

APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DEL PACIENTE CON METATARSALGIA

Dr. Ernesto Maceira Suárez

*Servicio de Cirugía Ortopédica. Hospital Beata María Ana de Jesús. Madrid.
Departamento de Anatomía y Embriología Humana (I). Facultad de Medicina.
Universidad Complutense de Madrid.*

La metatarsalgia supone el motivo de consulta más frecuente en patología ortopédica del pie. La clave de su tratamiento radica en la correcta filiación del síntoma, o lo que es lo mismo, en dilucidar qué alteraciones biológicas, morfológicas y mecánicas son responsables del dolor. La anamnesis y la exploración clínica son los pilares sobre los que debe apoyarse su estudio, que se complementará con la radiología simple en bipedestación. Este trabajo pretende describir los distintos tipos de metatarsalgia, sus posibles orígenes, los mecanismos por los que aparecen, el instante del ciclo de la marcha en que se producen y los hallazgos clínicos directos e indirectos que pueden ayudar en su filiación. La aplicación clínica del análisis de la marcha ayuda a entender cómo se producen el dolor, las queratosis y las deformidades de los dedos. Algunas alteraciones extrínsecas a la región anatómica metatarsiana pueden dar lugar a dolor en el metatarso, y otras intrínsecas pueden doler en zonas distintas del lugar de afectación primaria del metatarso.

PALABRAS CLAVE: *Metatarsalgia, queratosis, dedos en garra, rockers, ciclo de la marcha.*

AN APPROACH TO THE STUDY OF THE PATIENT WITH METATARSALGIA: Pain on the metatarsal region is referred to as metatarsalgia. This symptom accounts for the commonest complaint among the patients who seek attention for their feet in the orthopaedic practice. Should its origin and pathogenetic mechanisms be elucidated in order to provide for an appropriate therapeutic strategy. A careful clinical examination and anamnesis, together with plain weight-bearing radiology, may suffice in most instances to achieve a proper scope of the problem. This paper deals with the classification, origin, pathogenetic mechanisms, timing in terms of the gait cycle and related deformities that can appear in the patient with metatarsalgia. The presence of plantar keratoses and claw toes provide for valuable clues in order to explain what went wrong in a particular patient. One has to keep in mind that both extra-metatarsal troubles and intra-metatarsal disorders located away from the painful area may be responsible for the symptom.

KEY WORDS: *Metatarsalgia, keratoses, claw toes, rockers, gait cycle.*

La metatarsalgia es un síntoma consistente en la experimentación de dolor en la región metatarsiana. Se trata del motivo de consulta más frecuente en la patología ortopédica del pie. Su prevalencia es mayor entre las mujeres de edad media y avanzada, pero puede presentarse en cualquier sujeto⁽¹⁾.

En los últimos años hemos asistido a la aparición de nuevas técnicas quirúrgicas y readaptación de otras descritas con anterioridad, que han venido a mejorar los resultados globales de las intervenciones destinadas al tratamiento de la metatarsalgia cuando fracasan las medidas incruentas. Aun así, sigue habiendo una cierta impredecibilidad en la evolución de cada caso, y segui-

mos teniendo un número considerable de malos resultados que pueden obligar al paciente a hacer uso de algún tipo de ortesis tras la intervención. Por estos motivos, el tratamiento siempre debe iniciarse con medidas ortopédicas, quedando la cirugía reservada para los pacientes en los que estas hayan fracasado, independientemente del grado de deformidad estructural que presenten⁽²⁾.

Cualquier gesto quirúrgico sobre los metatarsianos puede proporcionar un efecto de elevación de su extremo distal, un acortamiento del hueso o una combinación de ambos. La mayoría de las técnicas consiguen de forma predominante uno de los dos efectos. Este trabajo pretende exponer una serie de datos clínicos que permiten en la mayor parte de los casos una toma de decisiones racional para indicar la consecución de uno u otro efecto: elevación *versus* acortamiento.

Básicamente se trata de discernir: qué radios están afectados o pueden llegar a estarlo; cuál es la causa de la

Correspondencia:

*Dr. Ernesto Maceira Suárez
emaceira@med.ucm.es*

sobrecarga y en qué fase del período de apoyo se produce. El resultado del tratamiento dependerá de su correcta indicación, y esta, de su correcta filiación. En palabras de Viladot, una intervención bien indicada conducirá a un buen resultado, aunque haya algunos errores en su ejecución, pero una intervención mal indicada conducirá, en el mejor de los casos, a dejar las cosas como estaban.

