Alineación</u>	15 puntos
Buena, pie plantígrado, <u>mediopié</u> bien alineado	15
Regular, pie plantígrado, algún grado de desalineación, sin síntomas	8
Mala, pie no plantígrado, desalineación severa, sintomático	0
TOTAL	100

Tabla XX: Resultados obtenidos en la escala AOFAS.

Es destacable la usencia de alteraciones en la estabilidad de la articulación metatarsofalángica (MTP), así como la falta de transferencia de cargas que puedan generar una nueva patología. También se observa que ningún paciente del estudio mostró mala unión, unión retrasada o no unión.

Estudio de la posible afectación de la placa plantar en piezas anatómicas.

Otro de los objetivos de este trabajo fue estudiar la posible afectación de la placa plantar durante la osteotomía. Por desconocimiento de las reglas básicas de los procedimientos de cirugía MIS pueden surgir dudas sobre lo que puede ocurrirle a esta estructura durante una cirugía para acortar y elevar el metatarsiano afectado. El estudio en 10 pies cadavéricos, 5 derechos y 5 izquierdos, confirma que la placa plantar se encuentra preservada en el 100% de los casos en las piezas anatómicas estudiadas en la Universidad de Oviedo (Figuras 53, 54).

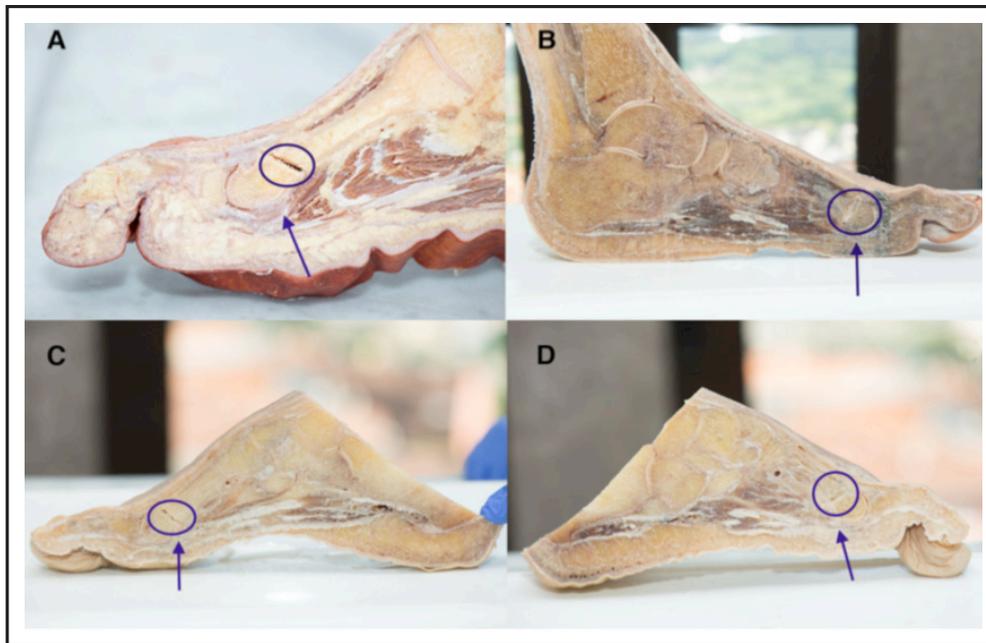


Figura 53: Ejemplos de osteotomías donde se comprueba la preservación completa de la placa plantar. Círculos: lugar de la osteotomía; Flechas: placa plantar preservada.

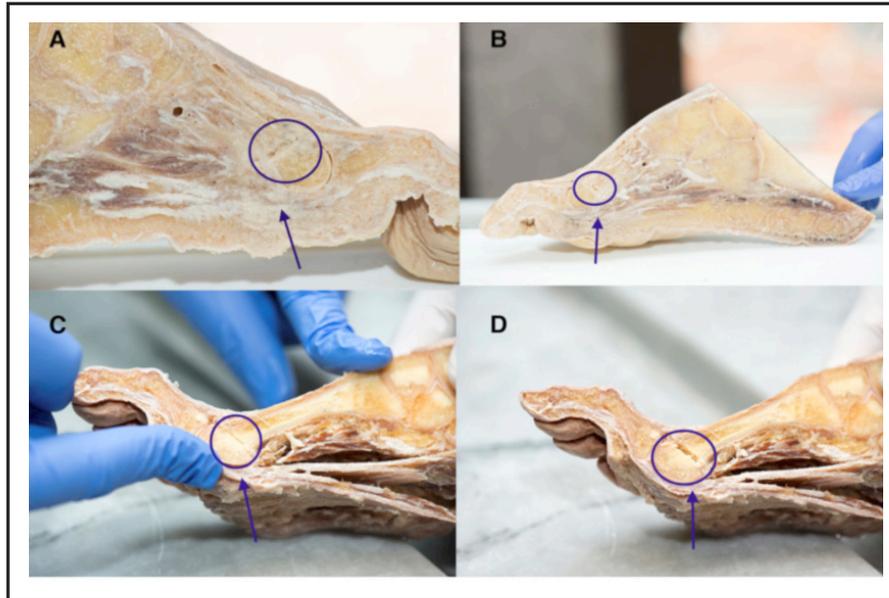


Figura 54: Ejemplos de osteotomías donde se comprueba la preservación completa de la placa plantar. Círculos: lugar de la osteotomía; Flechas: placa plantar preservada.

V. DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

En este trabajo se estudió el acortamiento medio del segundo metatarsiano mediante osteotomía distal intracapsular mínimamente invasiva, habiendo observado que dicho acortamiento fue de 2,76 mm. Dicho acortamiento fue menor en el caso femenino y ligeramente menor en el pie izquierdo que en el derecho, no habiéndose observado diferencias con la edad de los pacientes. La osteotomía del 2º metatarsiano se acompañó de cirugía en los metatarsianos 3 a 5 disminuyendo de forma progresiva del 3º al 5º, así como del primer, segundo, tercer y cuarto dedos en la mayoría de los casos. En el caso del 4º dedo, hubo relación además entre la necesidad de operar el metatarsiano y de operar el dedo correspondiente. El índice de mejoría y satisfacción del paciente, evaluado mediante la escala AOFAS, dio una puntuación excelente, de 95,26 puntos, no observándose rigidez de la articulación metatarsofalángica ni casos con transferencia de cargas, complicaciones más frecuentes con otras técnicas quirúrgicas. Finalmente, en los estudios en piezas anatómicas se observó un acortamiento medio de 2,10 mm. y no se observó daño de partes blandas, incluida la placa plantar.

Dentro de la bibliografía existente hay muchas opciones para dar solución a las metatarsalgias de los radios centrales. Entre estas, la osteotomía de Weil o sus derivadas muestran buenos resultados, aunque los acortamientos publicados son mayores que los obtenidos en nuestro estudio. Vandeputte et al. (2000) reportan un acortamiento medio 5.9 mm y en un 75% de los pacientes, la callosidad que acompaña a la patología desaparece y no hay casos de falta de unión o retardos en la consolidación en su serie. Hofstaetter, en 2005, obtiene un acortamiento medio de 4,3 mm en su estudio. La principal queja de los pacientes fue la aparición de dedos flotantes, un 68% de los casos de la serie. Es llamativo que Maceira, en 1998, en su serie de 130 casos muestre un acortamiento medio de 6,2 mm donde se obtienen acortamientos mínimos de 1 mm y máximo de 14 mm. Podskubka, en 2002, obtiene un acortamiento medio de 5.6 mm en un estudio, presentando complicaciones como una necrosis avascular de la cabeza del segundo metatarsiano en una muestra que solo contaba con 12 pacientes. Hernandez-Martinez, en 2017, a pesar de tener también una serie muy pequeña en su estudio (12 sujetos), concluye que cuando el acortamiento del metatarsiano es mayor de 4 mm se observan más complicaciones postquirúrgicas.

En la mayoría de los trabajos consultados en los que la técnica quirúrgica utilizada es la osteotomía tipo Weil se concluye que una complicación habitual son los dedos flotantes (Migues et al., 2004). Estos autores obtienen un acortamiento de 6,28 mm. En 2004, García Rey, sin especificar que el acortamiento es de segundo metatarsiano, ya que en su estudio hace mención a osteotomías de 1º a 4º metatarsiano, obtiene un acortamiento medio de 5,46 mm e informa de que la movilidad articular de la articulación metatarsofalángica se encuentra habitualmente reducida. Bevernage, en 2008, obtiene un acortamiento de 5,7 mm., haciendo especial énfasis en el planteamiento preoperatorio (Formula de Maestro) para conseguir un buen resultado postquirúrgico.

Teniendo en cuenta nuestros resultados, con un acortamiento del metatarsiano considerablemente menor del publicado mediante la osteotomía de Weil (cirugía abierta), hay que plantearse si es necesario un acortamiento tan amplio de los metatarsianos afectados para conseguir buenos resultados en el paciente. De hecho, Hernandez-Martinez, en su estudio de 2017, afirma que acortamientos mayores de 4 mm conllevan más complicaciones.

Como se ha visto hay gran cantidad de bibliografía que estudia la osteotomía de Weil, debido a su amplio uso por parte de los cirujanos del pie. A medida que pasan los años nos encontramos con más bibliografía sobre osteotomías mediante cirugía de mínima incisión, pero aun así no encontramos muchos trabajos que dentro de sus series de pacientes hagan referencia al acortamiento del segundo metatarsiano.

Besse, en 2017, obtiene un acortamiento de unos 4 mm realizando DMMO (osteotomías distales extracapsulares) y comenta que el papel de la cirugía mínimamente invasiva o percutánea debe de ser evaluado para poder valorar sus resultados. Otros autores, que en sus series han dado solución a metatarsalgias comparando la cirugía mínimamente invasiva y la osteotomía de Weil, obtienen acortamientos de 4,61 mm en el caso de la primera técnica y 5.04 mm en la segunda (Henry et al., 2011). Debido a estos resultados y a sus escalas AOFAS, con resultados pobres, refieren que la osteotomía distal mínimamente invasiva no muestran ninguna ventaja en relación al rango de

movimiento articular en comparación con la osteotomía de Weil. Ya se ha comentado anteriormente en el caso de la osteotomía de Weil que acortamientos mayores de 4 mm podían conllevar más complicaciones postquirúrgicas (Hernandez-Martinez et al., 2017). Apoyando esta afirmación, aparecen autores en la bibliografía sobre osteotomías distales extracapsulares mínimamente invasivas que refieren que para que haya una correcta osificación de la osteotomía el acortamiento no debe de ser mayor de 3-4 mm (Malhutra, 2019). De hecho, en 2009, Salinas y cols. obtienen un acortamiento de 2,8 mm, siendo este dato muy similar a los resultados de nuestro trabajo y refiere que su acortamiento es menor que el de otras series estudiadas, pero que esa disminución del acortamiento se compensa con la elevación de la cabeza metatarsal, lo que conlleva una descarga del metatarsiano afectado.

