

ANATOMÍA Y MECÁNICA DEL CALCÁNEO APLICADAS A SUS FRACTURAS Y OSTEOTOMÍAS

Dr. E. Maceira Suárez

Hospital Quirón. Pozuelo de Alarcón (Madrid)

Se describen en detalle la estructura anatómica del calcáneo y su embriología, para luego examinar sus características y propiedades biomecánicas tanto en reposo como durante la marcha. Estos datos se aplican seguidamente al estudio de las fracturas de este hueso y sus mecanismos y a los efectos mecánicos de las osteotomías del calcáneo durante la marcha. Finalmente, se comentan y discuten las técnicas quirúrgicas para la práctica de osteotomías del cuerpo del calcáneo.

PALABRAS CLAVE: Calcáneo. Anatomía. Embriología. Fracturas. Mecanismos fracturarios. Osteotomía. Técnica quirúrgica.

ANATOMY AND MECHANICS OF THE OS CALCANEUM AND THEIR APPLICATION TO ITS FRACTURES AND OSTEOTOMIES: The anatomical structure and embryology of the *os calcaneum* are first described in detail, followed by a discussion of its biomechanical characteristics and properties both at rest and during ambulation. These data are then applied to the study of the fractures of this bone, its fracture mechanisms and the mechanical effects of *os calcaneum* osteotomies during ambulation. Finally, the surgical techniques for osteotomies of the body of the *os calcaneum* are presented and discussed.

KEY WORDS: *Os calcaneum. Anatomy. Embriology. Fractures. Fracture mechanisms. Osteotomy. Surgical technique.*

INTRODUCCIÓN

Pisar, en latín, es *calcare*. Los romanos llamaban al talón *calcaneum* (de *calx, calcis*), por ser la parte del pie que pisaba al caminar. En español, al talón se le llamó ‘calcañar’, y al hueso responsable de su eminencia, ‘calcáneo’. También en Roma, la prenda para vestir el pie era el *calceus*, y de este término nos llegaron palabras como ‘calzado’, ‘calzador’ y ‘calzar’. En los pueblos germánicos, además del zapato, los pies se vestían con medias, a las que en latín se denominó *calcea*. Esas calzas se llevaban cada vez más largas, de forma que en la edad media llegaban hasta la cintura, pero más tarde se dividieron en una porción superior, las ‘calzas’ o ‘calzones’, que hoy se han quedado en ‘calzoncillos’ por su pequeño tamaño, y otra porción inferior, las ‘medias calzas’ o ‘calcetas’, que terminaron siendo nuestros ‘calcetines’. La acción de pisar, *calco* y *conculco*, también sirvió de origen a términos como ‘calzada’ –las vías romanas se allanaban apretando con el pie (*calce-ata via*)–; ‘calcar’ –la forma de obtener una copia de una superficie por presión con el pie

Correspondencia:

Dr. Ernesto Maceira Suárez

Hospital Quirón

c/ Diego de Velázquez, 1. 28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid)

Correo electrónico: E.MACEIRA@telefonica.net

Fecha de recepción: 21/05/08

era *calcare*–; ‘conculcar’ o ‘pisotear’ (*conculcare* –hollar algo con los pies y, por extensión, quebrantar una ley, obligación o principio–), e *inculcar* –apretar con fuerza algo contra otra cosa pisándola, o repetir con empeño muchas veces algo a alguien–.

Sirva este preámbulo –tomado de la serie de artículos titulados *Parentescos sorprendentes*, con el que el médico y traductor Fernando Navarro describió la relación entre el calcáneo y el calzoncillo⁽¹⁾– para recalcar (*recalcare*, pisar fuerte) el origen etimológico del calcáneo: es un hueso que tiene que ver con la acción de pisar.

ANATOMÍA

Se trata de un hueso voluminoso, el mayor del tarso, en el que ocupa su porción más posterior e inferior. Le Minor y Wolff estudiaron cuantitativamente una colección de 86 tarsos secos completos no documentada (sin datos conocidos de edad ni sexo), en la que el calcáneo suponía el 41,95% del peso del tarso y el astrágalo el 28,45%⁽²⁾. El tarso posterior (70,40%) es considerablemente mayor que el resto, existiendo una razón anterior-posterior de 0,42. Sin embargo, las columnas medial y lateral tienen unas proporciones similares (50,63 y 49,37%, respectivamente), con una razón lateral-medial de 0,98. Estructuralmente está compuesto de hueso predominantemente esponjoso y muestra una

disposición trabecular peculiar para trabajar tanto en condiciones de compresión (haces talámico y cuboideo) como ante sollicitaciones tensiles (haz tuberositario)⁽³⁾. El calcáneo es responsable del contorno del talón, relieve exclusivo del género *Homo* junto con la existencia de la bóveda plantar, de la que constituye su sustentación posterior. Se trata, probablemente, del elemento esquelético cuyas modificaciones adaptativas más influyeron en la consecución de la bipedestación y la marcha⁽⁴⁾. Entre las características clave definitorias de un calcáneo bípedo (o con tendencia a serlo), A. Isidro⁽⁴⁾ destaca: el aumento del volumen de la tuberosidad posterior, el aumento en la sección coronal mínima de la tuberosidad, la formación del proceso latero-plantar, la disminución de la tróclea peroneal, y el aumento del radio de curvatura del tálamo (se hace más plano) con disminución de su ángulo de sustentación.

La peculiaridad esquelética del talón humano se acompaña de otra estructura especializada, tanto desde el punto de vista morfológico como funcional; se trata de la almohadilla fibroadiposa plantar, que debe estar preparada para asumir la reiteración cíclica de impactos que supone la marcha, y las sollicitaciones mayores que producen algunos deportes o los traumatismos. Anatómicamente se trata de una estructura basada en una serie de tabicaciones verticales conjuntivas que, al unir el talón osteofibroso con la también especializada piel plantar, forman celdas ocupadas por tejido adiposo. Desde el punto de vista mecánico, se trata de un elemento especialmente adaptado para la absorción de energía ante sollicitaciones compresivas axiales y sollicitaciones a cizalleo, con un comportamiento viscoelástico (su módulo aumenta con la velocidad de aplicación de la carga), fruto de la presencia de un gel atrapado en una malla resistente a sollicitaciones tensiles. Se ha comprobado, con estudios elastográficos sobre resonancia magnética nuclear (RMN), que su módulo elástico al cizalleo también aumenta con la carga, a diferencia de lo que ocurre en el tejido graso de otras regiones⁽⁵⁾.

La localización del calcáneo y su participación en las inserciones de los tabiques aponeuróticos facilitan la producción de síndromes compartimentales como complicación de sus fracturas. El compartimento más frecuentemente afectado es el central. Al tratarse de una lesión dolorosa, puede no prestarse suficiente atención al principal signo clínico de alarma de la instauración del síndrome. Si éste no se calma tras la ferulización inicial de la lesión, algunos autores recomiendan la toma de presión intracompartimental y optar por una fasciotomía si la registrada está en los 30 mmHg en torno a la diastólica, difiriendo el tratamiento definitivo de la fractura⁽⁶⁾. Probablemente se trate de una complicación infradiagnosticada; no es infrecuente la deformidad en garra de los dedos en pacientes que, por lo demás, evolucionaron bien de la fractura.

La vascularización del calcáneo se produce a lo largo de toda su superficie no articular, lo que supone un aporte muy rico que, junto con el carácter esponjoso del hueso, facilita la consolidación de sus fracturas y osteotomías; la pseudoartrosis es excepcional y asociada a complicaciones relacionadas con el daño concomitante de las partes blandas o la infección⁽⁷⁾.

La superficie articular astragalina posterior, o tálamo, ocupa la zona intermedia de la cara dorsal del calcáneo. Su contorno es ovalado, algo más estrecho hacia afuera y adelante. Su eje mayor está exorrotado unos 45° con respecto al plano sagital⁽⁸⁾. Hay una evidente convexidad dorsal de la carilla articular a lo largo de su eje mayor, cuya tangente apical está inclinada hacia adelante y adentro, lo que permite describir una porción posteromedial a ella, que queda prácticamente en el plano transversal y otra anterolateral⁽⁸⁾. La porción apical del tálamo hace prominencia en sentido craneal con respecto a los extremos anterior y posterior de la cara dorsal del hueso; cuando se produce un hundimiento del tálamo, esa protrusión se pierde. Böhler describió el ángulo túberotalámico sobre estudios radiográficos, en un intento de cuantificar el hundimiento articular tras una fractura. Los valores del ángulo en huesos secos oscilan entre 30 y 35°⁽⁹⁾.

Tuvimos ocasión de estudiar una colección no documentada de 84 calcáneos secos, procedentes del Departamento de Anatomía y Embriología Humana 1 de la Universidad Complutense de Madrid, que fueron seleccionados en función de su estado de conservación. Los valores medios y las desviaciones estándar de algunos parámetros geométricos, medidos con pie de rey, fueron los siguientes: longitud del calcáneo: 73,20 mm ± 4,90; anchura máxima (a nivel del *sustentaculum*): 40,29 mm ± 3,39; anchura mínima: 25,90 mm ± 2,99; altura (tálamo-cara plantar): 40,26 mm ± 3,20; grosor del *sustentaculum*: 9,51 mm ± 1,06; diámetro mayor del tálamo: 28,92 mm ± 2,45; diámetro menor o transversal del tálamo: 21,59 mm ± 2,16; eje horizontal de la carilla cuboidea: 22,31 mm ± 2,32; eje vertical de la carilla cuboidea: 22,96 ± 2,62. Encontramos 43 huesos con morfología facetaria de tipo A (todas las facetas articulares astragalinas independientes), 41 de tipo B (fusión de las carillas anterior y media), y ninguno de tipo C (fusión de las tres)⁽¹⁰⁾.