CLASIFICACIÓN

Atendiendo a su etiopatogenia, podemos distinguir **tres categorías** de metatarsalgia⁽³⁾: las *mecánicas*, las *inflammatorias* o de origen reumático, y un tercer *grupo misceláneo* en el que incluimos lesiones de distinta etiopatogenia, o de difícil catalogación, pero siempre con importante participación de factores mecánicos.

a) Entre las metatarsalgias del **grupo misceláneo** podemos incluir: las formas de presentación aguda y subaguda de las alteraciones de base mecánica, las neuropatías por atrapamiento, las atrofas de la almohadilla grasa plantar y los casos “raros” o de difícil filiación.

1. Las formas de presentación aguda y subaguda de las alteraciones de base biomecánica comprenden: las fracturas de estrés, la enfermedad de Freiberg, el síndrome doloroso agudo del segundo espacio y el síndrome de preluxación de la segunda metatarsofalángica. Se trata de episodios con una clínica florida y peculiar, que les proporciona una identidad propia dentro del marco mecánico que las produce: pueden suponer el debut sintomático de un cuadro crónico. En definitiva, son episodios clínicos transitorios dentro del contexto de una metatarsalgia mecánica (crónica) que por sus características merecen una tipificación nosológica propia, pudiendo además dejar secuelas morfológicas permanentes. Las dos primeras no son más que autointervenciones ortopédicas que la naturaleza realiza cuando un radio se somete a sobrecarga mecánica, con o sin participación de elementos biológicos.

1.1. En la **enfermedad de Freiberg** (necrosis de la cabeza de un metatarsiano menor) es curioso observar sistemáticamente, incluso en casos avanzados, cómo una porción más o menos grande del cartílago articular distal se conserva en razonable buen estado, aunque la cabeza metatarsal en conjunto pueda mostrar un deterioro notable. Esta porción se retrasa mediante la compresión de la cabeza en dirección anteroposterior, hasta alcanzar la posición correcta que le correspondería en una fórmula metatarsal geométricamente ideal de *index plus-minus*. En la inmensa mayoría de los Freiberg, el metatarsiano afecto era más largo de lo ideal.

1.2. Algo parecido sucede en las **fracturas de estrés**, si bien en estas la preponderancia de la longitud del metatarsiano no es tan clara sobre otros factores, como

la fuerza de flexión plantar del primer radio y el ángulo de inclinación del metatarsiano afecto.

Podemos asemejar estas autointervenciones con las osteotomías de elevación en el caso de las fracturas de estrés, y con las osteotomías de acortamiento en el caso de la enfermedad de Freiberg. La predilección de la “Dra. Naturaleza” por operaciones sobre el extremo distal de los metatarsianos es evidente: prefiere operar sobre el extremo distal del hueso que en sus tercios medio y proximal.



Figura 1. Paciente con síndrome del segundo espacio. Había sido intervenida de hallux valgus veinte años antes según Keller-Brandes con muy buen resultado; el segundo metatarsiano era largo. Nótese la divergencia de los dedos 2.º y 3.º (A, B). El dolor se localiza sobre el espacio interóseo y en las articulaciones vecinas. En la eminencia digitoplantar del pie afecto aparece una queratosis de tercer rocker (véase más adelante). En la imagen quirúrgica (C) puede apreciarse la división del nervio digital plantar común, que aparece mínimamente engrosado. El ligamento metatarsal transversal profundo en el tercer rocker puede comprimirlo. Además, pueden formarse bursitis. En esta paciente no se extirpó el nervio; simplemente se seccionó el ligamento y se asoció a la osteotomía de acortamiento un efecto de medialización de la cabeza de M2.

Figure 1. Patient with second interosseous space syndrome. Previously operated (Keller-Brandes operation) because of hallux valgus, with very good results; the second metatarsal bone was long. Note the divergence of digits II and III (A, B). The pain was localised over the interosseous space and in the neighbouring joints. The digito-plantar eminence of the involved foot evidences a third-rocker hyperkeratosis (see below). The surgical image shows the division of the N. digitorum plantaris, which is minimally thickened. The deep transverse metatarsal ligament in the third rocker might compress this nerve; furthermore, bursitis may occur. In this patient, the nerve was not resected; the ligament was sectioned and a shortening osteotomy was performed, which had a medialisation effect of the M2 metatarsal epiphysis.