La bibliografía con datos tras osteotomías distales intracapsulares por cirugía mínimamente invasiva es realmente escasa (Naranjo, 2015; Leffenêtre, 2019). Sin embargo, Nieto, en 2017, en el capítulo “Osteotomías elevadoras y acortadoras” del libro “Cirugía mínimamente invasiva del pie”, habla de un acortamiento de unos 2 mm para el metatarsiano tratado y de la existencia de osteotomías intracapsulares en 2004.

Las grandes diferencias en el acortamiento conseguido entre la cirugía abierta (Weil – intracapsular) y la cirugía de mínima incisión, extra e intracapsular, sugieren que estas podrían deberse a una práctica más agresiva de la osteotomía en la cirugía abierta. Las diferencias entre los estudios de osteotomía distal extracapsular por MIS y los pocos que existen, junto con el nuestro, sobre la osteotomía distal intracapsular por MIS indican que la localización de la osteotomía (extra versus intracapsular) también puede conllevar diferencias en el acortamiento del metatarsiano observado. El mantenimiento intacto de las partes blandas en la cirugía MIS también podría colaborar a un menor acortamiento en relación con la cirugía abierta (Weil), impidiendo que se separen los dos extremos óseos durante el acto quirúrgico. En el caso de la osteotomía mediante cirugía MIS intracapsular, el mantenimiento intacto de la cápsula articular, además del resto de las partes blandas, podría acentuar este hecho.

Siempre se han relacionado los problemas de metatarsalgias con el sexo femenino. Este estudio está en sintonía con el resto de series consultadas, ya que en nuestra serie tenemos 24 pacientes femeninos por 6 pacientes masculinos.

Dentro de las más recientes Yeo y cols en 2016 en una serie de 33 pacientes, 26 fueron pacientes femeninos por 7 pacientes masculinos; mientras que Pérez Muñoz en 2012 reportó 76 casos de los cuales 68 fueron pacientes femeninos por solamente 8 masculinos.

A pesar de que se han estudiado los acortamientos del segundo metatarsiano tras la osteotomía intracapsular mediante cirugía de mínima incisión dependiendo del sexo, la edad del paciente o el pie operado no hay diferencias significativas del acortamiento en relación a estas variables. No se han encontrado otras series que estudien el acortamiento del segundo metatarsiano dependiendo de estas variables.

Aunque este estudio se centra en el acortamiento medio del segundo metatarsiano mediante cirugía mínimamente invasiva, no se pueden obviar las necesidades de los pacientes, tratando de evitar generar nuevos problemas derivados de la intervención a la que fueron sometidos.

Nuestra serie está compuesta por 30 pacientes, de los cuales a un 86,6% además de la intervención del segundo metatarsiano, se les ha intervenido de Hallux Valgus mediante cirugía de mínima incisión, un 56,6% de los pacientes fueron intervenidos del 3^{er} metatarsiano además del segundo metatarsiano; un 33,33% del 4^o metatarsiano además del segundo y del 3^{er} metatarsiano y un 20% de los pacientes del 5^o metatarsiano aparte del 2^o, 3^{er} y 4^o metatarsianos.

Pascual Huerta y cols., en 2016, en una serie de 25 casos en 21 pacientes, siempre al menos siendo intervenido un metatarsiano menor; se realizaron intervenciones quirúrgicas de Hallux al 92% de los pacientes; 16% de osteotomías del 2^o metatarsiano; 16% de osteotomías de los metatarsianos 2^o y 3^o; 4% de osteotomías de los metatarsianos 3^o y 4^o; y 40% de osteotomías de los metatarsianos 2^o, 3^o, 4^o y 5^o.

Fraile y cols., en 2016, buscando evitar transferencias de cargas e intentando restablecer la fórmula metatarsal, presentaron una serie de 91 pacientes que dividieron en 3 grupos. En el grupo 1 realizaron osteotomías de los metatarsianos 2º y 3º; fueron el 37,3% de los casos. En el grupo 2, osteotomías de los metatarsianos 2º,3º y 4º, fueron el 51,6% de los casos. Y en el grupo 3, osteotomías de los metatarsianos 2º,3º,4º y 5º; fueron el 10,9% de los casos. Ochenta pacientes de los 91 (87,9%) también fueron intervenidos de 1º radio acompañando a los 3 grupos estudiados.

Henry y cols en 2011 en una serie de 77 casos, crearon dos grupos; el grupo 1 compuesto de 39 casos tratados mediante DMMO y el grupo 2 compuesto de 38 casos tratados mediante osteotomía tipo Weil. En el grupo 1 se realizaron osteotomías mínimamente invasivas en 2º,3º,4º y 5º metatarsianos acompañadas de técnica Scarf para 1º radio en 24 pacientes (61,5%), fusión de 1º metatarsal-falángica en 9 pacientes (23%) y en 6 pacientes no se realizó ningún procedimiento en 1º radio (15,4%). En el grupo 2 se realizaron osteotomías tipo Weil en 2º,3º,4º y 5º metatarsianos acompañadas de técnica Scarf para 1º radio en 22 pacientes (57,8%), fusión de 1º metatarsal-falángica en 10 pacientes (26,3%) y 6 pacientes a los cuales no se les realizó ningún procedimiento (15,7%).

Miranda y cols en 2015 en un trabajo de 44 pacientes, intervinieron el primer radio en el 59,1% de los pacientes del Grupo 1 (grupo en el cual se realizaron osteotomías DMMO, 22 pacientes); mientras que en el Grupo 2 (grupo en el que se realizaron osteotomías tipo Weil, 22 pacientes) fueron intervenidos del 1º radio el 77,3% (17 casos).

Tanto los datos de estos autores como los de nuestro estudio, podrían acercarse a la idea de buscar esa fórmula metatarsal ideal para evitar problemas con el paso del tiempo o nuevas recidivas pero, como exponen Fraile et al., (2016), el objetivo de la cirugía no debe de ser restablecer una fórmula ideal, sino el evitar transferencias de cargas. Este autor se basa para hacer esta afirmación en el hecho de que no obtiene peores resultados por intervenir metatarsianos asintomáticos. Miranda y cols., en 2015, llegaron a la conclusión de que después de las intervenciones realizadas tanto en su estudio, como en las series de otros autores (Pascual Huerta et al., 2016) (Henry et al., 2011), es

habitual que la parábola metatarsal sea anormal, aunque se realice una cirugía abierta, que en teoría permite elegir el acortamiento que se necesita. Estos datos indican que no es condición indispensable para un buen resultado clínico la consecución de la fórmula armónica descrita por Maestro, sino que esa es una aproximación o punto de partida, pero que hay que considerar la elevación de la cabeza que acompaña al acortamiento como parte importante de la cirugía para la consecución de buenos resultados.

La escala AOFAS (American Orthopedic Foot and Ankle Society) valora una serie de parámetros, incluida la ausencia de varias complicaciones, como la rigidez articular o la transferencia de cargas, que reflejan la mejoría y la escala de satisfacción con el tratamiento recibido.

La puntuación obtenida en esta escala en el presente trabajo es de 95,76 puntos, un dato importante que refuerza la apuesta por esta técnica quirúrgica para el tratamiento de las metatarsalgias debido a la ausencia de complicaciones importantes.

En algunas publicaciones referentes a la osteotomía de Weil, es llamativo el número de complicaciones que reportan los autores de los estudios, habiendo en algunos casos falta de congruencia con las buenas puntuaciones obtenidas en las escalas de satisfacción que pasan a sus pacientes.

En el 2008 Bevernage, obtuvo una puntuación de 82,2 puntos en su estudio, un gran dato si observamos que la AOFAS prequirúrgica era de 36,2 puntos, este autor llega a la conclusión de que es muy complicado obtener una fórmula metatarsal ideal y hace especial hincapié en la transferencia de cargas. Este mismo autor (Bevernage et al., 2009) obtiene un año más tarde una puntuación de 93,5.

Como se comentaba anteriormente, llama la atención que debido a la cantidad de complicaciones que publican los autores, se obtengan AOFAS tan altos, Pérez Muñoz y cols., en 2012, obtienen una puntuación de 90 con un 60,2% de rigidez moderada, 4,3% de reaparición de la metatarsalgia, un 7,5% de retardos de consolidación y un 4,3% de dedos flotantes. Según los autores obtuvieron resultados satisfactorios en un 80% de los casos por un 20% de resultados no satisfactorios. No

solo la osteotomía tipo Weil puede producir dedos flotantes. Miguez et al. (2004), en un 54% de los casos del estudio acompañaron la osteotomía tipo Weil de una artrodesis interfalángica proximal, conllevando una mayor aparición de dedos flotantes; aún así obtuvieron una puntuación de 81 en la escala AOFAS postquirúrgica.

Por su parte Vandeputte, en el año 2000, obtuvo unos resultados de 81 puntos en la escala AOFAS con una pérdida considerable del rango de movilidad de la articulación metatarsofalángica.

La principal queja de los pacientes en los estudios consultados no fue el dolor articular como sería de esperar, sino la flotación de los dedos, es decir, la rigidez y el no contacto de los dedos con el suelo. De hecho, Hofstaetter y cols., en 2005, en su estudio obtuvieron una puntuación de 83 en su escala AOFAS postquirúrgica y en su serie tuvieron que retirar la osteosíntesis debido a su localización plantar. Además de presencia de hiperqueratosis dolorosa en el 16% de los pacientes del estudio, la principal queja de estos, fue la falta de contacto de los dedos con el suelo.

Con el fin de conseguir la parábola metatarsal de Maestro (Maestro et al., 2003), en la mayoría de las series estudiadas se han intervenido metatarsianos asintomáticos. En ese sentido, Fraile y cols., en 2016, valoran la influencia del número de osteotomías realizadas con los resultados postoperatorios. En su serie, aun presentando un 22% de recidivas (existencia de hiperqueratosis plantar dolorosa) Fraile reporta unas AOFAS de 81,2; 78,7; 85,8. Los trabajos consultados en la bibliografía de cirugía de mínima incisión con localización extracapsular también dejan datos interesantes. El estudio realizado por Krenn y cols., en 2018, reporta un índice de satisfacción de 88,07, especificando que para su grupo de trabajo es una nueva técnica (DMMO), por lo que hacen especial hincapié en el correcto aprendizaje de la técnica para no tener complicaciones como la necrosis o la falta de unión derivadas de una práctica incorrecta.

Magnan et al. (2018) consigue resultados similares a los de nuestro estudio, con una media de la escala AOFAS del 92,8 y con un índice de satisfacción subjetivo por parte del paciente en la escala de Couhlim de excelente en el 88,6% de los pacientes.

Wong y cols., en 2013, obtienen una AOFAS postquirúrgica de 96,25 puntos, siendo llamativo que en el apartado de Material y Métodos describan la técnica utilizando anestesia general, así como torniquete. Esto llama mucho la atención, puesto que una de las ventajas descritas para esta práctica quirúrgica son el uso de una anestesia local acompañada de sedación y el uso de torniquetes innecesario y desaconsejado (De Prado et al., 2003).