Tradicionalmente se describe la faceta talámica como una sección de cono o de cilindro⁽⁹⁾; no hay que olvidar que el cilindro es un caso particular de cono. Sanz comprobó, mediante métodos estereofotogramétricos, la semejanza de su superficie con la de un sector de cilindro y cuantificó sus radios de curvatura entre 18 y 25 mm⁽¹¹⁾. Estudios más recientes, basados en la reconstrucción de superficies a partir de mallas 3D, han venido a corroborar la tesis de Sanz: no es parte de un cilindro perfecto, pero sí de uno muy similar. Las mallas generadas por las coordenadas (x, y, z) de los puntos localizados en la superficie de un objeto



Figura 1. Imágenes obtenidas a partir de una TAC convencional del tarso, digitalizada y procesada con el reconstructor 3D SurfDriver (www.surfdriver.com). **A)** Lonchas o slices del calcáneo. **B)** Edición de malla. **C)** Representación 3D de la superficie.

Figure 1. Images derived from a conventional CT scan of the tarsus, after digitalization and processing with the 3D SurfDriver reconstructor (www.surfdriver.com). **A)** Slices of the os calcaneum. **B)** Reticule edition. **C)** 3D rendering of the surface.

pueden obtenerse directamente con ayuda de escáneres de superficies, o indirectamente a partir de los contornos 2D seriados de los objetos a reconstruir en una serie de imágenes que representen lonchas superpuestas (*slices*) de espesor conocido y proporciones constantes (Figura 1)⁽¹²⁾. En la actualidad, los equipos de tomografía axial computarizada (TAC) y RMN disponen de las herramientas necesarias para generar las mallas 3D directamente⁽¹³⁾, con el inconveniente de que el registro que nos llega corresponde a unas cuantas proyecciones estáticas. En un presumiblemente breve plazo de tiempo, estaremos rotando mallas a nuestro antojo en la pantalla del ordenador de nuestro despacho. Existen programas asequibles con los que pueden generarse mallas 3D a partir de secciones 2D, editarlas, obtener imágenes y operar matemáticamente con ellas⁽¹⁴⁾. Se abre así el campo de la anatomía cuantitativa.

EMBRIOLOGÍA

El calcáneo embrionario aparece a la séptima semana del desarrollo (estadio 18). Su esbozo mesenquimatoso es pequeño, menor que el del astrágalo, alargado. Poco después irán apareciendo algunos rasgos morfológicos característicos: la porción posteroexterna de la tuberosidad (e 19), la tuberosidad posteromedial (e 20), y el *sustentaculum tali* (e 22). Al final del periodo embrionario su forma es similar a la del calcáneo adulto, y su tamaño ya supera al del astrágalo, pero sigue siendo relativamente corto⁽¹⁵⁾; el esqueleto del pie está completamente condricificado, con la totalidad de las futuras articulaciones sinoviales cavitadas (Figura 2). Precisamente esta cavitación puede estar ligeramente retrasada

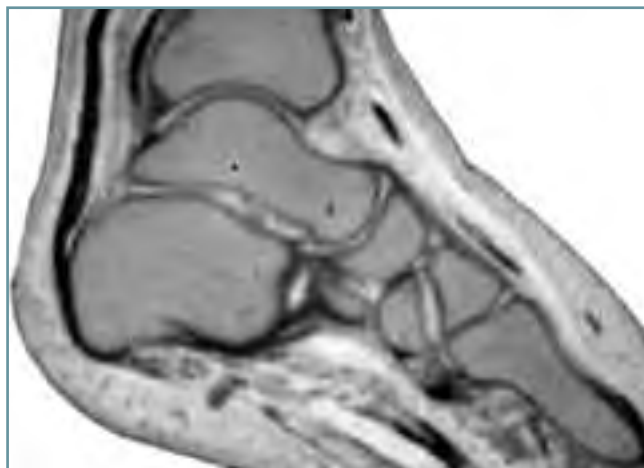


Figura 2. Final del periodo embrionario. Cavitación articular completa. Elementos esqueléticos condrales. El calcáneo es relativamente pequeño. Nótese la continuidad histológica del sistema aquileo-calcáneo-plantar. Cortesía del Departamento de Anatomía y Embriología Humana 1 de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid.

Figure 2. End of the embryonic period. Complete articular cavitation. Chondral skeletal elements. The os calcaneum is relatively small. Note the histologic continuity of the achilleo-calcaneo-plantar system. Courtesy of the 1st Department of Human Anatomy and Embriology, School of Medicine, "Complutense" University of Madrid (Madrid, Spain).

en el tarso; para que se verifique, es preciso que se haya producido una apoptosis o muerte celular programada, necrosis sin generación de respuesta inflamatoria, que haya hecho desaparecer la totalidad de la porción intermedia del tejido mesenquimal que en su día fue interzona de tres capas. Es también en el tarso donde con cierta frecuencia (al menos en un 1% de la población) tienen lugar fallos de segmentación que producirán coaliciones, de las cuales las más frecuentes implican al calcáneo⁽¹⁶⁾.

La osificación del tarso está ligeramente retrasada con respecto a la del metatarso y los dedos⁽¹⁵⁾. Para cuando el calcáneo muestra el primer indicio de osificación, ésta ya está muy avanzada en la práctica totalidad del antepié (Figura 3). El calcáneo es el primer hueso del tarso en desarrollar tejido óseo y lo hace habitualmente en forma de dos núcleos que pronto se funden en uno⁽¹⁷⁾. Curiosamente corresponden a las mismas porciones a las que da lugar el trazo primario de las fracturas articulares del calcáneo, una anteromedial sustentacular y otra mayor posterolateral que incluye el cuerpo y la tuberosidad. El centro lateral (4.º-5.º mes) no siempre existe, pero cuando aparece lo hace antes que el medial (5.º-6.º mes); es una concha de naturaleza pericondral que se localiza por detrás de la futura tróclea peroneal.



Figura 3. Feto de 167 mm (tinción alizarina). Las partes blandas se transparentan y ponen de manifiesto el tejido óseo. Los dedos de la mano están completamente osificados, mientras que en el pie llevan un ligero retraso. Se aprecian los dos núcleos de osificación del calcáneo: anteromedial y posterolateral. La osificación del tarso está retrasada con respecto a la del antepié. Cortesía del Departamento de Anatomía y Embriología Humana 1 de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid.

Figure 3. Alizarine-stained 167-mm-foetus. The soft tissues are rendered transparent so that the bony ones become manifest. The fingers are completely ossified, while the toes show a slight delay. The two ossification nuclei of the os calcaneum (anteromedial and postero-lateral) can be seen. The ossification of the tarsus is slightly delayed as compared to that of the forefoot. Courtesy of the 1st Department of Human Anatomy and Embriology, School of Medicine, "Complutense" University of Madrid (Madrid, Spain).

El anteromedial, de origen endocondral, se localiza en el tercio anterior del hueso (Figura 3). Cuando hay dos focos independientes, parecen coexistir durante un mes, para fusionarse después. En los nacidos a término, el núcleo unificado de osificación del calcáneo debe estar presente a modo de elipse. Rara vez puede presentarse un calcáneo bífido asintomático. Alrededor de los 2,5-3 meses de vida del

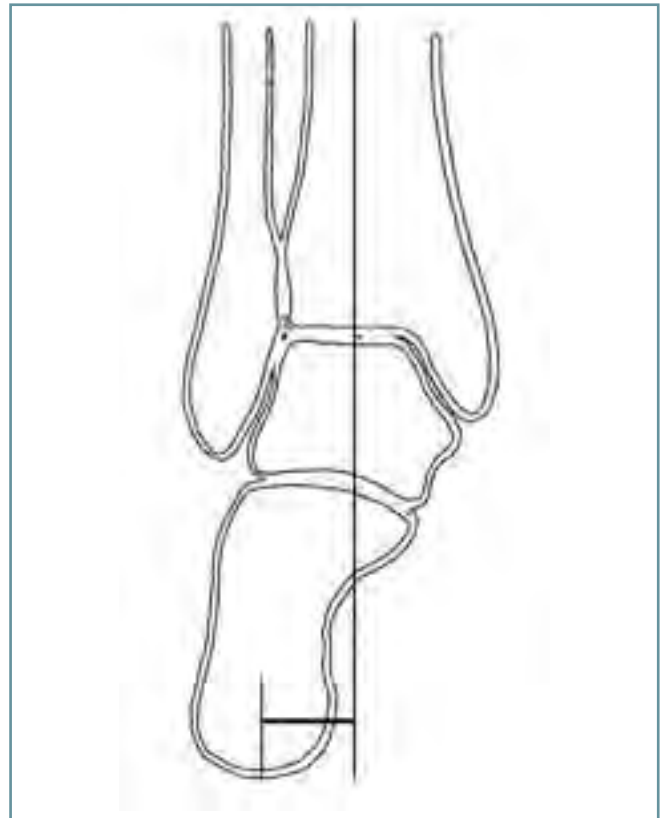


Figura 4. Mecanismo de desaxiación tibio-calcánea. El eje de la tibia cae sobre el astrágalo pero queda por dentro de la tuberosidad del calcáneo. Esto obliga al pie a pronar tras el contacto inicial, lo que arrastra a la pierna en rotación interna. Su disfunción supone la pérdida de la capacidad de amortiguación del complejo periastragalino.