1.3. El síndrome doloroso agudo del segundo espacio, o síndrome de los dedos divergentes o simplemente **síndrome del segundo espacio**, consiste en una metatarsalgia de carácter mecánico que se asocia a una divergencia progresiva y más o menos evidente de los dedos segundo y tercero⁽³⁾ (**Figura 1**). La presencia sistemática de un exceso de longitud del segundo metatarsiano nos lleva a considerar este elemento como el más importante en la génesis del cuadro. De forma secundaria, puede explicarse la aparición de: bursitis intermetatarsianas, estigmas clínicos de neuropatía por atrapamiento, acúmulo de tejido fibroadiposo en el espacio interdigital y formación de garras. También puede aparecer asociado a deformidades del primer radio. El dolor en estos pacientes se localiza en el espacio interdigital y en las articulaciones implicadas. La divergencia de los dedos se asocia a un acercamiento de las cabezas de los metatarsianos 2 y 3 que, además de dar lugar a la bursitis, puede requerir de la realización de osteotomías de desplazamiento sobre el plano transversal (habitualmente de medialización de la cabeza de M2, además del acortamiento).

1.4. El **síndrome de preluxación** de la segunda articulación metatarsofalángica corresponde al brote agudo de dolor que puede marcar el debut sintomático de los síndromes de insuficiencia del primer radio. A menudo precede a la aparición de las alteraciones morfológicas propias de esos síndromes. Se trata de un cuadro caracterizado por un dolor mecánico selectivo articular con sinovitis evidente, e inestabilidad articular subclínica que puede objetivarse con la maniobra del cajón dorsal metatarsofalángico. Con frecuencia existe una anomalía en la fórmula metatarsal. La interfalángica proximal desarrollará, si no lo había hecho ya, una garra en flexo. Curiosamente, tras su completa luxación se presentará un episodio más o menos largo de alivio sintomático pese al empeoramiento mecánico del pie. Son muchas las mujeres que, tras ese episodio agudo, permanecen asintomáticas a pesar del avance de la deformidad, no llegando a precisar nunca del tratamiento quirúrgico.

El diagnóstico diferencial entre la enfermedad de Freiberg, las fracturas de estrés, el síndrome de preluxación de la segunda MF y el síndrome del segundo espacio puede ser difícil de realizar en las fases iniciales del brote de dolor. Afortunadamente, el tratamiento inicial de todos ellos es el mismo (sintomático, incluyendo reposo y AINE), y en poco tiempo aparecerán los estigmas propios de cada una de esas entidades.

2. Las **neuropatías por atrapamiento** de los nervios intermetatarsianos (*nervi digitales plantares communes*) parecen explicarse por la compresión que el ligamento transversal intermetatarsiano (*ligamentum metatarsale transversum profundum*) ejerce sobre el nervio durante

el tercer *rocker* del ciclo de la marcha (**Figura 1**). La naturaleza tumoral del neuroma de Morton parece descartable⁽⁴⁾. El motivo de su localización preferencial en el tercer espacio puede explicarse por un detalle anatómico: a ese nivel suele localizarse la conexión entre los nervios plantares interno y externo. En piezas cadavéricas es muy frecuente observar un tercer nervio digital plantar común más grueso que los demás. De hecho, la aparición de síntomas de neuralgia de Morton en más de un espacio, así como la aparición de esos síntomas en otro espacio distinto del tercero, debe hacer replantearse el diagnóstico etiológico de la metatarsalgia: "Puede ser un Morton..., pero ¡jojo!". Los estigmas clínicos de la neuropatía por atrapamiento incluyen: las características del dolor, de tipo neurálgico, mecánico, muy influenciado por el tipo de calzado, con maniobras gatillo como pisar los pedales del coche, que cede al descalzarse y masajearse los dedos en flexión-extensión. El paciente recurre a realizar una garra activa de los dedos para descargar el apoyo de la eminencia digitoplantar. La compresión dorsoplantar del espacio interóseo (no de las cabezas ni las articulaciones), la compresión lateromedial de las cabezas de los metatarsianos en conjunto que puede producir el click de Mulder, y las maniobras de elongación de los nervios digitales propios (que a su vez tiran de los comunes al colocar los dedos en flexión dorsal y divergencia) son los signos clínicos más relevantes en su exploración: todos ellos reproducen el dolor que habitualmente siente el paciente⁽⁵⁾. El resultado inconstante de las pruebas complementarias de diagnóstico (ecografía, EMG, RNM), salvo en casos de exploradores muy especializados, hace que el valor de estas se refiera más a la exclusión de otros procesos, que pudieran remedar la sintomatología de una neuropatía por compresión, que a la localización *de visu* del supuesto neuroma.