Idusuyi y cols., en 1998, en una serie de 20 pacientes no obtuvo buenos resultados. De hecho no realiza escala AOFAS postquirúrgica, llegando a afirmar que la osteotomía distal puede ser exitosa, pero la mitad de sus pacientes continuaron con dolor y la mayoría de ellos tuvieron limitaciones en el uso normal del calzado. Para estos autores sus resultados generales fueron decepcionantes, y según su opinión, los pacientes a los que se les ofrece este procedimiento deben ser informados de sus limitaciones.

Dentro de las series que comparan ambos tratamientos (Weil versus DMMO) Henry y cols., en 2015, obtuvieron una AOFAS postquirúrgica de 86,5 puntos en los pacientes intervenidos mediante DMMO por 85,3 puntos en la AOFAS postquirúrgica mediante osteotomía tipo Weil. Los autores destacan que la recuperación postoperatoria se dilata más en el tiempo cuando se utilizan las DMMO que la osteotomía tipo Weil, encontrándose más edema con la cirugía de mínimamente invasiva que con la cirugía tradicional.

En el trabajo en que se comparan las DMMO con las osteotomías tipo Weil de Yeo y cols., en 2016, las DMMOs siguen obteniendo mejores AOFAS que las osteotomías tipo Weil: 88 puntos para las DMMO vs 86 para las osteotomías Weil. Sin embargo, estos autores también hablan de un edema mayor en las DMMO en comparación con el que sufren los pacientes con las osteotomía de Weil.

Los datos respecto a las AOFAS postquirúrgicas obtenidas por los distintos autores indican que, dadas las complicaciones que generan las osteotomías tipo Weil (Pascual Huerta et al., 2016) quizás no sea la técnica de elección más adecuada en la actualidad, al menos para todos los casos. Por otro lado, la formación del cirujano para la práctica de la cirugía mínimamente invasiva es fundamental

para unos buenos resultados (Krenn et al., 2018), por lo que habría de incidir en este punto para la toma de dicisiones. Finalmente, sería conveniente la realización de estudios amplios y colaborativos que confirmasen los resultados del presente estudio, ya que las osteotomías tipo DICMO podrían obtener unos mejores resultados en cuanto a mejoría del paciente de los que se reportan mediante DMMO con menos complicaciones de las publicadas tanto por la cirugía de Weil como por la DMMO.

Respecto a los resultados obtenidos sobre el acortamiento del segundo metatarsiano tras osteotomía intracapsular mediante cirugía de mínima incision en piezas anatomicas, este trabajo obtiene una acortamiento de 2,10 mm, no se han encontrado series que puedan ofrecer datos en piezas anatómicas en la que se haya realizado osteotomías de segundo metatarsiano mediante cirugía MIS y solamente se ha encontrado un trabajo que habla de osteotomías oblicuas, realizándolas con una dirección proximal a distal (PD) o de distal a proximal (DP) en las cuales gracias a un sistema de fijación se ha conseguido un acortamiento de 5,8 mm en (PD) y 4,4 mm (DP). Esos resultados favorecen la reducción de la presión plantar en el segundo metatarsiano pero generan un aumento de esta, en la cabeza del primer metatarsiano y en la cabeza del tercer metatarsiano (Trask et al., 2013).

En la serie de piezas anatómicas estudiadas se comprueba visualmente la no afectación de la placa plantar con este tipo de osteotomía distal intracapsular, no habiendo localizado otras series que estudien este dato.

VI. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1) El acortamiento metatarsiano obtenido con la osteotomía distal intracapsular mediante cirugía de mínima incisión (DICMO) es menor que el obtenido mediante otras técnicas quirúrgicas (cirugía abierta tipo Weil o osteotomía distal extracapsular mediante cirugía de mínima incisión –DMMO-).
- 2) No hay diferencias significativas del acortamiento en relación con el sexo, edad o pie operado.
- 3) Las complicaciones tras DICMO son escasas y poco relevantes, estando ausentes complicaciones importantes como la rigidez articular o la recidiva por transferencia de cargas.
- 4) La mejoría y satisfacción del paciente tras DICMO son excelentes.
- 5) La cirugía del 2º metatarsiano debe ir acompañada por la de otros metatarsianos o dedos, tanto para solucionar otras patologías existentes como para conseguir un apoyo armónico que evite la recidiva por sobrecarga de otros metatarsianos.
- 6) No existe lesión de la placa plantar tras DICMO.

VII. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREW E.F MD**, David M. Tainter MD, Samuel B. Adams MD, Karl M. Schweitzer Jr MD(2018). Conservative Management of Metatarsalgia and Lesser Toes. *Foot and Ankle Clinics*. 23(1):9-20.
- BARDELLI M**, Turelli L, Scoccianti G (2003). Definition and classification of metatarsalgia. *Foot and Ankle Surg.* (9): 79-85.
- BAROUK LS** (1996). Weil's metatarsal osteotomy in the treatment of metatarsalgia. *Orthopade* 25 (4):338-44
- BAROUK LS** (2003). Forefoot reconstruction. Editor: Springer, paris, 2003.
- BAUER T**, Laffenetre O, de Lavigne C (2009). Osteotomías Metatarsales. EMC- Técnicas Quirúrgicas- Ortopedia y Traumatología 1:1-14.
- BAUER T**, David Biau, Mariano de Prado, Stephen Isham (2009). Percutaneous Hallux Valgus Surgery: A Prospective Multicenter Study of 189 Cases 40(4): 505-514.
- BEECH I**, Rees S (2005). A retrospective review of the Weil metatarsal osteotomy for lesser metatarsal deformities: an intermediate follow-up analysis. *J Foot Ankle Surg.* 44 (5): 358-64.
- BESSE J.L** (2017). Metatarsalgia. *Othopaedics and Traumatology: Surgery and Research* 103(1): 29-39
- BERNAL JIMENEZ T**, Dominguez Maldonado G (2016). Plantar pressures of the most common feet pathologies. *European Journal of Podiatry* 2 (2): 57-68
- BEVERNAGE BD**, Leemrijse T (2008). Predictive value of radiographic measurements compared to clinical examination in the preoperative planning for a Weil osteotomy. *Foot and Ankle Int.* 29: 142-9.

- BEVERNAGE BD**, Leemrijse T (2010). the translating Weil osteotomy in the treatment of an overriding second toe: A report of 25 cases. *Foot and Ankle Surg.* 16(4): 153-158.
- BOTEZATU I**, Marinescu R, Laptoiu D (2015). Minimally invasive-percutaneous surgery- recent developments of the foot surgery techniques. *J Med and Life* 8:87–93.
- CAMPILLO MA** (2002). Un paciente con dolor en el metatarso. *Medicina integral* 40 (1): 1-36.
- COILLARD JY**, Laffenetre O, Cermolacce C (2011). Percutaneous treatment of static metatarsalgia with distal metatarsal mini-invasive osteotomy. In: *Minimally Invasive Surgery of the Foot and Ankle*. Pag 163-169. Eds: Maffulli N, Easley M. Springer , London.
- COUGHLIN MJ**, MD (1987). Lesser Toe Deformities. *Orthopedics* 10(1): 63-75
- COUGHLIN MJ**, Jones CP (2007). Hallux Valgus: demographics, etiology and radiographic assessment. *Foot and Ankle International* 28(7): 759-77.
- DAVIDSON MR** (1969). A simple method for correcting second, third, and fourth plantar metatarsal head pathology (especially intractable keratomas). *J Foot Surg.* 8(23): 6-13
- DAVIES MS**, Saxby TS (1999). Metatarsal neck osteotomy with rigid internal fixation for the treatment of lesser toe metatarsophalangeal joint pathology. *Foot Ankle Int.* 20: 630-5.
- DE PRADO M**, Cuevas- Mons M, Golanó P, Vaquero J (2016). Distal metatarsal minimal invasive osteotomy (DMMO) for the treatment of metatarsalgia. *Techniq Foot Ankle Surg.* 15(1): 12–8.
- DE PRADO M**, Ripoll PL, Golano P. *Cirugía percutánea del pie: Técnicas quirúrgicas*. Masson SA. 2003
- DILIGENT. J**, F. Diebold (2014). Metatarsalgias estáticas. *EMC- Podología* 16(1): 1-13
- DUFOUR M** (2006). Pie. En: *Biomecánica funcional*. Eds: Elsevier- Masson, Madrid.

- ESPINOSA N**, Maceira E, Myerson MS (2008). Current concept review: Metatarsalgia. *Foot and Ankle International* 29(8): 871-9.
- FERBEL T**, Jonathan B (2001). Lesser metatarsal osteotomies: a biomechanical approach to metatarsalgia. *Foot Ankle Clin.* 6 (3): 473-89.
- FINESTONE AS**, Tamir E, Ron G, Wiser I, Agar G (2018). Surgical offloading procedures for diabetic foot ulcers compared to best non-surgical treatment: a study protocol for a randomized controlled trial. *J Foot Ankle Res.* 11:6.
- FRAILE A**, Martinez R, Perez D, Cuenca M, Gamba C, Marí R, Flores A, Gines A (2016). influencia del numero de radios intervenidos en los resultados de la cirugía de la metatarsalgia. *Rev Pie y Tobillo* 30(1): 28-31.
- FULLER E.** (2000). The windlass mechanism of the foot. A mechanical model to explain pathology. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 90(1): 35-46.
- GALEOTE-RODRIGUEZ JE** (2004). Estudio clínico y radiológico del tratamiento de la metatarsalgia mediante osteotomía de Weil, aislada o asociada a otras técnicas quirúrgicas [tesis doctoral], Madrid, Universidad Complutense de Madrid.
- GARCIA-FERNANDEZ D**, Larraínzar-Garijo R, Llanos-Alcázar L (2006). Estudio comparativo de la osteotomía de Weil abierta: ¿es necesaria siempre la fijación? *Rev Ortop Traumatol.* 50: 292-7.
- GARCIA- REY E**, Cano J, Guerra P; Sanz-Hospital FJ (2004). The Weil osteotomy for median metatarsalgia. A short –therm study. *Foot and Ankle Surg.*10: 177-80.
- GASTON SLULLITEL MD**, Valeria Lopez MD, Juan Pablo Calvi MD, Maximiliano Seletti MD, Carla Bartolucci MD, Gustavo Pinton MD (2016). Effect of First Ray Insufficiency and Metatarsal Index on Metatarsalgia in Hallux Valgus. *Foot and Ankle International* 37(3): 300-6

- GIANNESTRAS NICHOLAS J** (1958). Shortening of the Metatarsal Shaft in the Treatment of Plantar Keratosis: An End-Result Study. *J Bone Joint Surgery* 40(1): 61-71
- GIBBARD KW**, Kilmartin TE (2003). The Weil osteotomy for the treatment of painful plantar keratosis. *The Foot* 12:199-203.
- GONZALEZ UJ**, Parals GF, Conesa MX, Ribau DMÁ, Vía-Dufresne PO, Siles FE, Novell AJ (2015). Tratamiento quirúrgico de las metatarsalgias mecánicas mediante cirugía percutánea. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología* 29 (2): 112-21.
- HAQUE S**, Kakawani R, Chadwick C (2016). Outcome of Minimally Invasive Distal Metatarsal Metaphyseal Osteotomy (DMMO) for Lesser Toe Metatarsalgia. *Foot & Ankle International* 37(1): 58-63.
- HENRY J**, Besse JL, Fessy NH (2011). Distal osteotomy of the lateral metatarsals: a series of 72 cases comparing the Weil osteotomy and the DMMO percutaneous osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res.* 97(6):57–65.
- HERMIDA GLF** (2012). Metatarsalgia propulsiva. Tratamiento con la osteotomía triple de Maceira. *An Med Asoc Med Hosp ABC* 57 (2): 118-122.
- HEUI CHUL GWAK**, Dong Jun Ha (2017). Cause of metatarsalgia. *J Korean Foot Ankle Soc* 21(3):79-82.
- HIGHLANDER P**, VonHerbulis E, Gonzalez A, Britt J, Buchman J (2011). Complications of Weil osteotomy. *Foot Ankle Spec.* 4:165–70.
- HOFSTAETTER SG** (2005). The Weil osteotomy: a seven- year follow- up. *J Bone Joint Surgery* 87(11): 1507-11
- IDUSUYI OB**, Kitaoka HB, Patzer GL (1998). Oblique metatarsal osteotomy for intractable plantar keratosis: 10-year follow-up. *Foot Ankle Int.* 19(6): 351-5.