Figure 4. Mechanism of tibio-calcaneal deaxiation. The axis of the tibia impinges on the os talus, but lies medial to the os calcaneum tuberosity. This forces the foot into pronation after the initial contact, carrying with it the whole leg into internal rotation. The dysfunction of this structure entails the loss of the cushioning ability of the periastragaline complex.

bebé, la superficie anterior del calcáneo se aplanan y se adapta al cuboideos; a los 4-6 meses se distinguen los tubérculos plantares, y a los 6-7 meses su longitud se ve considerablemente aumentada. El aplanamiento de sus facetas para el astrágalo y el desarrollo de un *sustentaculum tali* reconocible se produce en torno al primer año de vida, coincidiendo con el inicio de la marcha libre. El hueso adquiere su forma definitiva a los 5-6 años⁽¹⁷⁾.

El calcáneo tiene un núcleo secundario de osificación, lo cual constituye una excepción en los huesos del tarso. Se trata de una epífisis de tracción, asociada con la inserción del sistema suro-plantar, por lo que se le ha querido

comparar con el pisiforme. La porción ósea interpuesta, el sistema trabecular posterior o tuberositario del calcáneo, actúa como un gran sesamoideo, una rótula, que transmitiría la potencia flexora del tríceps sural al pie⁽³⁾. Ya desde el periodo embrionario se aprecia una continuidad histológica entre las estructuras que formarán el sistema aquileo-calcáneo-plantar (**Figura 2**)⁽¹⁸⁾. Ese núcleo secundario aparece por debajo de la línea media de la tuberosidad hacia los 5-6 años de edad en las niñas, y en torno a los 7-8 años en los niños, en forma de flóculos que van confluyendo hasta conformar el caperuzón alrededor de los 8 o 10 años dependiendo del sexo. Puede existir otra epifisis accesoria dorsal, que osifica unos 4 años más tarde. La enfermedad de Sever se entiende actualmente en el contexto de las lesiones o fracturas de estrés epifisarias por sollicitaciones en tracción⁽¹⁷⁾.

BIOMECÁNICA DEL CALCÁNEO

¿Cómo y cuánto se mueve el calcáneo? A nivel articular hay que considerar la subastragalina como una doble trocoide establecida entre dos segmentos rígidos, de forma que cada uno de ellos dispone de una carilla articular cilíndrica macho en un extremo, y hembra en el otro⁽¹⁹⁾. El tipo de contacto predominante en esa articulación es por deslizamiento, de modo que los centros instantáneos de rotación se situarán en un punto cercano al centro geométrico de las partes convexas: la cabeza del astrágalo y el cuerpo del calcáneo. La inclinación del eje que une esos centros instantáneos de rotación puede considerarse, desde el punto de vista clínico, en torno a 16° con respecto al plano sagital y de unos 42° con respecto al transversal en condiciones normales, como estimó Manter, aunque en realidad se trate de un racimo de ejes variables. Sobre ese eje actuarán unas fuerzas externas (fuerzas de reacción del suelo, peso corporal) y otras internas (acción muscular, acción de las partes blandas no contráctiles), que darán lugar a unos momentos externos e internos. Se estima que, del total del arco de movimiento, 1/3 corresponde a eversión y 2/3 a inversión⁽²⁰⁾. El movimiento de esta articulación influye en –y está influido por– el movimiento del resto del complejo periastragalino. La posición de una articulación puede condicionar el reparto de cargas en las vecinas; así, con el pie en flexión dorsal, aumenta el área de contacto entre las facetas subastragalinas, pero disminuyen las presiones, produciéndose el efecto contrario en la flexión plantar. La eversión aumenta las presiones, y la inversión hasta los 10° las disminuye⁽²¹⁾. La alteración funcional de la articulación subastragalina posterior tendrá repercusión en el resto del complejo; en el caso de las secuelas de las fracturas talámicas, son especialmente importantes en el tobillo, máxime si a la afectación funcional hay que añadir

un hundimiento del tarso posterior con horizontalización del astrágalo, que ofrecerá a la mortaja su porción más ancha.

El contacto inicial durante la marcha es un instante crítico muy demandante, pues el miembro que inicia el apoyo ha de frenar una caída libre⁽²²⁾. De ahí la gran especialización de todas las estructuras del talón, tanto esqueléticas como de partes blandas. La prolongación del eje de la tibia en sentido distal pasa por el centro del cuerpo del astrágalo, pero queda medial al del calcáneo (**Figura 4**). Esta disposición es la clave de la capacidad de amortiguación de las estructuras osteoarticulares tarsianas y se denomina **mecanismo de desaxación tibio-calcánea**. Al no ser coaxiales las líneas de acción de la fuerza de reacción del suelo y el peso corporal, se producirá en la subastragalina un momento externo eversor, pronador, tras el contacto inicial, que se asocia a una rotación interna obligada de la tibia. Una vez aprovechadas las ventajas de esta configuración laxa del pie (saco de huesos sueltos, adaptable al terreno y amortiguador), el proceso debe revertirse para conseguir hacer del pie una palanca rígida, de forma que el tríceps actúe sobre el punto de rotura metatarso-falángica durante la propulsión, y no sobre segmentos más proximales. En realidad, en la inversión subtalar, la cabeza del astrágalo se monta sobre la apófisis anterior del calcáneo; esta disposición coloca la columna interna sobre la externa, lo que confiere al pie un comportamiento óptimo en cuanto a resistencia anti-dorsiflexión (pie calcáneo) y en cuanto a capacidad de soportar sollicitaciones axiales (pie astragalino). La alternancia entre las configuraciones del pie laxa-eversión y rígida-inversión, junto con la capacidad de asumir las rotaciones axiales de la pierna a modo de cardán son las aportaciones principales de la articulación subastragalina al funcionamiento del pie. En relación con las fracturas de calcáneo, y dejando de lado el carácter articular de estas lesiones, hay que destacar la pérdida de la capacidad de amortiguación que pueden suponer las desviaciones de la tuberosidad, tanto en el sentido medial como en el lateral. En el primer caso, cuanto más coaxiales sean la tibia y la tuberosidad, menor será el momento pronador de las fuerzas de reacción del suelo: el varo siempre se tolera muy mal. En el segundo caso, la valguización del talón, que en general se tolera mejor, puede ser tan importante que el pie no pueda revertir la pronación tras el contacto inicial. Un amortiguador puede ser ineficaz por excesivamente duro o por excesivamente blando. Por otra parte, la acción del tríceps sural sobre el complejo periastragalino también se afectará al hacerlo sus brazos de momento: se hará inversor si la tuberosidad se medializa, y eversor si se lateraliza. El mecanismo de desaxación tibio-calcánea también es responsable de la aparición de fuerzas de cizalleo en el calcáneo al caer de pie. Esas fuerzas producen el trazo primario de la mayoría de las fracturas talámicas del hueso.

Un estudio cinemático *in vivo* durante la fase de apoyo, con un sistema electromagnético de captura de movimiento, registró una amplitud de inversión-eversión tibio-calcánea de 7,7°⁽²³⁾. Otros autores cuantificaron la amplitud de inversión-eversión subtalar durante la marcha en 8,3° con sistemas ópticos⁽²⁴⁾. Con estereofotogrametría, empleando pines intraóseos en *cluster*, para registrar el movimiento de la tibia, el peroné, astrágalo y calcáneo de voluntarios sanos, un estudio registró una amplitud media de eversión/inversión de 6,3° y 8,3°, respectivamente⁽²⁵⁾. De estos estudios se deduce que, en condiciones normales, la amplitud potencial del movimiento subtalar es, al menos, tres veces mayor que la que se necesita durante la marcha normal, por lo que no toda rigidez postraumática, que se producirá inevitablemente tras la fractura, se acompañará necesariamente de alteraciones funcionales mayores.

¿Cómo se rompe el calcáneo? Las fracturas extraarticulares suelen deberse a solicitaciones tensiles de las partes blandas, y las de estrés, a la reiteración excesiva de fuerzas compresivas subumbrales en un hueso normal (fractura por sobrecarga) o a la reiteración normal de solicitaciones sobre un hueso anormal (fracturas por insuficiencia)⁽²⁶⁾. El accidente que con mayor frecuencia produce fracturas articulares de calcáneo es la caída, de pie, desde una altura superior a 1 metro⁽²⁷⁾. Dado el predominio del momento inversor con respecto al eversor que los músculos generan en el complejo peritalar, es muy probable que el calcáneo esté supinado, intrarrotado y en flexión plantar con respecto a los segmentos superiores en el momento del impacto. El astrágalo entonces se clava sobre el calcáneo y genera un cizalleo al formar un par de fuerzas con las de reacción del suelo, que se transmiten desde la tuberosidad. El trazo de fractura que genera ese par sigue un trayecto más o menos sagital, inclinado, de forma que produce un fragmento anteromedial y otro posterolateral. Esta línea de fractura por cizalleo corresponde al trazo primario de Warrick y Bremner⁽²⁷⁾, que en la terminología francesa se conoce como fractura-separación.

Si la localización de este trazo primario de fractura es muy medial, puede dar lugar a un único fragmento sustentacular (el de tipo 1 de Duparc), pero lo más frecuente es que esté lo suficientemente lateralizado como para interesar el tálamo en menor o mayor extensión⁽²⁸⁾. El fragmento sustentacular queda solidarizado al astrágalo por la inserción del ligamento deltoideo y por el ligamento interóseo del canal del tarso. El fragmento posteromedial, que incluye la tuberosidad y el cuerpo del calcáneo, gira en supinación a la vez que es despedido hacia afuera. Salvo en el caso –poco probable– de que los ligamentos astrágalo-calcáneos laterales y el peroneo-calcáneo cedan, el gran fragmento tuberotalámico quedará preso para que el astrágalo lo aplaste, ahora ya por compresión. Cuando fallan los elementos de retención, el fragmento tuberotalámico puede escaparse hacia afuera,

con lo que se produciría una fractura de tipo 2 de Duparc: la llamada fractura-luxación de calcáneo, de mucho mejor pronóstico que cuando el tálamo sufre la compresión⁽²⁸⁾. Por el extremo anterior del hueso, el trazo primario puede afectar a la faceta cuboidea o salir más externamente hacia el ángulo de Gissane⁽²⁷⁾.