Tanto la exéresis del nervio engrosado como la simple sección del ligamento transversal cuando el nervio finalmente no muestra engrosamiento son procedimientos avalados por la práctica⁽⁴⁾. Preferimos el abordaje dorsal longitudinal en los casos de localización clara limitada a un espacio (prácticamente todos) al abordaje plantar, por la seguridad biológica de la piel dorsal frente a la plantar, y porque el acceso al nervio desde el dorso proporciona descompresión por la sección del ligamento transversal. En los raros casos de sospecha de afectación de más de un espacio, la incisión dorsal transversal de Weil proporciona una visualización ampliable a demanda. No tenemos experiencia en el abordaje endoscópico retrógrado desde el pliegue interdital, si bien parece un procedimiento lógico de descompresión. No acabamos de ver la justificación de las osteotomías de los metatarsianos vecinos que, sin duda, descomprimen, pero pueden desequilibrar la mecánica del apoyo metatarsal.

3. El aumento de la vida media de la población conlleva la aparición de lesiones involutivas que, en el pie, tienen su mayor expresión en la **atrofia de la almohadilla grasa plantar**. La pérdida de las propiedades viscoelásticas de esa estructura puede producir un cuadro doloroso, frustrante tanto para el paciente como para el médico ante la escasa disponibilidad de tratamiento. Esperamos con expectación la mejora de los sistemas de inyección de sustitutos sintéticos de la grasa plantar, hoy en día representados por los aceites de silicona⁽⁶⁾. Estas no parecen conllevar problemas de biotolerancia ni de tendencia a la infección, pero sí de intolerancia mecánica por migración dorsal de los *blobs*, que se inyectan en la eminencia digitoplantar bajo las cabezas de los metatarsianos, hacia zonas exentas de carga como los espacios interóseos, con pérdida de su efecto amortiguador.

b) Las metatarsalgias inflamatorias son la expresión en el antepié de las enfermedades de origen reumático (artritis reumatoide, artropatía psoriásica, Reiter, gota...). En ellas, nunca hay que olvidar que, tras la acción destructiva caprichosa de la enfermedad originaria, las deformidades secundarias obedecerán inexorablemente a las sollicitaciones mecánicas.

El control médico de la enfermedad de base es la clave en el tratamiento del paciente, ya que las intervenciones quirúrgicas solo pueden proporcionar gestos paliativos, a veces con el sacrificio de estructuras perdidas como en el caso de las artrodesis y las resecciones óseas⁽⁷⁾.

Cualquier planteamiento quirúrgico deberá hacerse teniendo presente su carácter paliativo, respetando los principios biomecánicos, indicado exclusivamente por el dolor incapacitante, y teniendo en cuenta que se trata de pacientes que posiblemente precisarán de reintervenciones futuras.

Las intervenciones agresivas de rescate, como la realineación metatarsal de Lelièvre, siguiendo estrictamente sus principios de planificación, y las artrodesis a demanda (fundamentalmente de la primera metatarsofalángica), son muy agradecidas por parte del paciente cuando se realizan del modo y en el momento apropiados.

c) Las metatarsalgias crónicas de carácter mecánico, o simplemente metatarsalgias mecánicas, suponen, con mucho, el mayor porcentaje del total de las metatarsalgias.

Atendiendo a su patogenia, Viladot las clasificó en cuatro grupos sindrómicos⁽³⁾:

1. Síndrome de insuficiencia del primer radio.
2. Síndrome de sobrecarga del primer radio.
3. Síndrome de sobrecarga anterior.
4. Síndrome de insuficiencia de los radios medios.