ISHAM SA (1991). The Reverdin-Isham procedure for the correction of hallux abducto valgus. A distal metatarsal osteotomy procedure. *Clinics in podiatric Medicine and Surgery* 8(1): 81-94.

ISHAM SA, Orlando E. Nunez (2010). *Isham Hammertoe Procedures for the Correction of Lesser Digital Deformities. Minimally Invasive Surgery of the Foot and Ankle.* Springer

JARDE O, Hussenot D, Vimont E, Barouk LS, Ferre B, Raad GA (2001). Weil's cervicocapital osteotomy for median metatarsalgia. Report of 70 cases. *Acta Orthop Belg.* 67:139–48.

JONATHAN T, Kyung-Tai Lee, Mark Sobel (1995). Anatomy of the Plantar Plate and Its Attachments in the Lesser Metatarsal Phalangeal Joint. *Foot and Ankle International* 16(8): 480-6

KENNEDY JG (2006). Resolution of metatarsalgia following oblique osteotomy. *Clin Orthop Relat R.* 453:309-13

KENZO E, Norma Sueli Albino Moreira, Gilmar Soares Freire, Bruno Schifer dos Santos, Liu Chiao Yi (2015). Estudo da formula metatarsal em pacientes com maetatarsalgia primaria. *Revista Brasileira de Ortopedia* 50(4): 438-444

KILMARTIN TE (2002). Revision of failed foot surgery: a critical análisis. *J Foot Ankle Surg.* 41(5): 309-15.

LAFFENÊTRE O, Dalmau-Pastor M, Bauer T (2109). Técnicas quirúrgicas en ortopedia y traumatología. *EMC* 11(1): 1-10

LEEMRIJSE T, Valtin B, Besse JL (2008). Hallux valgus surgery in 2005. Conventional, mini-invasive or percutaneous surgery? Uni- or bilateral? Hospitalisation or one-day surgery?. *Revue de Chirurgie Orthopedique de L'appareil Moteur* 94(2): 111-127.

- LEVENTEN EO**, Pearson SW (1990). Distal metatarsal osteotomy for intractable plantar keratoses. *Foot Ankle* 10: 247–51.
- LLANOS-ALCAZAR LF**, Viejo-Tirado F (2007). El pie óseo. En: *Biomecánica, medicina y cirugía del pie*. Páginas: 25-33. Eds: Masson. Madrid.
- LLANOS-ALCAZAR LF**, Maceira-Suárez E, Larraínzar-Garijo R (2007). Complicaciones y secuelas de la cirugía del antepié derivadas de las osteotomías del primer radio. *Rev Ortop Traumatol.* 51 (1): 91-101.
- Maestro M**, Besse JL, Ragusa M, Berthonnaud E (2003). Forefoot morphology study and planning method for forefoot osteotomy. *Foot Ankle Clin* 8(4):695-710.
- MACEIRA E**, Fariñas F, Tena J, Escobar R, Baltes J.L (1998). Análisis de la rigidez metatarsofalángica en las osteotomías de Weil. *Revista de Medicina y Cirugía del Pie* 12 (2): 35-40.
- MACEIRA-SUAREZ E** (2003). Aproximación al estudio del paciente con metatarsalgia. *Revista del pie y tobillo* 17(2):14-29.
- MAGNAN B**, Bonetti I, Negri S, Maluta T, Dall’Oca S, Samalla E (2017). Percutaneous distal osteotomy of lesser metatarsals (DMMO) for treatment of metatarsalgia with metatarsophalangeal instability. *Foot Ankle surg.* 31(1): 48-52.
- MALHOTRA K**, Rudge B (2019). Minimally invasive distal metaphyseal metatarsal osteotomy (DMMO) for symptomatic forefoot pathology- Short to medium term outcomes from a retrospective case series. *The Foot* 38: 43-49
- MARTINEZ-NOVA A**, Pascual Huerta J, Sánchez Rodríguez R (2008). Cadence, age, and weight as determinants of forefoot plantar pressures using the Biofoot in-shoe system. *J Am Podiatr Med Assoc* 98(4): 302-10.

- MARTINEZ-NOVA A**, J.C. Cuevas-García, R. Sanchez-Rodriguez, J. Pascual- Huerta, E. Sánchez- Barrado (2008). Study of plantar pressure patterns by means of instrumented insoles in subjects with hallux valgus. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología* 52(2): 94-98.
- MELAMED E**, Schon L, Myerson M (2002). Two modifications of the Weil osteotomy: Analysis on sawbone models. *Foot Ankle Int.* 23: 400-05
- MICHAEL R.** Carmont, Robin J. Rees, Christopher M. Blundell (2009). Current concepts review: Freiberg`s Disease. *Foot and Ankle International* 30(2): 167-75
- MIGUES A.**, Slullitel G., Bilbao F., Carrasco M., Solari G (2004). Floating-toe deformity as a complication of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Int.* 25: 609-13
- MIRANDA I** , Al Rajab A, Al Rajab F, Navarrete E, Sanchez M, Vicent V, Miranda FJ (2015). Osteotomías distales de los metatarsianos menores realizadas por cirugía abierta vs cirugía percutánea en el tratamiento de las metatarsalgias. *Revista Española de Cirugía Osteoarticular* 252(50): 108-113.
- NARANJO C** (2015). Efectividad de las osteotomías mínimamente invasivas en los metatarsianos centrales. *Podoscopio* 1(65): 1384-1400.
- NIETO-GARCIA E** (2004). *Cirugía podológica. Técnicas de mínima incisión.* Editorial: Mileto. Madrid.
- NIETO-GARCIA E** (2017). Osteotomías metatarsianas elevadoras, acortadoras y múltiples. En: *Cirugía mínimamente invasiva del pie.* Pag: 117-124. Ed. Glosa S.L. Madrid.
- NUÑEZ-SAMPER M** (2007). Complicaciones y secuelas generales de la cirugía del antepié. *Rev Ortop Traumatol.* 51 (1): 75-9.

- OLLER ASENSIO** (2007). Tesis: La formula metatarsal y su valor predictivo en los trastornos de la marcha
- O'KANE C** (2002). The surgical management of central metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 23 (5): 415- 419.
- PASCUAL-HUERTA J**, Arcas Lorente C, Garcia Carmona JC, Trincado Villa L, Fernadez Morato D (2016). Complicaciones de la osteotomía de Weil: análisis retrospectivo de 25 pies intervenidos en 21 pacientes. *Revista española de podología.* 27(1): 3-9.
- PASCUAL-HUERTA J**, Arcas Lorente C, Garcia Carmona FJ (2017). La osteotomia de Weil: una revision comprensiva. The Weil osteotomy: A comprehensive review. *Revista Española de Podologia* 28 (2): 38-51
- PASCUAL. R**, Gutiérrez M.C. Arnao, Rodríguez P. Chinchilla, Villaescusa P. Lopez, Ros J. García Campos (2010). Treatment selection criteria in predislocation syndrome. *Rehabilitacion* 44(4): 364-370
- PEREZ-MUÑOZ I** (2012). The role of Weil and triple Weil osteotomies in the treatment of propulsive metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 33(6): 501-6.
- PEREZ MUÑOZ J.**, Gómez González, M. A., Cuevas García, J. C., & Martinez Nova, A. (2015). Relación de la postura del pie con las lesiones más frecuentes en atletas. Un estudio piloto. 166: 76-81.
- PODSKUBKA A**, Stedry V, Kafunek M (2002). Distal shortening osteotomy of the metatarsals using the Weil technique: surgical treatment of metatarsalgia and dislocation of the metatarsophalangeal joint. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 69(2): 79-84.
- POLOKOFF M** (1962). Raspectomy reduction of exostosis and hypertrophied condyles with files and rasps. *J Am Podiat Med Assoc.* 52: 137-47.

- PONTIUS J, Martin W** (1997). Lesser metatarsal surgery for the treatment of chronic interactive plantar keratosis. In: *Reconstructive surgery of the foot and leg*. Pag:15-21. Tucker: The Podiatry Institute.
- PROBBER E** (1972). Remodeling bunions by osteotriptic procedure. *Curr Podiatr*. 7: 9-14
- RUIZ IBÁN MA** (2006). La osteotomía de Weil en el tratamiento de las metatarsalgias de los radios centrales. *Rev Ortop Traumatol*. 50(1): 30-37.
- SALINAS-GILABERT JE, Lajara-Marco F, Ruiz-Herrera M** (2009). Distal percutaneous osteotomy in the treatment of lesser ray metatarsalgia. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 53 (3):192–7.
- SAUER; Kozlowski, K.** (2009) Ankle Robot for People with Drop Foot – Case Study. Presentado en *Lecture Notes in Control and Information Sciences, Robot Motion and Control*. Springer-Verlag., Berlin.
- SCHUH REINHARD MD, Hans Joerg Trnka, MD** (2011). Metatarsalgia: Distal Metatarsal Osteotomies. *Foot and Ankle Clinics* 16(4): 583-95
- SCHÜNKE M, Schulte E, Schumacher U** (2005). *Prometheus: Texto y atlas de anatomía*. Editorial: Médica Panamericana.
- SHERMA DK** (2005). Weil Osteotomy of lesser metatarsal for metatarsalgia: a clinical and radiological follow-up. *Foot* 15: 202-05
- SOOHOO NF, Vyas R, Samini D** (2006). Responsiveness of the foot function index, AOFAS clinical rating systems, and SF-36 after foot and ankle surgery. *Foot Ankle Int*. 27:930–4.
- TRASK DJ, Ledoux WR, Whittaker EC, Roush GC, Sangeorzan BJ** (2014). Second metatarsal osteotomies for metatarsalgia: a robotic cadaveric study of the effect of osteotomy plane and metatarsal shortening on plantar pressure. *J Ortho Res*. 32(3): 385-93.