El segundo tipo de carga a la que el astrágalo someterá al fragmento posterolateral es la compresión, con la que completará su papel de “verdugo”. En función de la energía restante, podrá romper la cortical plantar o no, y dar lugar a más o menos fragmentos de conminución. Duparc incluía en el tipo 3 las fracturas con cortical plantar íntegra, y en el 4 las que presentaban una solución de continuidad plantar. En ambos tipos, distinguía que la dirección neta de la compresión (hundimiento, *enfoulement*) fuese vertical u horizontal con respecto al calcáneo considerado en posición anatómica⁽²⁷⁾. Si el predominio del hundimiento es vertical, el tálamo se horizontalizará, y si la resultante es horizontal, el tálamo quedará verticalizado. En la terminología anglosajona, el hundimiento vertical corresponde al *joint-depression type*⁽²⁸⁾. Cuando el hundimiento es horizontal, la morfología resultante de la fractura corresponde a la fractura en lengüeta (*tongue type*), o al fragmento en cometa de Soeur y Remy si además se fractura transversalmente el margen posterior del tálamo a modo de bisagra^(27,29). Uno u otro tipo de hundimiento se producirán en función de la posición relativa del astrágalo, el calcáneo y el suelo durante el impacto.

El fracaso calcáneo, fractura de tipo 5, calcáneo en secante, barca o banana, o simplemente conminución calcánea, se debe a los impactos de mayor energía.

La acción del tríceps sural ascenderá la tuberosidad.

La extensión de las fracturas de calcáneo a la carilla cuboidea no parece ser por sí misma un factor determinante en la evolución, si bien es cierto que cuando se presenta suele acompañar a afectaciones mayores del tálamo⁽²⁹⁾. Probablemente la conminución del tálamo y la lesión de las partes blandas sean los factores pronósticos más importantes.

Mulcahy *et al.* estudiaron las características del contacto en la interlínea subtalar intacta, fracturada experimentalmente, y tras su reducción y síntesis⁽³⁰⁾. Destacan que, aunque pueden producir fracturas de calcáneo con facilidad, aplicando cargas axiales en una bancada de test, los trazos que obtenían eran tan dispares que los resultados tras la síntesis no eran comparables. Optaron entonces por producir fracturas controladas mediante osteotomías, reproduciendo en todos los casos la línea primaria de fractura, de forma que la superficie talámica quedase dividida entre los dos fragmentos, anteromedial y posterolateral, con independencia de que después se asociase un efecto de depresión articular. Con pequeñas depresiones de 1 mm de incongruencia el área de contacto se reduce en un 17%, pero con depresiones de 2 mm la disminución es del 50%,

lo que condena al remanente. El propio Sanders describe como reducción casi anatómica la que se acompaña de un desnivel menor de 3 mm, por lo que no es de extrañar que resultados buenos desde el punto de vista radiológico en los controles iniciales se acompañen de cambios artrósicos en poco tiempo⁽³⁰⁾. También es cierto que esa artrosis puede no producir síntomas, e incluso no ser responsable de una talalgia postraumática por el hecho de estar presente. En el diagnóstico diferencial de las secuelas dolorosas de las fracturas talámicas del calcáneo, además de la artrosis, hay que incluir: los síndromes de atrapamiento de los canales colaterales, fundamentalmente el lateral, con las tendinopatías por atrapamiento o luxación de los peroneos, que se ven empujados por la pared externa abombada del calcáneo, y las posibles neuropatías por irritación del sural; los cuadros dolorosos primariamente por desequilibrio mecánico, relacionados con la pérdida o malposición del brazo de momento calcáneo; las talalgias por afectación de la almohadilla fibroadiposa plantar, y, finalmente, las lesiones que con frecuencia pueden aparecer asociadas en cada caso.

Puede admitirse como utópica la restitución anatómica del tálamo cuando esté surcado por tres o más fragmentos, pero eso no impide la restitución de otros parámetros muy importantes en la arquitectura del calcáneo, como son la anchura del cuerpo, su longitud y la posición de la tuberosidad. De ellos dependerán la conservación de la eminencia del talón y el comportamiento futuro del hueso como brazo de momento del sistema aquileo-calcáneo-plantar. Su afectación producirá, además, alteraciones degenerativas por sobrecarga en la interlínea tibio-tarsiana.

Con respecto al comportamiento mecánico de los distintos métodos de síntesis de estas fracturas, es importante considerar que, en caso de existir una solución de continuidad transversal completa entre las porciones anterior y posterior del hueso, será necesario solidarizarlas, sea mediante el uso de placas o con tornillos longitudinales⁽³¹⁾. El trazo primario, la fractura-separación, precisará de una compresión transversal.

EL CALCÁNEO DURANTE LA MARCHA. EFECTOS MECÁNICOS DE LAS OSTEOTOMÍAS DE CALCÁNEO

El pie calcáneo es el protagonista del contacto inicial. Debe asumir el impacto de una caída libre y amortiguarlo. Durante el primer rocker, la interfaz pie-suelo se reduce al talón. Durante el segundo rocker, cuando el apoyo es plantígrado, la carga se transfiere progresivamente del pie calcáneo al astragalino. En el tercer rocker, el protagonista en la asunción de la carga compresiva axial es el pie astragalino, pero el calcáneo sirve de carretilla al astrágalo para elevarlo, gracias a la acción del tríceps sural^(22,32).

En la amortiguación participan las partes blandas del talón y, sobre todo, la pronación pasiva del pie, que se debe al mecanismo de desaxación tibio-calcánea (**Figura 4**).

Ningún músculo mueve el astrágalo de forma directa, pues está libre de inserciones musculares. Las fuerzas de reacción del suelo, que actúan sobre el talón, y el peso corporal, que se transmite a lo largo del eje de la pierna, no son coaxiales, merced al mecanismo de desaxación tibio-calcánea. Ambas forman un par de fuerzas que actuará sobre el astrágalo y obligarán al pie a pronar. El brazo de momento pronador de ese par de fuerzas será mayor cuanto más separadas estén sus líneas de acción. Cuanto más lateralizada quede la tuberosidad del calcáneo con respecto al eje de la tibia, más pronará el pie. Si ambas fuerzas fueran coaxiales, el momento pronador sería nulo. Si la tuberosidad quedase por dentro de la proyección de la tibia, se produciría un momento supinador del pie. En estas dos circunstancias, el complejo periastragalino pierde su capacidad de amortiguación, lo que puede dar lugar a lesiones por sobrecarga en la tibia y la rodilla, en el caso de los pies supinadores, y en el peroné y el antepié, en los pronadores. Por otra parte, en los pies pronados se sobrecargarán las partes blandas mediales, y en los supinadores, las laterales.

Las osteotomías con capacidad de traslación de la tuberosidad en dirección transversal aumentan el brazo de momento pronador cuando se lateraliza la tuberosidad, y lo disminuyen cuando se medializa (**Figura 5**).

La pronación del pie conlleva una intrarrotación del astrágalo. La disposición de la mortaja tibio-peroneo-astragalina, con el maleolo medial adelantado con respecto al lateral, hace que la intrarrotación del astrágalo se transmita muy bien a la pierna, mientras que la exorrotación de la pierna se transmite muy bien al astrágalo (y no al revés)⁽³³⁾. Tras el contacto inicial, la pronación del pie lleva acoplada una rotación interna de la pierna, que se produce de forma pasiva, por un momento intrarrotador externo. En torno al 10% del ciclo comienza la actividad eléctrica del músculo tibial posterior, primero en activarse de los músculos que cruzan el tobillo por detrás de su eje transversal⁽³⁴⁾. La acción del tibial posterior genera un momento exorrotador interno sobre la pierna, que primero frena (acción excéntrica) y luego revierte (acción concéntrica) la rotación de la pierna⁽³⁵⁾. La exorrotación de la pierna es, por tanto, una acción activa (momento interno), protagonizada por el tibial posterior, que puede ser ayudado por el flexor común de los dedos y el flexor propio del dedo gordo, si bien estos dos músculos disponen de menor brazo de momento exorrotador de la pierna, por estar más cerca de su eje, y además sus áreas de sección fisiológica son 1/4 y 1/2 de la del tibial posterior, respectivamente.

La osteotomía de Koutsogiannis⁽³⁶⁾, probablemente la más empleada en los síndromes de inversión deficiente en estadio 2, consiste en el deslizamiento medial de la tuberosidad,

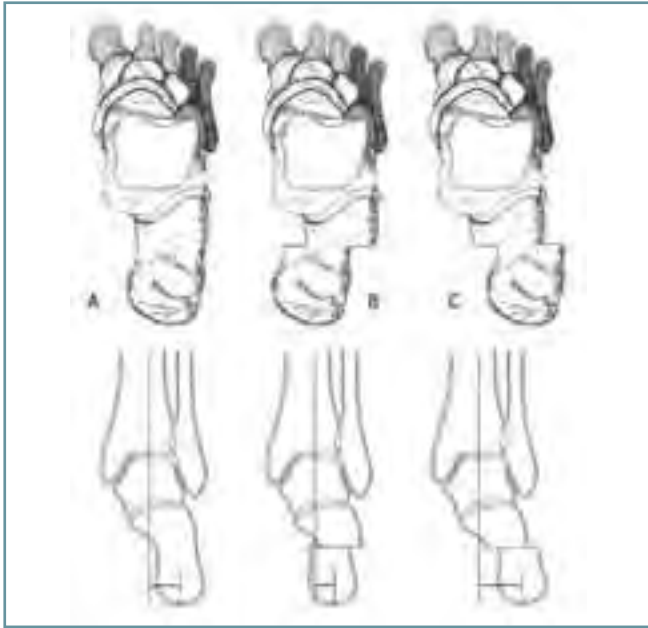


Figura 5. Consecuencias del desplazamiento medial (B) o lateral (C) de la tuberosidad del calcáneo, sobre el brazo de momento pronador externo de la subastragalina. La medialización de la tuberosidad (efecto Koutsogiannis) reduce la desaxiación tibiocalcánea; cuando el tendón tibial posterior está lesionado, agradece más que le quiten trabajo que el que lo potencien con otras partes blandas. Por su parte, los tendones peroneos se benefician del efecto inverso.