Dependiendo del momento del ciclo de la marcha en que se produce la sobrecarga, podemos clasificarlas en **meta-**

tarsalgias mecánicas del segundo rocker o *rocker* del tobillo (o *metatarsalgias del apoyo intermedio*), y **metatarsalgias mecánicas del tercer rocker** o *rocker* del antepié (o *metatarsalgias propulsivas*). La importancia de esta subdivisión radica en el entendimiento de la génesis del problema, para poder optar por buscar un efecto de elevación o de acortamiento de un radio cuando corresponda. Es poco menos que imposible que el paciente sea capaz de discernir con precisión en qué instante del ciclo se produce el dolor, por lo que tendremos que recurrir a datos de la anamnesis y la exploración clínica para su correcta filiación. Aun así, en no pocos casos el origen puede ser difícil de determinar, o bien incluir componentes de ambos *rockers*. Para entender la génesis de las metatarsalgias mecánicas, es necesario conocer algunas nociones de la estructura anatómica y de la función del pie en términos de análisis de la marcha.

RECUERDO BIOMECÁNICO

La columna medial o interna del pie está formada por la primera cuña y el primer radio: esta unidad presenta un considerable potencial de movimiento en el plano sagital. La columna lateral está formada por el cuboide y los radios 4 y 5, siendo también móvil. La columna central está formada por las cuñas 2 y 3 con sus correspondientes radios; la estabilidad de esta columna es crucial para el mantenimiento del arco longitudinal, y su capacidad de movimiento a nivel proximal es prácticamente nula, sobre todo en lo que respecta al segundo metatarsiano, por su mecanismo de cerrojo anatómico proximal entre las tres cuñas⁽⁸⁾.

Al estar de pie, las cabezas de los cinco metatarsianos contactan con el suelo, por lo que no existe un arco transversal anterior, pero a nivel de la interlínea tarsometatarsiana hay un arco transversal que recuerda la arquitectura de un arco romano cuya clave se encuentra en el segundo radio. La antigua hipótesis de apoyo fisiológico en tres puntos (calcáneo, cabeza de M1, cabeza de M5) está actualmente desechada, correspondiendo esa situación al síndrome de insuficiencia de los radios medios, de origen habitualmente yatrógeno. En bipedestación, la inclinación de la diáfisis de cada metatarsiano con respecto al suelo decrece desde el primero al quinto⁽³⁾.

El equilibrio en el reparto de carga entre los cinco radios depende de su correcta alineación en los planos frontal, sagital y transversal. La articulación subastragalina controla directamente la alineación global en el plano frontal, e indirectamente la capacidad de movimiento del primer radio en el plano sagital (máxima en eversión, mínima en inversión). En el apoyo plantígrado estático, el ángulo de inclinación de los metatarsianos es el factor más importante a la hora de producirse una sobrecarga de todos o



Figura 2. Primer rocker. El avance de la tibia y el descenso suavizado del pie se verifican tomando el talón como fulcro, justo hasta que el pie se hace plantígrado.

Figure 2. First rocker. The advancement of the tibia and the buffered lowering of the foot occur with the heel as fulcrum, up to the moment when the foot becomes plantigrade.

alguno de los radios, pero en condiciones dinámicas ese parámetro pierde su protagonismo.

Durante la fase de apoyo del ciclo de la marcha, el pie tiene que hacer compatibles dos acciones que en principio parecen contrapuestas: el servir de plataforma estable sobre la que descansa el segmento pasajero y, simultáneamente, mantener su progresión⁽⁹⁻¹¹⁾. Para lograrlo, el miembro de apoyo toma como fulcro, eje de giro sobre el plano sagital o *rocker*, de modo sucesivo:

- el primer *rocker* o *rocker* del **talón**;
- el segundo *rocker* o del **tobillo**, y
- el tercer *rocker* o rodillo del **antepié**.

El **primer rocker** está controlado por la musculatura dorsiflexora del pie, que en acción excéntrica permite al antepié descender suavemente hasta contactar con el suelo, hecho que marca el inicio del segundo *rocker*. La tibia durante este primer *rocker* sufre una rotación anterior, con respecto a un eje localizado en el talón, lo que mantiene el movimiento de traslación del centro de masas corporal hacia adelante (**Figura 2**). El pie que acaba de empezar a asumir el apoyo lo hace de forma progresiva, a la vez que el contrario se va descargando. Se produce así el período de doble apoyo inicial, de frenada (*braking double support*), que coincide con el doble apoyo final, o de empuje (*thrusting double support*) del miembro contrario⁽¹¹⁾. Es evidente que durante este *rocker* no puede producirse una sobrecarga en el antepié, pero el *rocker*



Figura 3. Segundo rocker, o giro sobre la articulación del tobillo. La piel de apoyo es estrictamente plantar a las cabezas de los metatarsianos. Las metatarsalgias originadas durante este período se denominan también del apoyo intermedio. El grado de inclinación es un factor importante a la hora de producir una sobrecarga metatarsal. El sóleo frena el avance inercial del pasajero.