TRNKA H, Mühlbauer M, Zettl R (1999). 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.* 20: 72-79.

TRNKA H, Nyska M, Parks B (2001). Dorsiflexion contracture after the Weil Osteotomy: Results of cadaver study and three-dimensional analysis. *Foot Ankle Int.* 22: 47-50.

VAFEK EC MD, Simon Lee MD (2018). Treatment of Metatarsalgia with Proximal Osteotomies. *Foot and Ankle Clinics* 23(1): 35-46

VALDEZ JLÁ, Saucedo CAD, Jiménez FJR, Cristóbal SS (2016). Pie plano flexible y su correlación con síndrome metabólico en niños y adolescentes. *Rev Mex Ortop Ped* 18(1): 31-37.

VAZQUEZ-OSORIO MT, Sañudo-Tejero JR (2007). Anatomía de superficie. En: Núñez-Samper M, Llanos-Alcázar LF. *Biomecánica, medicina y cirugía del pie*. Pag: 45-48. Editorial: Masson, Barcelona.

VERDÚ C.M , J. E. Salinas , E. Martínez , J. Sanz-Reig , E. Villegas. (2017).Metatarsalgia atípica. A propósito de un caso y revisión bibliográfica. *REVISTA DEL PIE Y TOBILLO* 31(2): 124-30.

VERDÚ R, J. Sanz Reig, María Concepción Carratalá Munuera, Domingo Orozco Beltrán (2017). Diferencias epidemiológicas en el Hallux Valgus con y sin metatarsalgia asociada. *Revista española de cirugía osteoarticular* 52(269): 7-11

VILADOT A (1973). Metatarsalgia due to biomechanical alterations of the forefoot. *Orthop Clin North Am* 4(1): 165-78.

VILADOT A (2000). *Quince lecciones sobre patología del pie*. Editorial: Springer- Verlag Ibérica, Barcelona.

VILADOT-PERICÉ A (2007). Concepto histórico del pie. En: Núñez-Samper M, Llanos Alcázar LF. Biomecánica, medicina y cirugía del pie. Pag: 3-7. editorial: Masson, Barcelona.

VILADOT-PERICÉ R, Álvarez-Goenaga F, García-Bonet J, Viladot-Voegeli A (2007). Complicaciones y secuelas de la cirugía de los radios segundo a quinto del pie. Rev Ortop Traumatol. 51(1):102-9.

WEIL LS (2000). Scarf osteotomy for correction of hallux Valgus. Historical perspective, surgical technique and results. Foot and Ankle Clinics 5(3): 559-80

WILLIAM R. Adams II DPM (2010). Morton's Neuroma. Clinics in Podiatric Medicine and Surgery 27(4): 535-45

YEO NE, Loh B, Chen JY, Yew AK, Ng SY (2016). Comparison of early outcome of Weil osteotomy and distal metatarsal mini-invasive osteotomy for lesser toe metatarsalgia. J Orthop Surg. 24:350-3.

YU GV (2002). Predislocation Syndrome; Progressive Subluxation / Dislocation of the Lesser Metatarsophalangeal Joint. JAPMA 92(4): 182-99.

VIII. PUBLICACIONES

RESEARCH ARTICLE

Open Access



Evaluation of results after distal metatarsal osteotomy by minimal invasive surgery for the treatment of metatarsalgia: patient and anatomical pieces study

Miguel Lopez-Vigil¹, Santos Suarez-Garnacho¹, Vanesa Martín¹, Carmen Naranjo-Ruiz² and Carmen Rodriguez^{1*}

Abstract

Background: Metatarsalgia of the lesser toes is a common cause of consultation in the podiatric clinic. However, there continues to be a controversy with respect to which is the best surgical technique, and there is few information in the literature regarding objectively comparable results in percutaneous surgery.

Methods: The second metatarsal bones of 30 feet belonging to patients who had attended the podiatric clinic were studied before and after distal metatarsal percutaneous osteotomy. The degree of shortening of the second metatarsal (RX) and the degree of functional recovery and perception of the well-being of the patient (AOFAS) were evaluated retrospectively.

The same bones of 10 cadaveric feet were also studied. The surgical procedure was identical to that used on patients, and electronic callipers were employed to take measurements of the second metatarsal. The integrity of the plantar plate was checked visually.

Results: The mean shortening of the second metatarsal bone, as determined by the radiological study, was 2.76 mm. After an average follow-up period of 1.5 years, the final mean score on the AOFAS scale was 95.26 points. In none of the cases was the mobility of the metatarsophalangeal (MTP) joint affected. The mean shortening in the cadaveric feet was 2.10 mm, and in all cases, the plantar plate and flexor apparatus were perfectly preserved.

Conclusions: Percutaneous osteotomy achieved, in our study, a lower degree of shortening than Weil's surgery, according to the data published in the literature. However, it shows good clinical results without causing problems of consolidation or rigidity in the MTP joint. Neither, with the caution that should be taken due to the use of experimental cadaver models, damage of the flexor apparatus of the foot is observed. These results suggest that this could be a safe and effective surgical procedure to be considered for metatarsalgias of the lesser rays.

Keywords: Second metatarsal, Osteotomy, Minimal invasive surgery (MIS), Shortening, AOFAS

Background

Among problems affecting the forefoot, metatarsalgia of the lesser toes is a common cause of consultation in the podiatric clinic. It may be the outcome of numerous disorders but is most frequently associated with mechanical alterations of the forefoot, such as claw toe and insufficiency of the great toe or hallux valgus [1–5]. It is characterised by

plantar pain associated with persistent hyperkeratosis under the head of one or various metatarsals of the foot. When it does not improve with conservative measures such as local relief by means of orthopaedic inserts for metatarsal supports, modification of footwear, the use of flexible orthoses to reduce deformities of the toes, anti-inflammatory treatment or multidisciplinary treatment together with physiotherapists, it may require surgical treatment. However, there continues to be controversy with respect to which is the best surgical technique.

* Correspondence: carro@uniovi.es

¹Department of Morphology and Cell Biology, Faculty of Medicine, University of Oviedo, Julian Claveria, 33006 Oviedo, Spain

Full list of author information is available at the end of the article



Historically, a variety of such techniques have been described for the treatment of metatarsalgias [6–9]. Distal osteotomies were proposed by Borggreve in 1949, then by Davidson [10] in 1969, and by Weil in 1992. The latter was popularised in Europe by Barouk [11] and is nowadays one of the most frequently employed procedures. It is an osteotomy parallel to the load bearing surface of the head of the metatarsal and is fixed with screws, which allows axial decompression.

Percutaneous surgery, also known as minimal Invasive surgery (MIS), is a procedure that allows the surgeon to operate through minimal incisions, without direct exposure of the surgical field, which leads to minimal trauma to the adjacent tissues and requires radiological visualization during the operation, to allow the surgeon to exert precise control over the surgical manoeuvres [12]. Percutaneous surgery cannot be considered a minor procedure simply because it is carried out through small incisions, since via these small incisions, major and even aggressive surgical techniques can be performed [13]. Therefore, it is of fundamental importance that these operations are conducted by expert surgeons [14] and that both the pre-operative preparation of the patient and the measures for the maintenance of sterility are executed with extreme care. Although the history and the results obtained by metatarsal conventional surgery are proven and widely accepted [15–19], the use of MIS procedures to perform a distal osteotomy of the lesser metatarsal maintains the anatomical structures that stabilise the bone ends, since they do not require the dissection of the soft tissues, neither do they demand the separation of the periosteum in the area of the osteotomy. The preservation of these structures allows a good level of vascularisation. Tension of unharmed soft tissues, together with the direction of the osteotomy (from distal-dorsal to proximal-plantar) makes osteosynthesis not necessary. Furthermore, this surgical technique has advantages that can be considered fundamental and which are in line with new surgical trends in other anatomical areas. Among these positive factors, it is worth highlighting the following: this is an outpatient procedure; it uses local anaesthetic accompanied by sedation under the control of the anaesthetist; osteosynthesis material is not required, in contrast with other procedures described here [20]; and finally, there is less postoperative pain and a decreased risk of infection [14], so it can be used in all types of patients, including the diabetic patients with all the problems that they can bring associated [21]. The aim of the osteotomy is the shortening of the metatarsal and the raising of its head to off-load the forefoot reducing the pressure that is causing the pain [22]. Although there are studies that provide information on the shortening achieved in Weil surgery, there are very few data on this shortening and even few clinical studies, after the osteotomy through percutaneous surgery.

Among the soft tissues surrounding the metatarsal head, it is worth mentioning the plantar plate. This is a plantar fibrocartilaginous thickening of the articular capsule, which keeps the toe in the correct position with respect to the joint, avoiding hyperextension and ensuring that the toe does not exceed its normal range of movement [23]. The plate and the collateral ligaments form a sheath of soft tissue connected to the sides of the head of the metatarsal. Besides its role on the stability after surgery, tension of the soft tissues surrounding the metatarsal head determines its final optimal disposition, so it is relevant that these tissues are not damaged during the operation.

The objectives of this study were (1) to analyse the results of distal osteotomy of the second metatarsal bones carried out by a MIS procedure, specifically analysing the metatarsal shortening and the patient well-being and (2) to ensure, as much as it can be done using a cadaveric model, that the plantar plate and soft tissues around the metatarsal head remain unharmed after the operation, as long as this is correctly performed.

Material and methods

A retrospective study was performed analysing the surgical results obtained after MIS procedure for the treatment of patients older than 18 years who attended the podiatric clinic with metatarsalgia of the central metatarsal bones which was susceptible to surgical treatment ($n = 30$). Minors and patients who had previously undergone surgery to the metatarsals in question were excluded from the study. Informed consent had been obtained from each patient before the surgery. The average age of the patients was 58.9 years, with a standard deviation of 12.87. Fifty percent of the studied sample fell between 56 and 67 years, with the youngest and oldest patients being 34 and 87 years, respectively. The sex distribution of the sample was 24 women (80%) and 6 men (20%) which coincides with the distribution of patients seen in the clinic. Of these cases, 18 (60%) affected the left foot and 12 (40%) the right.

The second metatarsal surgery was performed by the same surgeon in all cases. In the majority of patients, surgery of the second metatarsal, object of the present study, was accompanied by surgery of another metatarsal during the same surgical act, following the Leventen formula [24] and/or by proximal phalanx osteotomy and flexor tenotomy.

The incision was performed using Beaver 67 MIS surgical blades (Fig. 1a) and the raising and shortening osteotomy with a long straight Shannon (Fig. 1b, c). The Shannon was positioned at an angle of 45° relative to the long axis of the metatarsal, on the surgical neck of the affected bone, and the osteotomy was in a dorsal-distal to proximal-plantar direction. Once the surgery was



Fig. 1 Surgical approach from dorsal-distal to plantar-proximal. Incision with Beaver (a); placement of the surgical Shannon with 45° angulation in the surgical neck of the second metatarsal (long Shannon) (b); and surgical gesture with which we perform the osteotomy that will allow the metatarsal to be shortened (c)

completed, a post-surgical taping made of gauze bandage and Hypafix was applied as a measure of compression and fixation. The patient received a post-op shoe and gel bags for cryotherapy, according to the clinic protocol. After 72 hours, the patient went to the clinic for a fluoroscopy check and 10 days after surgery the post-surgical taping was changed for the first time. The new post-surgical taping consisted only of Hypafix and was changed weekly. Lastly, 4 weeks after surgery, both the post-surgical taping and the post-op shoe were removed. To evaluate the shortening of the metatarsal bone, measurements were made with electronic callipers from dorso-plantar and oblique X-ray plates taken both before and 6 months after the operation by the same radiologist.