Figure 5. Consequences of the medial (B) or lateral (C) displacement of the os calcaneum tuberosity on the external pronation momentum arm of the subastragline joint. The medial displacement of the tuberosity (Koutsogiannis effect) reduces the tibio-calcaneal deaxiation; when the M. tibialis posterior tendon is injured, it is better to reduce its workload than to potentiate it with other soft tissues. The Mm. fibulares tendons, on the other hand, benefit from the inverse effect.

de aproximadamente unos 10 mm. En el pie plano flexible del adulto, suele asociarse a un alargamiento del tendón de Aquiles y a gestos quirúrgicos sobre las partes blandas mediales del complejo periastragalino (Figura 6). El tibial posterior agradece más que le quiten trabajo (reducir el brazo de momento pronador) que el que le ayuden activamente en su acción. Las transferencias tendinosas son eficaces como restauradoras de continuidad tendinosa, pero es discutible que su aportación a la fuerza de inversión sea relevante.

Otras osteotomías modifican la longitud del calcáneo. Las osteotomías de alargamiento del calcáneo aumentan la longitud de la columna externa del pie (efecto Evans) cuando se realizan por delante del tálamo, o aumentan el brazo de momento del tríceps sural cuando se realizan por detrás de él.



Figura 6. Osteotomía de Koutsogiannis en un síndrome de inversión deficiente en estadio 2 (deformidad flexible). En este caso se realizó también un alargamiento del tendón de Aquiles y una transferencia del flexor común de los dedos al tibial posterior.

Figure 6. Koutsogiannis' osteotomy in a stage 2 (flexible deformity) deficient inversion syndrome. In this particular case, lengthening of the tendo achilleus and transference of the flexor digitorum communis to the tibialis posterior were also performed.

La osteotomía de Evans⁽³⁷⁾ se realiza sobre un plano coronal, en el espacio pretalámico del calcáneo, a no menos de 1 cm de la superficie cuboidea (Figura 7). Con ayuda de un separador de láminas se distrae el foco, para insertar un injerto espaciador que empuje desde atrás hacia adelante al cuboides. Este gesto produce dos efectos mecánicos en el pie astragalino, la columna interna. El escafoides se ve empujado hacia adentro y arriba. La intrarrotación de la interlínea de Chopart mejora la cobertura talonavicular, siendo especialmente útil en deformidades por síndromes de inversión deficiente en las que predomine la abducción del pie⁽³⁸⁾. La elevación del borde interno del pie que conlleva puede hacer necesaria una osteotomía adicional de flexión plantar en la primera cuña, o una artrodesis de la primera cúneo-metatarsiana en flexión plantar, para que la cabeza de M1 no deje de contactar con el suelo⁽³⁹⁾ (Figura 8). Un problema frecuente en la osteotomía de Evans es la sobrecarga de la articulación calcáneo-cuboides. La mayoría de los autores recomienda que el efecto espaciador del injerto sea de 1 cm. Deland comprobó que el dolor o las molestias en el borde exterior del pie, que

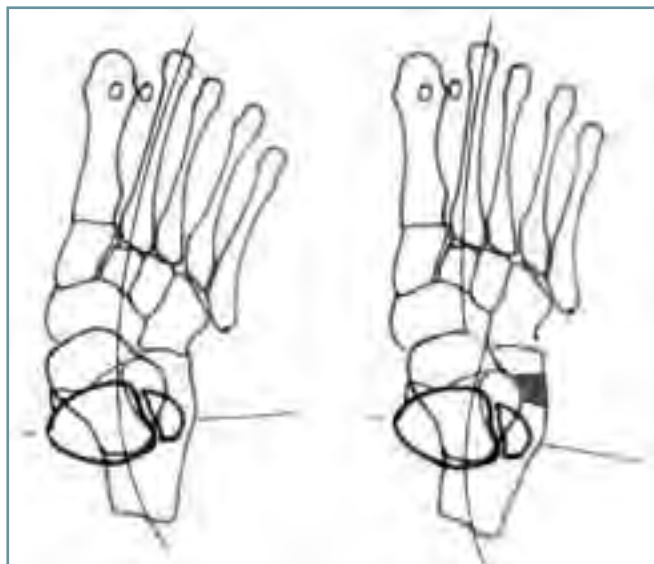


Figura 7. La osteotomía de Evans alarga el calcáneo por delante del tálamo, por lo que también alarga la porción anterior de la columna externa. El cuboide se ve empujado hacia adelante, lo que produce una intrarrotación a nivel de la articulación de Chopart. De esta forma, el escafoide proporciona cobertura a la cabeza del astrágalo, y se relaja el ligamento calcáneo-escafoideo plantar.

Figure 7. The Evans' osteotomy lengthens the os calcaneum anterior to the thalamus, and thus also lengthens the anterior portion of the external column. The os cuboideum is pushed forwards, causing intrarotation at Chopart's joint. In this way, the os naviculare provides coverage to the head of the os talus, and the plantar calcaneo-navicular ligament is relaxed.

con cierta frecuencia aparecen tras la operación de Evans, guardan relación con la aparición de rigidez en el complejo periastragalino⁽⁴⁰⁾. Por eso recomienda probar la distancia de espaciamiento con el separador de láminas, y comprobar que la movilidad del complejo sea adecuada, antes de implantar el injerto.

La restauración de la longitud del calcáneo, para que el brazo de momento del sistema aquileo-calcáneo-plantar sea eficaz, se consigue con osteotomías retrolámicas. Una muy útil en las secuelas de las fracturas de calcáneo es la oblicua, de anterior medial a posterior lateral, porque, además de alargar la tuberosidad, estrecha el hueso en dirección transversal, efecto frecuentemente necesario. Esta intervención se realiza a través de un abordaje en "L" ampliado. Si además se quiere descender la tuberosidad, será necesario alargar el tendón de Aquiles y asociar en el foco de osteotomía un efecto de flexión plantar de la misma o, mejor, una distracción subtalar, previa a la implantación de un injerto estructural para artrodesis⁽⁴¹⁾ (Figura 9).



Figura 8. Imágenes radiográficas de un pie plano valgo abducto, tratado con osteotomía de Evans y artrodesis plantoflexora de la primera cúneo-metatarsiana según Lapidus, para contrarrestar la elevación del primer radio a que puede dar lugar el alargamiento de la columna interna. Cortesía del Dr. Mark Myerson.

Figure 8. X-ray images of a pes plano-valgus abductus treated with Evans' osteotomy and planto-flexor arthrodesis of the first cuneo-metatarsal joint according to Lapidus in order to counteract the elevation of the first radius that may be caused by the lengthening of the internal column. Courtesy of Dr. Mark Myerson.

Los efectos de elevación o descenso de la tuberosidad pueden conseguirse con osteotomías planas o curvas. Las planas de descenso pueden ser útiles en aplanamientos del pie postraumáticos⁽⁴²⁾. También pueden asociarse esos efectos a las osteotomías de traslación transversal (Figura 10).

La osteotomía de Zadek consiste en la resección de una cuña de base dorsal, por delante de la tuberosidad⁽⁴³⁾. Una vez cerrada, verticaliza y adelanta la interfaz entre el tendón de Aquiles y la cara posterior de la tuberosidad, lo que disminuye la fricción entre ambos. Es útil en las deformidades de Haglund.

TÉCNICA QUIRÚRGICA DE LAS OSTEOTOMÍAS DEL CUERPO DEL CALCÁNEO

Paciente en decúbito lateral sobre el lado sano. El miembro contrario se flexiona y se mantiene extendido el que se va a intervenir. La cintura pelviana se fija a la mesa de operaciones, a cuyos pies se sitúa el cirujano. Alternativamente puede colocarse al paciente en decúbito supino, para lo que es necesaria la rotación interna de la extremidad a intervenir.



Figura 9. Técnica de Romash para el restablecimiento del brazo de momento del sistema aquileo-calcáneo-plantar tras las fracturas de calcáneo. La longitud se restituye con una osteotomía oblicua que además estrecha el hueso. El descenso de la tuberosidad, en este caso, se consiguió con un alargamiento del tendón de Aquiles y la realización de una artrodesis con interposición de aloinjerto.

Figure 9. The Romash technique for restoring the momentum arm of the achilleo-calcaneo-plantar system after fractures of the os calcaneum. The length is restored with an oblique osteotomy, which furthermore narrows the bone. In the present case, descent of the tuberosity was achieved through lengthening of the tendo achilleus and arthrodesis with allo-implant interposition.

1. Se realiza una incisión cutánea rectilínea o ligeramente cóncava hacia arriba y adelante, justo por detrás del trayecto teórico del nervio sural, que como sabemos acompaña a los tendones peroneos a este nivel. Dado que el trayecto real del nervio es variable, como también lo es el número y la disposición de las ramitas que envía al talón, la incisión inicial debe limitarse a la piel, y preparar un lecho en el tejido celular subcutáneo para alcanzar el hueso sin lesionar esas estructuras neurales. La vena safena externa y sus ramas acompañan al nervio, por lo que puede ser necesaria su ligadura o electrocoagulación (**Figura 11**).