Figure 3. Second rocker, or swivel upon the ankle joint. The supporting skin is strictly plantar to the metatarsal heads. Metatarsalgias occurring during this period is referred to as midstance metatarsalgia. The metatarsal pitch angle is an important factor in the generation of metatarsal overload. The soleus muscle brakes the inertial advance of the individual.

puede aparecer disminuido en el tiempo (si el descenso del pie resulta descontrolado por una insuficiencia de los dorsiflexores) o incluso ausente por completo (si el contacto inicial se verifica por una parte del pie distinta del talón).

Desde que la totalidad del pie contacta con el suelo, desde que se inicia el apoyo plantígrado, la rotación de la tibia que asegura el avance corporal debe cambiar de fulcro, localizándose entonces en el tobillo (**segundo rocker**) (**Figura 3**). La acción muscular, ahora a cargo del sóleo, sigue siendo excéntrica: de frenada, de deceleración de la rotación anterior de la tibia, para controlar el avance del centro de masas que había visto aumentada su energía potencial en el ciclo anterior y ahora se viene transformando en energía cinética. El quinto de los atributos de la marcha normal descritos por Gage hace referencia expresa a la conservación de la energía⁽¹⁰⁾. El auténtico estallido en la acción del sóleo se produce justo cuando la tibia alcanza la vertical, hecho que permite subdividir el período de apoyo intermedio (10-30% del ciclo) en una fase inicial y otra final⁽¹¹⁾. La inercia del pasajero, junto con la acción del sóleo frenando el avance de la tibia en

cadena cinética cerrada, produce la extensión de la rodilla durante el período de apoyo intermedio, hecho que se conoce como “acoplamiento flexión de tobillo extensión de rodilla” (*ankle flexion knee extension couple*)⁽⁹⁾. La expresión patológica de este fenómeno es el *recurvatum* de rodilla secundario al equino de tobillo.

Finalmente, el sóleo consigue levantar el talón del suelo; el tríceps sural en conjunto, ahora también con la participación de los gemelos, hace que la rotación del miembro de apoyo se verifique en el antepié, en el llamado *punto de rotura metatarsofalángica* (Figura 4). En este **tercer rocker** o rodillo del antepié se registrarán las mayores fuerzas de reacción articular en el tobillo, con generación neta de potencia (pico A2)⁽¹¹⁾. El período durante el cual el único contacto del cuerpo con el suelo se produce en el antepié ipsilateral se denomina *apoyo final*. Este concluye con el contacto inicial del miembro contrario: a partir de aquí, el miembro de apoyo se prepara para el balanceo siguiente (fase de prebalanceo) al ir quedando progresivamente liberado de la responsabilidad del soporte corporal. El tercer *rocker* se prolongará hasta que cese el contacto con el suelo, pero las mayores sollicitaciones en el antepié se producen justo antes de concluir el apoyo monopodal, en la fase de apoyo final.



Figura 4. Durante el tercer *rocker*, o rodillo del antepié, la piel sometida a cizalleo entre los huesos y el suelo es una porción más distal que la estrictamente plantar a las cabezas, tendiendo a perseguir los dedos. Cuando una metatarsalgia se produce durante este período, se dice que es propulsiva.

Figure 4. During the third *rocker*, or forefoot roll, the skin undergoing shear stress between the bony structures and the ground is more distal than strictly plantar to the metatarsal heads, and tends to extend towards the digits. Metatarsalgia occurring during this period is said to be “propulsive”.