The degree of functional recovery and the perception of well-being of the patient were studied by evaluating recorded pre- and postoperative means of the scale for minor metatarsals and interphalangeal joints of the American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS). All the patients had been given an AOFAS test to evaluate the improvement and the degree of satisfaction with the treatment received. In the cases in which several metatarsals were operated, the items of the scale in relation to pain, limitation in the activity, requirements in the footwear or alignment reflect the improvement after the set of interventions. However, for the items of the scale in relation to hyperkeratosis, dorsal-plantar flexion in the metatarsophalangeal joint or plantar flexion of the interphalangeal joint has been specifically asked in the survey for each of the metatarsals, and in the present work, the results belong to the tests that included in these items the data of the second metatarsal.

The cadaveric feet ($n = 10$) were provided by the Anatomy Department of the Faculty of Medicine. Five were left feet and five were right. The surgical protocol was the same as that used with the patients. After surgery, the foot was frozen and then a sagittal section was made, passing through the second ray (Fig. 2a, b). The shortening of the metatarsal was then measured, again using electronic callipers (Fig. 2c). Finally, the integrity of the

plantar plate was checked, meticulously examining each of its elements in detail.

For statistical analysis, the free software for statistical computing and graphic design R was used.

Results

The mean reduction in length of the metatarsal in the cases included in this study ($n = 30$) was 2.76 ± 0.62 mm (Fig. 3). In the case of the male patients, the mean was higher (3.04 ± 0.2 mm) than in the females (2.69 ± 0.99 mm) (Fig. 4). Examples of X-ray plates taken before and after the surgical procedure from two patients are showed in Fig. 5.

The average index of satisfaction as measured by the AOFAS metatarsal scale was 50.3 before and 95.26 after surgery, with an average follow-up period of 1.5 years. Of note is the lack of stiffness or alterations in the stability of the MTP joint, as well as the lack of transfer metatarsalgia. No patient showed malunion, delayed union or no union.

In the case of the cadaveric feet ($n = 10$), the mean shortening due to surgery was 2.10 ± 0.39 mm, the highest value being 2.50 mm (Fig. 6), and in all of these feet, the integrity of the plantar plate and soft tissues was seen to be perfectly intact (Fig. 7).

Discussion

One of the results of the present study that provides most reassurance about the use of MIS surgery for the treatment of metatarsalgia is the high score achieved on the AOFAS scale, since, as previously mentioned, there are many alternative therapies for the treatment of metatarsalgias of the central rays. Among the options described in the medical literature are reports of good results obtained by open surgical techniques, such as the Weil osteotomy.

Using this procedure, Ruiz Ibán [25] obtained good or excellent results in 87.5% of cases, operating on 40 subjects, with a mean follow-up of 2.3 years, and achieving an average AOFAS scale score of 85 points. Hofstaetter

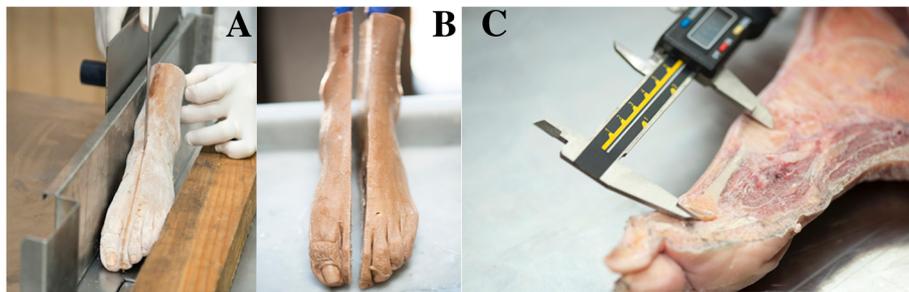


Fig. 2 Cadaveric feet. Sagittal section of frozen foot following the diaphysis of the second metatarsal (a and b); exposure of structures and measurement by electronic caliper that assesses the shortening of the metatarsal to be treated (c)

[26] obtained good results in 88% of cases, based on a group of 24 subjects with a mean follow-up of 7 years, and an average AOFAS score of 83 points. Also, Henry et al [27] achieved an average AOFAS score of 85.3. Major frequent complications in these studies refer to transfer metatarsalgia and residual metatarsalgia.

In our study, using distal metatarsal osteotomy performed by means of MIS surgery, the average score on the AOFAS scale was 95.26 points (75 the lower and 100 the higher scores). Although this scale is not validated and so may not totally reflect the real functional results [28], many clinicians continue to administer the AOFAS survey to patients and it is widely used in the literature, offering a good comparison between different studies [29]. Our results, according to Botezatu et al. [14], strongly support distal metatarsal osteotomy by MIS for the treatment of metatarsalgia of the lesser rays. They show that it gives good clinical and aesthetic results,

without the appearance of stability problems or rigidity of the MTP joint, transfer metatarsalgia or other complications. The good consolidation and lack of malunions, delayed unions or no unions also support the indication of this type of surgery. The complications of the Weil osteotomy, on the other hand, are relatively high, and a literature review recently undertaken includes the presence of floating toes, recurrence, transfer metatarsalgia and a few delayed unions and no unions [30]. Although there are few comparative studies between the two types of surgery, a recent publication indicates the greater range of motion (ROM) in the metatarsophalangeal joint after the osteotomy by MIS than after the Weil osteotomy [31], whereas Jarde et al. [32] reported a series of Weil’s osteotomies where they found reduced mobility of the MP joint in all cases.

In the majority of cases, this metatarsalgia is accompanied by hyperkeratosis of the most affected area. As the

	mean	sd	IQR	cv	0%	25%	50%	75%	100%
Shortening	2.76	0.62	0.90	0.22	1.96	2.20	2.82	3.10	4.38

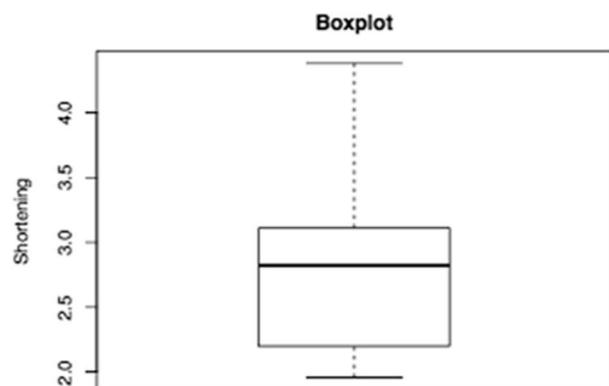
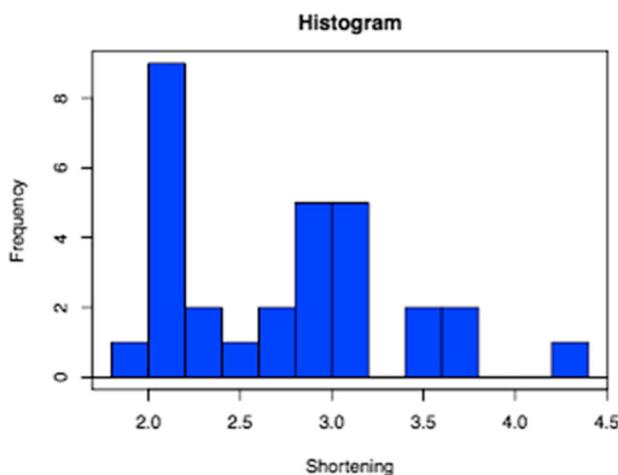


Fig. 3 Mean shortening of the second metatarsal with graphic demonstration by histogram (left) and boxplot (right)

	mean	sd	IQR	cv	0%	25%	50%	75%	100%
Female Shortening	2.69	0.65	0.99	0.24	1.96	2.11	2.65	3.09	4.38
Male Shortening	3.04	0.44	0.20	0.15	2.40	2.90	3.04	3.10	3.77

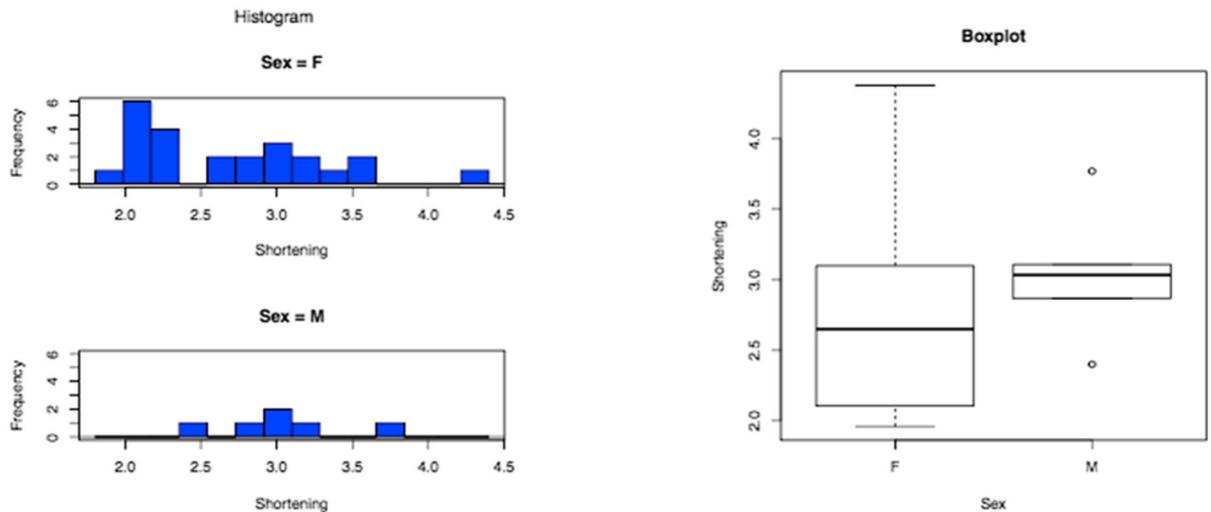


Fig. 4 Mean shortening of the second metatarsal distributed by sexes with graphical demonstration by histogram (left) and boxplot (right)