2. El nervio debe rechazarse hacia el labio craneal y ventral de la herida, tras lo cual se desperiostiza el calcáneo hasta exponer una superficie de aproximadamente 1 cm de longitud axial de toda la cara externa del hueso. Subperióticamente se colocan dos separadores de palanca de tipo Hohmann en las superficies dorsal y plantar del hueso.

3. La osteotomía, en cualquier caso, deberá seguir una orientación más o menos perpendicular al eje longitudinal del cuerpo del calcáneo; puede marcarse a escoplo, para ser realizada a motor con una hoja de sierra de unos 3 o 4 cm de longitud.

4. Para conseguir un efecto Dwyer es preferible no completar la osteotomía por el lado medial⁽⁴⁴⁾; se diseña y reseca una cuña de base externa que permita angular hacia afuera la tuberosidad en la magnitud deseada (entre 5 y 10 mm). La localización de la osteotomía de Dwyer en sentido anteroposterior es muy importante; a igualdad en el grosor de la cuña, el efecto lateralizador de la osteotomía será menor cuanto más cercana a la tuberosidad se haga la osteotomía. Si no se consigue cerrar la osteotomía manipulando la tuberosidad, puede ser necesario ayudarse de un clavo de Steinmann insertado desde el vértice del talón. Dada la gravedad potencial de una osteitis a este nivel, desaconsejamos totalmente el uso del clavo para mantener la corrección en el postope-

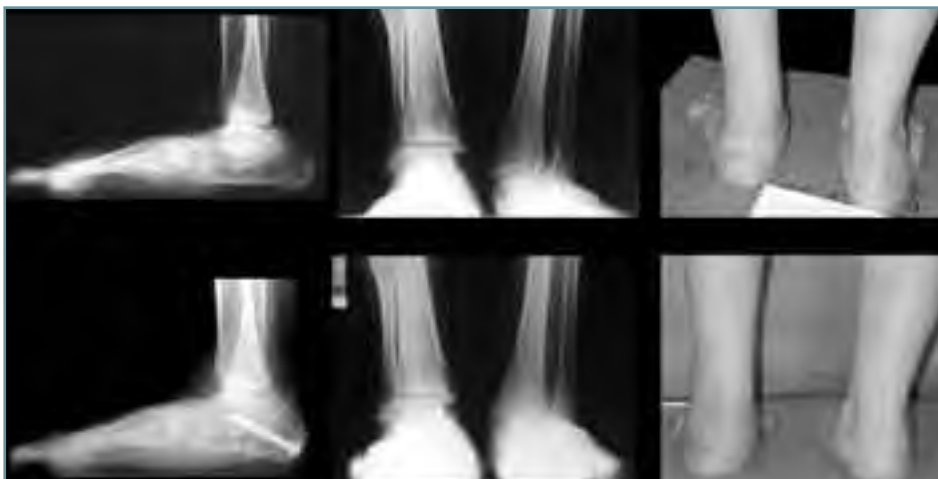


Figura 10. Compromiso calcáneo fibular en una coalición tarsiana compleja con tobillo cóncavo-convexo. Se realizó una osteotomía de Koutsogiannis a la que se asoció un cierto efecto de descenso de la tuberosidad. Clínicamente se resolvió el pinzamiento peroneo-calcáneo.

Figure 10. Calcaneo-fibular impingement in a case of complex tarsal coalition with concave-convex ankle. A Koutsogiannis' osteotomy was performed, with associated slight descent effect of the tuberosity. Clinically, the calcaneo-fibular impingement was resolved.

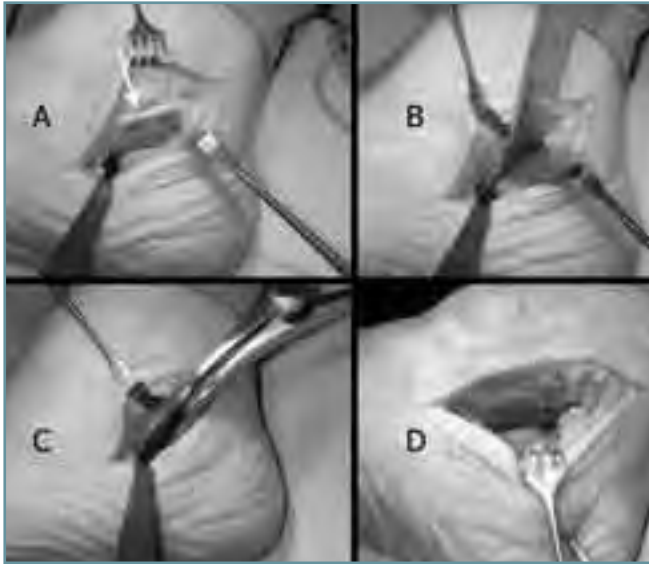


Figura 11. Técnica quirúrgica de la osteotomía de Koutsogiannis. **A)** Abordaje, identificación (flecha) del nervio sural. Si la incisión es suficientemente posterior, el nervio sural quedará en el labio anterosuperior de la herida sin que llegue a visualizarse. **B)** La osteotomía se marca a escoplo y se realiza a motor. **C)** El separador de láminas es útil para completar la movilización de la tuberosidad. **D)** Tras el desplazamiento medial deseado de la tuberosidad, habitualmente en torno a los 10 mm, se fija temporalmente antes de implantar el/los tornillos axiales a compresión.

Figure 11. Surgical technique of the Koutsogiannis' osteotomy. **A)** Approach and identification of the N. suralis (arrow). If the incision is sufficiently posterior, the N. suralis will lie in the antero-superior margin of the surgical wound and will not be visualized. **B)** The osteotomy is marked with a chisel and performed with a motor tool. **C)** The blade separator is useful for completing the mobilization of the tuberosity. **D)** After achieving the desired medial displacement of the tuberosity (usually about 10 mm), this is temporarily fixed in position before implanting the axial compression screw or screws.

ratorio, siendo muy apropiada para esta misión una grapa simple o de compresión⁽⁴⁵⁾. La osteotomía también puede fijarse con un tornillo axial (**Figura 12**).

5. Para conseguir un efecto Koutsogiannis es necesario asegurarse de haber completado la osteotomía por el lado medial; para ello nos ayudaremos de escoplos finos o, mejor, de un separador de láminas (pinzas de Liston) sin dientes (**Figura 11B**). La mayoría de los autores que realizan este procedimiento como tratamiento de los síndromes de inversión deficiente del pie (por ejemplo, la insuficiencia del tendón tibial posterior en su estadio 2) recomiendan desplazar 1 cm la tuberosidad en dirección medial⁽⁴⁶⁾. Una vez conseguido el desplazamiento deseado, se fija temporalmente la osteotomía con ayuda de una aguja de Kirschner colocada desde



Figura 12. Combinación de artrodesis subastragalina y osteotomía de Dwyer en un pie equino-varo postraumático. Lesión por arma de fuego de alta energía, con destrucción de los peroneos y lesión del nervio peroneo profundo distal al tibial anterior. La intervención se complementó con un alargamiento abierto del tendón de Aquiles y una transferencia de hemitendón tibial anterior al cuboideas.

Figure 12. Combination of subtalar arthrodesis and Dwyer's osteotomy in a post-traumatic pes equino-varus. High-energy gunshot wound with destruction of the Mm. fibulares tendons and damage to the N. fibularis profundus distal to the tibialis anterior tendon. The surgical intervention was completed with open lengthening of the tendo achilleus and transference of the tibialis anterior hemitendon to the os cuboideas.

el talón, de modo que no estorbe a la hora de implantar el material de síntesis definitivo (si va a ser un tornillo canulado, el punto de entrada de la aguja debe situarse en la región posterolateral del calcáneo).

El mejor procedimiento de síntesis de esta osteotomía es la colocación de uno o dos tornillos de rosca parcial. Los tornillos deben solidarizar y comprimir los fragmentos, de modo que se inserte desde el margen lateral y posterior del hueso, para alcanzar la apófisis anterior del calcáneo o su región subtalámica. Durante la intervención debe controlarse su posición con el intensificador de imágenes, pero su inserción se realiza mediante triangulación, con un ayudante que tenga línea de visión perpendicular a la del cirujano⁽⁴²⁾.



Figura 13. Técnica quirúrgica de la osteotomía de lateralización de la tuberosidad del calcáneo (efecto Koutsogiannis inverso).

Figure 13. Surgical technique of the os calcaneum tuberosity lateralization osteotomy (inverse Koutsogiannis' effect).

6. El efecto Koutsogiannis inverso consiste en el aumento del brazo de momento pronador de la subastragalina, y se consigue lateralizando la tuberosidad. La osteotomía es la misma. El tornillo puede implantarse en la porción central de la tuberosidad⁽⁴²⁾. Es una intervención eficaz en el tratamiento de las tendinopatías de los peroneos, en las que casi siempre hay un componente previo de varización subtalar (**Figuras 13-15**).

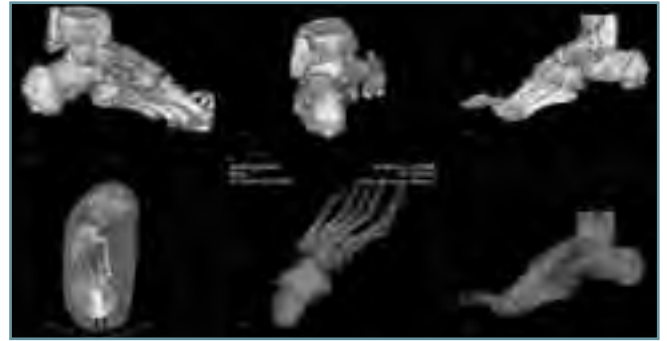


Figura 14. TAC y reconstrucciones 3D del caso de las Figuras 13 y 15. La arista externa del fragmento tuberositario puede resultar molesta hasta que se remodele la osteotomía. Puede optarse por biseclarla tras la osteosíntesis. Este caso se complementó con una osteotomía de elevación de la base de M1.