Es evidente que, en la fase de apoyo del ciclo de la marcha, el antepié contacta con el suelo durante el segundo y tercer *rockers*. El punto de aplicación del vector fuerza de reacción del suelo se desplaza desde el talón, donde se localiza el primer *rocker*, a través del medio y antepié hacia el primer radio, de forma que las mayores sollicitaciones en el antepié se producen durante el apoyo terminal (30-50% del ciclo). En efecto, el registro cinético de la potencia en la articulación de tobillo muestra un pico de generación máxima durante el tercer *rocker*, justo antes de iniciarse el prebalanceo. En esta situación, el talón se ha despegado del suelo y el ángulo de ataque de los metatarsianos depende no solo de su inclinación anatómica, sino también (y fundamentalmente) de la dinámica de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera. Una limitación en la dorsiflexión del tobillo sobrecargará el antepié durante el tercer *rocker*, independientemente del ángulo de inclinación anatómica (*pitch*) de los metatarsianos, acortando además la duración del segundo. Por otra parte, la longitud relativa de los metatarsianos es crucial a la hora de asegurar el reparto equilibrado de cargas durante el tercer *rocker*. Además, en términos absolutos, las fuerzas de reacción articular en la interlínea metatarsofalángica serán mayores cuanto mayor sea el momento flexor plantar generado por el tríceps sural, siendo este proporcional a su brazo y, por tanto, a la longitud existente entre el punto de rotura MF y la entesis aquílea. De lo anterior se deduce que, con respecto a la génesis de una sobrecarga metatarsal, el ángulo de inclinación de los metatarsianos es un factor crucial durante el segundo *rocker*, mientras que su longitud relativa lo es durante el tercero (Figura 5).

Se dice que una fórmula metatarsal es *index plus* cuando $M1 > M2$, *index plus-minus* cuando sus longitudes efectivas son similares, e *index minus* cuando $M2 > M1$. Cualquiera de esas parábolas metatarsales es normal, siempre que el resto de los metatarsianos sean menores que el anterior en progresión geométrica⁽³⁾. Maestro encontró que, con frecuencia, la progresión geométrica de la parábola es tal que entre los metatarsianos segundo y tercero la diferencia de longitud relativa es de 3 mm, entre el tercero y el cuarto de 6 mm, y entre el cuarto y el quinto de 12 mm. Además, el sesamoideo fibular y la cabeza del cuarto metatarsiano están al mismo nivel, siempre medidos con respecto a la perpendicular al segundo metatarsiano⁽¹²⁾. Con cierta frecuencia en la práctica clínica vemos pacientes que presentan metatarsianos que parecerían corresponder a pies de dos tallas distintas (dos de ellos de un tamaño, y los otros tres de otro), lo que puede sobrecargar los más largos durante el tercer *rocker*.

Por otra parte, debe existir una capacidad de flexión plantar de la columna medial, controlada por el peroneo



Figura 5. Vistas lateral (A) y posterolateral (B) de un modelo esquelético durante el tercer rocker. Las dos imágenes fueron obtenidas con el pie en la misma posición. El ángulo de ataque de los metatarsianos ya no depende solo de su inclinación anatómica, sino también de las posiciones relativas del tobillo y las articulaciones proximales. Las longitudes relativas de los metatarsianos y la capacidad de estabilización del primer radio para componer la parábola metatarsal dinámica parecen ser elementos muy importantes a la hora de optimizar el reparto de cargas. Durante la marcha, el pie rota externamente en este rocker.

Figure 5. Lateral (A) and postero-lateral (B) views of a skeleton model during the third rocker. The two images were recorded with the foot in the same position. The attack angle of the metatarsal bones now depends not only on their anatomic pitch but also on the relative positions of the ankle and the proximal joints. The relative lengths of the metatarsal bones and the stabilisation capacity of the first radius in composing the dynamic metatarsal parabola seem to represent major elements in optimising load distribution. During locomotion, the foot rotates externally on this rocker.

lateral largo (PLL), para poder asegurar dentro de unos límites la eficiencia del primer radio, sobre todo cuando es más corto⁽¹³⁾. En efecto, este músculo es el único capaz de estabilizar al primer radio contra el suelo, pero esta acción precisa de una inversión subtalar previa; si la subastragalina está pronada, se pierde el desnivel que en el plano frontal muestran la inserción del tendón en el primer metatarsiano (que normalmente ocupa una posición más craneal) y su trayectoria de inflexión bajo el cuboides (que normalmente es caudal con respecto a la inserción). Ante una posición de partida de pronación subtalar, el PLL deja de ser estabilizador del primer radio y se convierte en hiperpronador de la subastragalina⁽¹³⁾.