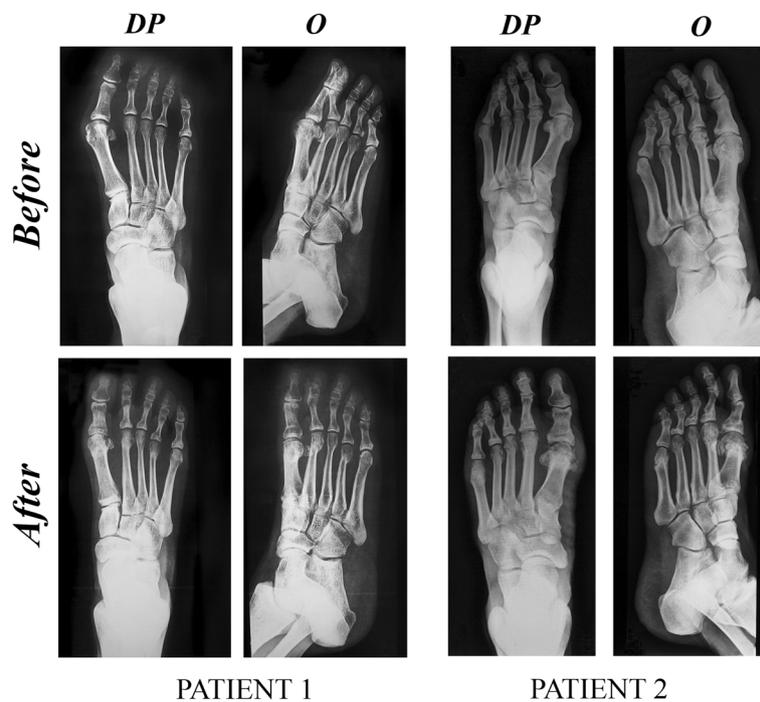
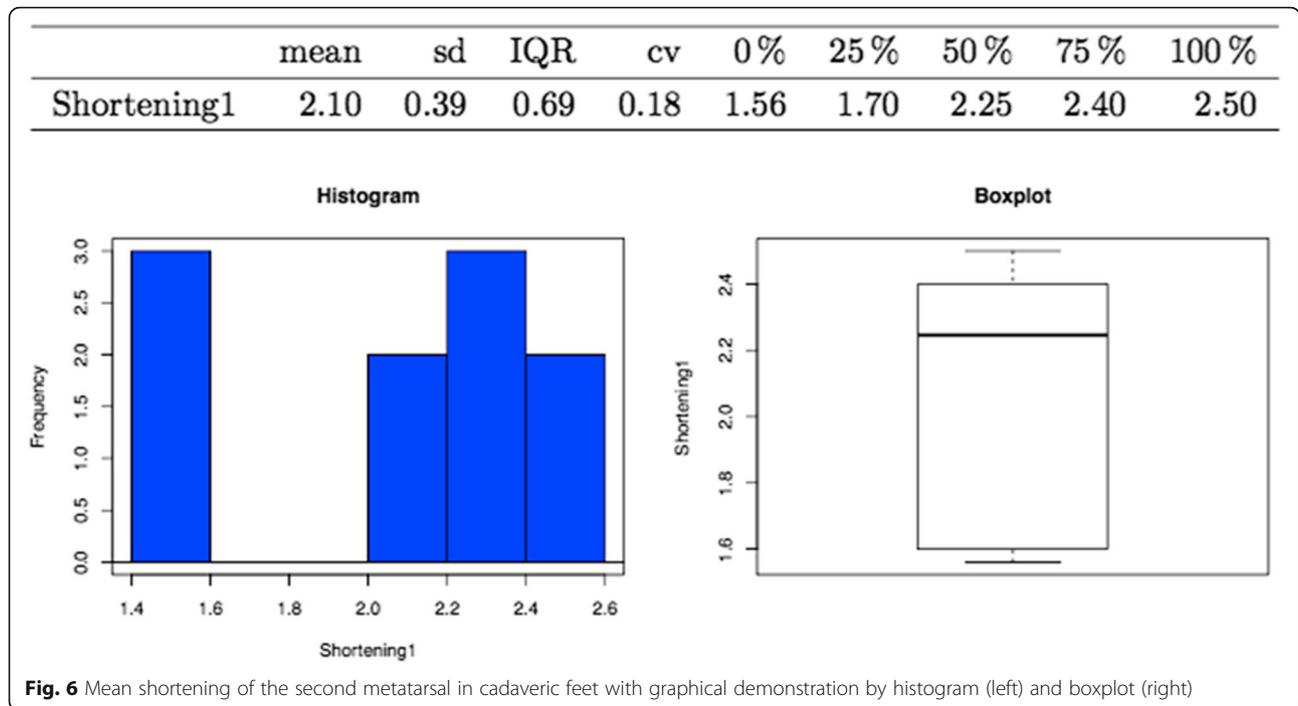
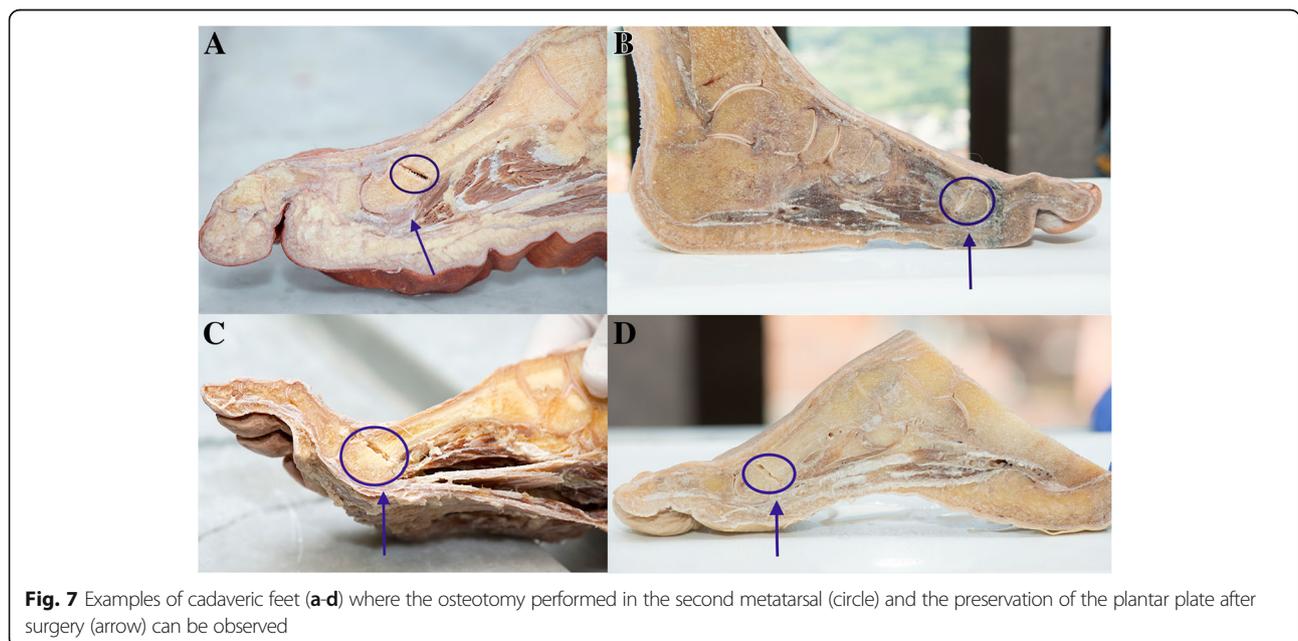


Fig. 5 Examples of X-ray plates taken before and after surgical procedure from two patients (PATIENT 1 and PATIENT 2). DP dorsoplantar, O oblique



principal objective of metatarsalgia treatment is the elimination of pain, the existence of persistent asymptomatic hyperkeratosis cannot be considered a failure of treatment, so long as it is painless. Migues [33] and Hofstaetter [26] described painful hyperkeratosis in 16% and 12%, respectively, of Weil osteotomy patients. In the present study, painful hyperkeratosis did not persist in any of the cases, although three patients suffered asymptomatic hyperkeratosis

and were included in the AOFAS scale as failures. We believe that, in agreement with De Prado et al. [34], osteotomies should be performed according to the criteria of the Leventen formula [24]. That is to say, osteotomies of the second and third metatarsals should be performed when the second metatarsal is affected; osteotomies of the second to fourth metatarsals should be carried out in the case of metatarsalgias in the area of the third metatarsal; and



osteotomies of the third to fourth metatarsals in the case of metatarsalgias in the area of the fourth metatarsal.

The average shortening of the metatarsal in the present study (2.76 mm) is less than that obtained by Weil's open surgery [20, 25–27, 33]. Shortening results are similar to other recently published studies employing MIS [35]. The metatarsal parabola proposed by Maestro [36] is not always achieved. However, the objective of the osteotomy in the treatment of metatarsalgia is the shortening of the metatarsal together with the raise of its head in order to off-load the forefoot. After percutaneous surgery, there is, additionally, a re-positioning of the metatarsal heads as a result of tension of soft tissues. Finally, on full weight-bearing, the metatarsal heads gain the best position for weight distribution [37]. All these factors produce an off-load of the forefoot with decreased pressure on the metatarsal heads that, ultimately, was causing the pain.

Despite the fact that in the present series, the degree of shortening seen in the male patients (3.4 mm) is greater than in the females (2.69 mm), the greatest reduction in length (4.38 mm) was produced in a female patient. When the shortening of the affected metatarsal is greater than 4 mm, there are quite a few complications, such as stiffness or floating toes [38]. However, this patient was the oldest in the study, which suggests that a variety of factors may influence the degree of shortening produced by the osteotomy, one of which could be the presence of osteoporosis.

Careful observation of the plantar plate and soft tissues around the metatarsal head in cadaver feet indicates that there is no damage to these tissues during surgery. Although these observations were made in cadaveric feet, where the scenario is different from the clinical, we may consider this as a simple approach for the study of these tissues. The fact that it was the same surgeon who performed the operation guarantees that it has been carried out in the same way as it was done on the feet of the patients.

Conclusions

The fundamental conclusion drawn from this study is that after MIS surgery, the metatarsal shortening is less than that achieved in open surgery; however, this smaller shortening is compensated likely by the metatarsal head elevation, the tension of unharmed soft tissues and the full weight-bearing, finally achieving an excellent patient satisfaction index regarding AOFAS results (with the caution that should be taken when using no patient-reported outcome (PRO) measures). The absence of damage to the plantar plate and surrounding soft tissues is another important outcome (always considering that the experimental model is a different scenario as the clinical one), since it has not been possible to find any reference to the preservation of its structural integrity in previous

publications describing studies whatever surgical protocol used. As a result, this can be described as an effective, safe and recommendable technique, whether or not it is associated with other open or MIS surgical forefoot procedures.

Abbreviations

AOFAS: American Orthopedic Foot and Ankle Society; MIS: Minimal invasive surgery; MTP: Metatarsophalangeal

Acknowledgments

The authors thank Antonio Palacio for assisting with the statistical analysis.

Funding

The study was partially funded by the Principality of Asturias through FICYT (GRUPIN14-081 to CR).

Availability of data and materials

The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contributions

MLV, CR and SSG participated in the conception and design of the study. MLV and CNR had performed the surgery of patients and the radiological measurements. MLV and SSG performed the surgery on the cadaveric feet. MLV and CR wrote the manuscript. VM contributed on the figures conceiving and critically revised the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Ethics approval and consent to participate

Research has been performed in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Informed consent had been obtained from each patient before the surgery. Acknowledgement of the Research Ethics Committee of the Principality of Asturias was granted (protocol n° 267/18).