Figure 14. CT scan and 3D reconstructions of the case illustrated in Figures 13 and 15. The external border of the tuberosity fragment may be a hindrance until the osteotomy is remodelled; a possibility is to bevel it after the osteosynthesis. The present case was complemented with an elevation osteotomy of the base of M1.

7. En cualquiera de sus variantes, el tratamiento postoperatorio de una osteotomía de calcáneo debe incluir el uso de un botín de yeso durante un mínimo de 2 meses y permitir el apoyo con bastones a las 3 semanas. Con el empleo de tornillos, y si el trazo de osteotomía no está verticalizado, la síntesis es tan estable que pueden usarse ortesis removibles tipo *walker* en lugar de escayolas.

Estructuras en riesgo

El nervio sural es la estructura sometida a mayor riesgo de lesión en este tipo de intervenciones. Aunque su lesión no es grave desde un punto de vista funcional, debe advertirse al paciente de la posibilidad de que se produzca. La primera parte de la intervención gira en torno a su protección, y la gran variabilidad que presenta en su trayecto y distribución nos obliga a ser particularmente cuidadosos con él.

El paquete vásculo-nervioso tibial posterior no debería correr riesgo si la localización y ejecución de la osteotomía son adecuadas. Su trayecto es proximal y ventral al foco, y sólo los ramos calcáneos internos (que abandonaron el nervio tibial posterior por encima del retináculo interno para hacerse superficiales tras perforar este último) cruzan el trayecto teórico de la osteotomía. Además, el lado medial del hueso está tapizado por inserciones musculares.

La piel es un órgano especialmente vulnerable en esta región, sobre todo si se trata de pacientes con secuelas postraumáticas.



Figura 15. Aspecto clínico preoperatorio (A) y postoperatorio (B) de un paciente con tendinopatía de los peroneos secundaria a varización subtalar, sometido a una osteotomía de Koutsogiannis inversa.

Figure 15. Clinical pre- (A) and postoperative (B) aspect of a patient with Mm. fibulares tendinopathy secondary to subtalar varization managed with an inverse Koutsogiannis' osteotomy.

ABORDAJE AMPLIADO DEL CALCÁNEO

El abordaje transversal directo de la subastragalina ofrece una visión muy buena de la articulación, pero con frecuencia da lugar a complicaciones cutáneas, neurales y tendinosas: necrosis y dehiscencias de la herida por tracción excesiva, parestesias en el territorio del nervio sural transitorias o definitivas, tendinopatías de los peroneos. Por este motivo, se describió un abordaje ampliado (en principio, para el tratamiento de las fracturas de calcáneo), que presenta algunos inconvenientes, pero minimiza las complicaciones reseñadas^(45,47).

Técnica quirúrgica

1. Con el paciente en decúbito lateral sobre el miembro sano, se flexiona éste y se mantiene extendido el miembro que se va a intervenir. La cintura pelviana se fija a la mesa de operaciones, a cuyos pies se sitúa el cirujano.

2. Se trata de un abordaje en "L", sobre la cara externa del tarso, con una rama vertical que corre en paralelo al tendón de Aquiles, aproximadamente a 1 cm por delante del mismo, y otra horizontal que desde la tuberosidad del calcáneo se dirige hacia adelante para alcanzar la base del quinto metatarsiano.

3. De este modo, se separa un colgajo, a bisturí o con ayuda de un periostiotomo, que incluye en bloque la piel y una gruesa capa de tejido fibroadiposo, en cuyo seno discurren del nervio sural, la vena safena externa y los tendones peroneos.

4. La amplitud total de la herida debe ser suficiente como para permitir alcanzar el maleolo peroneo sin tener que aplicar una tensión excesiva en la separación del colgajo. En las fracturas multifragmentarias de calcáneo, la inserción distal del ligamento peroneo calcáneo, que se encuentra en la profundidad del trayecto de los peroneos, suele conser-

varse en forma de una pastilla arrancada; en el resto de los casos, para alcanzar la interlínea subastragalina es necesario desinsertarlo.

Esta vía proporciona muy buen acceso al cuerpo del calcáneo en toda su extensión, así como a su apófisis anterior y a la articulación calcáneo-cuboidea. La articulación subastragalina también puede exponerse con claridad, aunque su visualización no es tan buena como la que brinda el abandonado abordaje directo.

Hoy en día es el abordaje preferido por muchos autores para el tratamiento de las fracturas de calcáneo; tanto la reconstrucción de su superficie articular como el restablecimiento de su longitud y orientación, y la colocación de placas específicas para estas fracturas, se ven facilitadas con esta vía. Las osteotomías dobles de calcáneo (Koutsogiannis + Evans, Fernández de Valderrama) también se realizan mejor por esta vía.

Además, el componente vertical de este abordaje ofrece muy buen acceso a la articulación subastragalina posterior: la vía de Sabadell descrita por el Dr. Santiago Mas⁽⁴⁵⁾. En efecto, la disposición de esta juntura hace que, al observarla desde una posición lateral, posterior y superior, el cilindro talámico nos ofrezca una visión tangencial de su superficie, de modo que a cualquier nivel podemos colocar una aguja de Kirschner, perfectamente encajada entre el astrágalo y el calcáneo, a lo largo de toda la longitud del tálamo (desde posterior-lateral hasta anterior-medial). No podremos ver las superficies articulares en sí; vemos tan sólo su perfil, pero sobre la aguja o agujas-guía implantadas es fácil tallar, a broca canulada, un lecho cilíndrico interóseo, para posteriormente encajar un injerto esponjoso al modo de Cloward. Se trata, pues, de una vía muy buena cuando se pretende fijar exclusivamente la subastragalina posterior sin modificar la posición relativa astrágalo-calcáneo.

Estructuras en riesgo

Los elementos vásculo-nerviosos de la zona quedan especialmente protegidos en este abordaje; no hemos tenido lesiones del nervio sural ni tendinopatías de los peroneos relacionadas con esta incisión. Un inconveniente de la intervención es la tendencia a la producción de hematomas, por lo que puede ser conveniente intentar dar algún punto de fijación de la solapa al hueso y colocar algún sistema de drenaje si después de soltar la isquemia se aprecia un sangrado profuso.

OSTEOTOMÍAS DOBLES DE CALCÁNEO

Estas intervenciones están indicadas cuando al efecto de varización de la tuberosidad se pretende asociar un alargamiento de la columna externa⁽⁴⁸⁾. De este modo, pueden corregirse simultáneamente dos de los rasgos anatomopatológicos de los pies pronados: el valgo del talón y el alargamiento relativo de la columna interna. La osteotomía en "J" del calcáneo, descrita por Fernández de Valderrama⁽⁴⁹⁾, debe ir precedida de un abordaje ampliado del calcáneo, pero no es necesario completar la exposición descrita anteriormente; será suficiente con llegar a la curva de los peroneos, respetando la inserción del ligamento peroneo calcáneo. Uno de los tramos de osteotomía es vertical, similar a la osteotomía de Evans, de localización ligeramente distal al ángulo de Gisanne. Las dos osteotomías en esta técnica son incompletas y no llegan a abarcar la cortical medial. La segunda osteotomía es curvilínea, de concavidad anterosuperior y bordea caudalmente el trayecto de los tendones peroneos, para terminar encontrándose con la primera. Ambas líneas de osteotomía se abren con ayuda de un escoplo, para insertar en ellas unos bloques de injerto autólogo estructural. Para ello el autor utiliza fragmentos de peroné: tras obtener un cilindro de peroné completo de unos 4 cm de longitud, se tallan varios trozos de aproximadamente 1 cm de largo, que después se dividen longitudinalmente en dos mitades. El conjunto de injertos forma, así, una empalizada que impide que las osteotomías se cierren.

La osteotomía doble Koutsogiannis + Evans puede hacerse mediante un abordaje ampliado del calcáneo o a través de dos incisiones independientes. En cualquier caso debe empezarse por hacer la osteotomía de la tuberosidad. El abordaje ampliado tiene la ventaja de que el nervio sural desde un primer momento está protegido en el seno del colgajo, y el acceso al punto de osteotomía es muy sencillo. Para la realización de la osteotomía de Evans aislada emplearemos una incisión cutánea longitudinal, paralela al plano del suelo, de unos 6 cm de longitud, centrada sobre la apófisis anterior del calcáneo. En esta localización se hace imprescindible la disección del nervio sural para evitar su lesión y verificar que pueda ser desplazado plantar o dorsal-

mente con los separadores antes de actuar sobre el hueso. Precisamente la longitud de la incisión tiene como objeto la correcta movilización del nervio. La osteotomía es vertical e incompleta y respeta la cortical interna, que actuará como bisagra a la hora de alargar la superficie externa del hueso. Algunos autores la realizan 1 cm por detrás de la interlínea calcáneo-cuboidea, mientras que otros la dibujan a nivel del ángulo de Gissane; nunca deberá invadir el tálamo, ni localizarse a menos de 1 cm del extremo distal del hueso. Finalmente se abre la osteotomía con ayuda de un escoplo o un separador de láminas, y se evita su cierre introduciendo en el lecho un injerto córtico-esponjoso. El montaje ofrece estabilidad suficiente como para hacer innecesaria la fijación con material de síntesis, pero si se considera oportuno pueden usarse desde tornillos aislados hasta placas en H.

Se describe con frecuencia la sobrecarga articular, o incluso subluxación de la calcáneo-cuboidea, como complicación de las intervenciones de alargamiento de la columna externa del pie a nivel del calcáneo. Algunos autores incluso recomiendan la fusión de esta articulación en la misma intervención; otros colocan temporalmente una placa de neutralización para proteger tanto el montaje como la articulación⁽⁵⁰⁾. La mayoría realiza el procedimiento como se ha descrito, sin tomar medidas especiales de protección de la calcáneo-cuboidea.

En cualquier forma de osteotomía de tipo Evans debe tenerse presente que invadiremos la porción anteromedial del hueso. Es evidente que en el caso de un calcáneo de tipo B (articulaciones subastragalina anterior y media fusionadas), con la osteotomía estamos modificando la forma del complejo subastragalino anterior sobre la que reposa la cabeza del astrágalo, máxime si localizamos el origen de la osteotomía retrasado (a nivel del ángulo de Gisanne). Cuanto más distal sea la localización de la osteotomía, menor será el riesgo de interferir en el complejo subastragalino anterior, pero mayor será el riesgo de tener complicaciones articulares calcáneo-cuboideas y de estabilidad del foco. Por último, debe tenerse en cuenta que el tendón del flexor propio del primer dedo discurre en íntima vecindad con el *sustentaculum tali*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Navarro F. Parentescos sorprendentes. Calcáneo y calzoncillo. En: La Página del Idioma Español. Acceso en enero de 2005; www.elcastellano.org
2. Le Minor JM, Wolff J. Intrinsic proportions of the human tarsus: an original approach to tarsal biometry. *Surg Radiol Anat* 2004; 26: 303-7.
3. Viladot A Jr. Biomecánica del pie. En: Viladot Voegeli A (ed.). Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Barcelona: Springer; 2001.

4. Isidro A. Calcáneo y bipedestación. *Rev Med Cir Pie* 1993; 7 (1): 91-102.
5. Weaver JB, Doyley M, Cheung Y, Kennedy F, Madsen EL, Van Houten EE, Paulsen K. Imaging the shear modulus of the heel fat pads. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005; 20 (3): 312-9.
6. Toretta P III. Calcaneal fractures: open reduction and internal fixation. En: Wiss DA (ed.). *Fractures. Master techniques in orthopaedic surgery on CD-ROM*. RC Thompson Jr. Lippincott, Williams and Wilkins; 2000.
7. Karakurt L, Yilmaz E, Belhan O, Incesu M, Serin E. Pseudoarthrosis of a calcaneus fracture: a case report. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2004; 38 (4): 288-90.
8. Ebraheim NA, Mekhail AO, Yeasting RA. Components of the posterior calcaneal facet: anatomic and radiologic evaluation. *Foot Ankle Int* 1996; 17 (12): 751-7.
9. Sarrafian SK. *Anatomy of the foot and ankle: descriptive, topographic and functional*. 2nd ed. Philadelphia: JB Lippincott Company; 1993.
10. Bunning PSC, Barnett CH. A comparison of adult and foetal talocalcaneal articulations. *J Anat* 1965; 99 (1): 71-6.
11. Sanz T. Estudio anatómico y funcional de la articulación subastragalina. Diseño de una prótesis para la subastragalina posterior. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura (Badajoz); 1992.
12. Vázquez MT. Desarrollo de la articulación subastragalina (articulatio subtalaris) en embriones y fetos humanos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid; 2000.
13. Ward KA, Willot J, Paxton S, Soames RW. Reconstruction of the articular facets of the subtalar and talonavicular joints from volumetric magnetic resonance data. *Clin Anat* 2001; 14: 272-7.
14. Budantsev AY, Jakovlev YY. 3D reconstruction of biological objects: the potential of standard computer programs. *Eur Microscopy Analysis* 2000; sept 11-13.
15. Puerta AJ. Desarrollo del tobillo y pie. En: Núñez-Samper M, Llanos LF (ed.). *Biomecánica, medicina y cirugía del pie*. Barcelona: Masson; 1997. p. 14-23.
16. Espinar E, Jordá E, De Juan A, Mir M. Coaliciones tarsales. *Rev Med Cir Pie* 1988; 2 (2): 65-75.
17. Scheuer L, Black S. The lower limb. En: *Developmental Juvenile Osteology*. San Diego: Academic Press Ltd. Harcourt Science Tech Co.; 2000. p. 374-467.
18. Viladot A. El sistema aquileo-calcáneo-plantar. En: Epeldegui T (ed.). *Pie plano y anomalías del antepié*. Madrid: A Madrid Vicente, Ediciones; 1995. p. 48-52.
19. Sarrafian SK. Biomechanics of the subtalar joint complex. *Clin Orthop* 1993; 290: 17-26.
20. Seibel MO. *Foot function*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1988.
21. Miralles RC, Puig M. Complejo periastragalino. En: Miralles Marrero RC (ed.). *Biomecánica clínica del aparato locomotor*. Barcelona: Masson; 1998.
22. Perry J. *Gait analysis; normal and pathological function*. New Jersey: Slack Thorofare; 1992.
23. Hamel AJ, Sharkey NA, Buczek FL, Michelson J. Relative motions of the tibia, talus, and calcaneus during the stance phase of gait: a cadaver study. *Gait Posture* 2004; 20 (2): 147-53.
24. Cornwall MW, McPoil TG. Motion of the calcaneus, navicular, and first metatarsal during the stance phase of walking. *J Am Podiatr Med Assoc* 2002; 92 (2): 67-76.
25. Arndt A, Westblab P, Winson I, Hashimoto T, Lundberg A. Ankle and subtalar kinematics measured with intracortical pins during the stance phase of walking. *Foot Ankle Int* 2004; 25 (5): 357-64.
26. Viladot R. Stress fractures in the foot. EFAS Congress. Paris; 23-25 octubre 1997.
27. Llanos LF. Fracturas del calcáneo. En: Núñez-Samper M, Llanos LF. *Biomecánica, medicina y cirugía del pie*. Barcelona: Masson; 1997. p. 413-25.
28. Duparc J, Cavagna R. Classification anatomo-clinique des fractures trans-thalamiques du calcaneum. *Rev Chir Orthop* 1989; 75 (Suppl I): 69-70.
29. Eastwood DM, Gregg PJ, Atkins RM. Intra-articular fractures of the calcaneum. Part 1: pathological anatomy and classification. *J Bone Joint Surg* 1993; 75B: 183-8.
30. Mulcahy DM, McCormack DM, Stephens MM. Intra-articular calcaneal fractures: effect of open reduction and internal fixation on the contact characteristics of the subtalar joint. *Foot Ankle Int* 1998; 19 (12): 842-8.
31. Badet R, Ribeiro F, Rumelhart C, Tourne Y, Badulescu A, Saragaglia D. Étude biomécanique comparée de 3 ostéosynthèses des fractures enfoncements du calcaneum stade IV de Duparc. *Rev Chir Orthop* 1999; 85: 601-11.
32. Maceira E. Análisis cinemático y cinético de la marcha humana. *Revista del pie y tobillo* 2003; XVII (1): 29-37.
33. Maceira E. Exploración clínica y biomecánica del pie. En: *Patología del pie y tobillo en el adulto*. Curso Básico Fundación SECOT; 2007.
34. Sutherland DH. An electromyographic study of the plantar flexors of the ankle in normal walking on the level. *J Bone Joint Surg Am* 1966; 48 (1): 66-71.
35. Richie DH Jr. Biomechanics and clinical analysis of the adult acquired flatfoot. *Clin Pod Med Surg* 2007; 24 (4): 617-44.
36. Koutsogiannis E. Treatment of mobile flat foot by displacement osteotomy of the calcaneus. *J Bone Joint Surg Br* 1971; 53 (1): 96-100.
37. Evans D. Calcaneo-valgus deformity. *J Bone Joint Surg Br* 1975; 57 (3): 270-8.
38. Mosca VS. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot. *J Bone Joint Surg Am* 1995; 77 (4): 500-12.

39. Myerson MS. Adult acquired flatfoot deformity. Treatment of dysfunction of the posterior tibial tendon. *J Bone Joint Surg* 1996; 78A: 780-92.
40. Deland JT, Page A, Sung IH, e.a. Posterior tibial tendon insufficiency. Results at different stages. *HSS Journal* 2006; 2 (2): 157-60.
41. Romash MM. Reconstructive osteotomy of the calcaneus with subtalar arthrodesis for malunited calcaneal fractures. *Cin Orthop* 1993; 290: 157-67.
42. Hansen ST. Functional reconstruction of the foot and ankle. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
43. Zadek I. An operation for the cure of achillobursitis. *Am J Surg* 1939; 43: 542-6.
44. Dwyer FC. Osteotomy of the calcaneum for pes cavus. *J Bone Joint Surg Br* 1959; 41-B (1): 80-6.
45. Núñez-Samper M, Llanos LF, Viladot R. Técnicas quirúrgicas en cirugía del pie. Barcelona: Masson; 2003.
46. Myerson MS, Corrigan J, Thompson F, Schon LC. Tendon transfer combined with calcaneal osteotomy for treatment of posterior tibial tendon insufficiency: a radiological investigation. *Foot Ankle Int* 1995; 16 (9): 712-8.
47. Thordarson DB, Krieger LE. Operative vs non-operative treatment of intra-articular fractures of the calcaneus: a prospective randomized trial. *Foot Ankle Int* 1996; 17 (1): 2-9.
48. Moseir-LaClair S, Pomeroy G, Manoli A. Intermediate follow-up on the double osteotomy and tendon transfer procedure for stage II posterior tibial tendon insufficiency. *Foot Ankle Int* 2001; 22 (4): 283-91.
49. Fernández de Valderrama JA. An operation for the correction of the valgus foot; preliminary report. *Orthopaedics Oxford* 1969; 2 (2).
50. Deland JT, Otis JC, Lee K, Kenneally SM. Lateral column lengthening with calcaneocuboid fusion: range of motion in the triple joint complex. *Foot Ankle Int* 1995; 16: 729-33.