Consent for publication

Patients had signed an informed consent form allowing their radiographs to be used for publication.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Author details

¹Department of Morphology and Cell Biology, Faculty of Medicine, University of Oviedo, Julian Clavería, 33006 Oviedo, Spain. ²San Vicente Martir Catholic University of Valencia, Valencia, Spain.

Received: 27 November 2018 Accepted: 17 April 2019

Published online: 08 May 2019

References

1. Ferbel T, Jonathan B. Lesser metatarsal osteotomies: a biomechanical approach to metatarsalgia. *Foot Ankle Clin.* 2001;6:473.
2. Nieto-García E. *Cirugía podológica. Técnicas de mínima incisión.* Madrid: Miletó; 2004.
3. Bardelli M, Turelli L, Scocianti G. Definition and classification of metatarsalgia. *Foot Ankle Surg.* 2003;9(2):78–85.
4. Coughlin MJ. Common causes of pain in the forefoot in adults. *J Bone Jt Surg Br.* 2000;82(6):781–90.
5. De Prado M, Ripoll PL, Golano P. *Cirugía percutánea del pie: Técnicas quirúrgicas.* Barcelona: Masson SA; 2003.
6. Meisenbach RO. Painful anterior arch of the foot: an operation for its relief by means of raising the arch. *Am J Orthop Surg.* 1916;14:206.
7. Giannestras N. Shortening of the metatarsal shaft in the treatment of plantar keratosis; an end-result study. *J Bone Joint Surg Am.* 1958;40-A:61.

8. Helal B. Metatarsal osteotomy for metatarsalgia. *J Bone Joint Surg Br.* 1975;57:187.
9. Sgarlato TE. *A Compendium of pediatric biomechanics.* San Francisco: College of Podiatric Medicine; 1971.
10. Davidson M. A simple method for correcting second, third, and fourth plantar metatarsal head pathology (especially intractable keratomas). *J Foot Surg.* 1969;8:23.
11. Barouk LS. Weil's metatarsal osteotomy in the treatment of metatarsalgia. *Orthopade.* 1996;25:338.
12. 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.
13. Magnan B, Bonetti I, Negri S, Maluta T, Dall'Oca S, Samalla E. Percutaneous distal osteotomy of lesser metatarsals (DMMO) for treatment of metatarsalgia with metatarsophalangeal instability. *Foot Ankle surg.* 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2017.04.012>.
14. Botezatu I, Marinescu R, Laptou D. Minimally invasive-percutaneous surgery- recent developments of the foot surgery techniques. *J Med and Life.* 2015;8:87–93.
15. Beech I, Rees S. A retrospective review of the Weil metatarsal osteotomy for lesser metatarsal deformities: an intermediate follow-up analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2005;44:358.
16. Kennedy JG. Resolution of metatarsalgia following oblique osteotomy. *Clin Orthop Relat R.* 2006;453:309.
17. Perez-Muñoz I. The role of Weil and triple Weil osteotomies in the treatment of propulsive metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2012;33:501.
18. Sherma DK. Weil Osteotomy of lesser metatarsal for metatarsalgia: a clinical and radiological follow-up. *Foot.* 2005;15:202.
19. Pontius J, Martin W. Lesser metatarsal surgery for the treatment of chronic interactive plantar keratosis. In: Miller SJ, Mahan KT, Yu GV, Camasta CA, editors. *Reconstructive surgery of the foot and leg.* Tucker: The Podiatry Institute; 1997. p. 15.
20. O'kane C. The surgical management of central metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2002;23:415.
21. Finestone AS, Tamir E, Ron G, Wiser I, Agar G. Surgical offloading procedures for diabetic foot ulcers compared to best non-surgical treatment: a study protocol for a randomized controlled trial. *J Foot Ankle Res.* 2018;11:6.
22. Bauer T, Laffenetre O, de Lavigne C. Osteotomías Metatarsales. *EMC- Técnicas Quirúrgicas- Ortopedia y Traumatología.* 2009;1:1–14. [https://doi.org/10.1016/S2211-033X\(09\)70106-9](https://doi.org/10.1016/S2211-033X(09)70106-9).
23. Yu GV. Predislocation syndrome; progressive subluxation / dislocation of the lesser metatarsophalangeal joint. *JAPMA.* 2002;92:182.
24. Leventen EO, Pearson SW. Distal metatarsal osteotomy for intractable plantar keratoses. *Foot Ankle.* 1990;10:247–51.
25. Ruiz Ibán MA. La osteotomía de Weil en el tratamiento de las metatarsalgias de los radios centrales. *Rev Ortop Traumatol.* 2006;50:30.
26. Hofstaetter SG. The Weil osteotomy: a seven-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87:1507.
27. Henry J, Besse JL, Fessy NH. Distal osteotomy of the lateral metatars: a series of 72 cases comparing the Weil osteotomy and the DMMO percutaneous osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2011;97(6):57–65.
28. SooHoo NF, Vyas R, Samini D. Responsiveness of the foot function index, AOFAS clinical rating systems, and SF-36 after foot and ankle surgery. *Foot Ankle Int.* 2006;27:930–4.
29. Pena F, Agel J, Coetzee JC. Comparison of the MFA to the AOFAS outcome tool in a population undergoing total ankle replacement. *Foot Ankle Int.* 2007;28:788–93.
30. Highlander P, VonHerbulis E, Gonzalez A, Britt J, Buchman J. Complications of Weil osteotomy. *Foot Ankle Spec.* 2011;4:165–70.
31. Yeo NE, Loh B, Chen JY, Yew AK, Ng SY. Comparison of early outcome of Weil osteotomy and distal metatarsal mini-invasive osteotomy for lesser toe metatarsalgia. *J Orthop Surg.* 2016;24:350–3.
32. Jarde O, Hussenot D, Vimont E, Barouk LS, Ferre B, Raad GA. Weil's cervicocapital osteotomy for median metatarsalgia. Report of 70 cases. *Acta Orthop Belg.* 2001;67:139–48.
33. Miguez A. Floating-toe deformity as complication of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2004;25:609.
34. De Prado M, Cuevas- Mons M, Golanó P, Vaquero J. Distal metatarsal minimal invasive osteotomy (DMMO) for the treatment of metatarsalgia. *Techniq Foot Ankle Surg.* 2016;15(1):12–8.
35. Salinas -Gilbert JE, Lajara-Marco F, Ruiz-Herrera M. Distal percutaneous osteotomy in the treatment of lesser ray metatarsalgia. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2009;53(3):192–7.
36. Maestro M. Forefoot morphotype study and planning method for forefoot osteotomy. *Foot Ankle Clin.* 2003;8:695.
37. Johansen JK, Jordan M, Thomas M. Clinical and radiological outcomes after Weil osteotomy compares to distal metatarsal metaphyseal osteotomy in the treatment of metatarsalgia- a prospective study. *Foot Ankle Surg.* 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.03.002>.
38. Hernández-Martínez JC, Vázquez-Escamilla J, Coronado-Puente M. Short-term results of Weils osteotomy in patients with propulsive metatarsalgia. *Acta Ortop Mex.* 2017;31(1):48–52.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions





LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CERTIFICA

Que

LOPEZ VIGIL, MIGUEL

con Documento Identificativo nº **10901459B**

ha asistido al curso

PROPIEDAD INTELECTUAL Y PROPIEDAD INDUSTRIAL

desarrollado por esta Universidad dentro del **Programa de Formación Transversal de Doctorado del Centro Internacional de Postgrado** celebrado en las fechas siguientes

Fechas de impartición	4, 11, 18 Y 25 de mayo de 2015
Horas lectivas	20

Y para que conste, a los efectos oportunos, expide el presente Certificado en Oviedo a
3 de Julio de 2015

Código de Verificación Electrónica: 7d25fa28-ec4e-4f39-9cb6-5ad648447e9e Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección http://sede.uniovi.es/validador/codigoverificacion		
Validez de la firma	Desde 29/01/2014 11:46:49 GMT+0100, hasta 29/01/2017 11:46:49 GMT+0100	
Firmante	Universidad de Oviedo	
Emisor del certificado	CN=AC Administración Pública, O=FNMT-RCM, SERIALNUMBER=Q2826004J, C=ES, OU=CERES	
Fecha y hora	03/07/2015 13:29:59 GMT+0200	



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CERTIFICA

Que

MIGUEL LOPEZ VIGIL

con Documento Identificativo nº **10901459B**

ha asistido al curso

USO ÉTICO DE LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y DERECHOS DE AUTOR

desarrollado por esta Universidad dentro del **Programa de Formación Transversal de Doctorado** del **Centro Internacional de Postgrado** celebrado en las fechas siguientes

Fechas de impartición	11 y 12 de noviembre de 2016
Horas lectivas	20

Y para que conste, a los efectos oportunos, expide el presente Certificado en Oviedo a
25 de enero de 2017

Código de Verificación Electrónica: a5341bc4-10b5-4507-8595-f686fc5ac126 Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección http://sede.uniovi.es/validador/codigoverificacion		
Firmante	Universidad de Oviedo	
Fecha y hora de la firma	25/01/2017 14:11:32 GMT+0100	
Emisor del certificado firmante	O=FNMT-RCM, C=ES, OU=AC Componentes Informáticos	



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CERTIFICA

Que

MIGUEL LOPEZ VIGIL

con Documento Identificativo nº **10901459B**

ha asistido al curso

COMUNICACIÓN ORAL DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

desarrollado por esta Universidad dentro del **Programa de Formación Transversal de Doctorado** del **Centro Internacional de Postgrado** celebrado en las fechas siguientes

Fechas de impartición	23 y 24 de marzo de 2018
Horas lectivas	20

Y para que conste, a los efectos oportunos, expide el presente Certificado en Oviedo a
18 de mayo de 2018

Código de Verificación Electrónica: e60e1968-c529-49a8-b26d-ee4cd4503b8 Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección http://sede.uniovi.es/validador/codigoverificacion		
Firmante	Universidad de Oviedo	
Fecha y hora de la firma	18/05/2018 13:41:42 GMT+0200	
Emisor del certificado firmante	O=FNMT-RCM, C=ES, OU=AC Componentes Informáticos	



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CERTIFICA

Que

MIGUEL LOPEZ VIGIL

con Documento Identificativo nº **10901459B**

ha asistido al curso

CÓMO PUBLICAR EN REVISTAS CIENTÍFICAS DE IMPACTO

desarrollado por esta Universidad dentro del **Programa de Formación Transversal de Doctorado** del **Centro Internacional de Postgrado** celebrado en las fechas siguientes

Fechas de impartición	8 y 9 de junio de 2018
Horas lectivas	20

Y para que conste, a los efectos oportunos, expide el presente Certificado en Oviedo a
13 de julio de 2018

Código de Verificación Electrónica: e40f3949-5df6-45ed-9a9e-740156f4410c Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección http://sede.uniovi.es/validador/codigoverificacion		
Firmante	Universidad de Oviedo	
Fecha y hora de la firma	13/07/2018 10:28:22 GMT+0200	
Emisor del certificado firmante	O=FNMT-RCM, C=ES, OU=AC Componentes Informáticos	