Hay cierta interacción entre los planos sagital y transversal, de modo que un acortamiento y una elevación pueden tener efectos similares en un radio con respecto

a las sollicitaciones durante el tercer *rocker*. La alineación frontal en carga de cada radio es el resultado de su longitud e inclinación. La fórmula metatarsal *index minus* no es patológica mientras no se asocie a una metatarsalgia de los radios medios. El mecanismo recién señalado de la flexión plantar del primer radio puede, en la mayoría de los sujetos *index minus*, coexistir con un apoyo correcto con asunción de carga durante el tercer *rocker* a nivel de la cabeza del primer metatarsiano, merced a las interacciones entre planos: acoplamiento flexión dorsal-acortamiento/flexión plantar-alargamiento funcional. La capacidad de suplencia mediante flexión plantar de la primera cuneometatarsiana puede verse desbordada en los pies atáxicos de Dudley Morton por braquimetatarsia, y en algunas secuelas de intervenciones de Hueter-Mayo, es decir, en los casos en que el primer metatarsiano resulta excesivamente corto en relación al resto de la paleta. Por otra parte, la desestabilización en flexión dorsal de la primera cuneometatarsiana puede producirse bien por factores anatómicos locales articulares de la CM1 bien por sollicitaciones en rotación sobre el plano coronal para las que no está bien preparada (el momento rotador axial producido por el varo del primer metatarsiano en los *hallux valgus* importantes), o por aumento de las sollicitaciones normales que se producen en la columna interna de los pies con capacidad de inversión subtalar disminuida.

EXPLORACIÓN CLÍNICA

El aumento de presión en la piel de la eminencia digito-plantar dará lugar a la aparición de queratosis. Algunos autores, como Cavanagh, señalan que no es tanto la presión, sino el cizalleo entre suelo y hueso, lo que da lugar a la aparición de las queratosis⁽¹⁴⁾. En este sentido, es importante resaltar que durante el tercer *rocker* la mayoría de los sujetos realiza un rápido movimiento de rotación externa del pie sobre el plano transversal, tomando como fulcro un eje vertical que pasa sobre las metatarsofalán-gicas centrales, lo que supone un elemento amplificador del cizalleo contra el suelo en la eminencia digitoplantar (**Figura 6**). Sin embargo, durante el segundo *rocker* el pie no realiza movimiento rotacional en el plano transversal, ya que las fuerzas lateromediales internas son menores que la reacción friccional del suelo.

El mejor registro de baropodometría dinámica lo proporciona la inspección de la piel plantar; de hecho, la principal aplicación clínica de los sistemas actuales de baropodometría se encuentra en la predicción de las zonas de riesgo en los pies diabéticos *antes* de que aparezcan las queratosis⁽¹⁵⁾. La **semiología de las queratosis plantares** es un dato de gran importancia para el clínico a la hora de filiar el origen de la metatarsalgia. En principio,



Figura 6. Aspecto típico de una queratosis producida durante el tercer rocker; se trata de una dureza amplia, que abarca más de una cabeza y se prolonga distalmente con respecto a estas. Su contorno global redondeado sugiere la participación de un cizalleo por rotación. Este caso corresponde a un síndrome de insuficiencia del primer radio por hallux valgus, con metatarsalgia propulsiva.

Figure 6. Typical aspect of a keratosis generated during the third rocker. The hyperkeratotic hardness patch is rather extensive, occupies the area of more than one metatarsal head and extends distally to them. Its overall rounded contour suggests the involvement of rotational shear. The present case corresponds to a first radius insufficiency syndrome due to hallux valgus, with propulsive metatarsalgia.

ante una metatarsalgia sin queratosis hay que desconfiar de un posible origen mecánico, salvo que su instauración haya sido tan reciente que no diera tiempo suficiente a los cambios adaptativos de los tejidos. Por el contrario, y en un ejemplo concreto, baste pensar en una neuropatía de Morton: no es de esperar que se asocie a una queratosis, y si lo hace, debemos replantearnos el diagnóstico por

si estuviéramos tomando como atrapamiento neural una sobrecarga mecánica estructural.

En general, las queratosis que se encuentran justo por debajo de las cabezas (las estrictamente plantares) se producen durante el segundo *rocker*, y guardan relación con alteraciones de la alineación en el plano sagital (**Figura 7**). Se incluyen aquí los síndromes de sobrecarga anterior, fundamentalmente las metatarsalgias asociadas a pies cavos y retracciones del tríceps sural (si bien estas últimas acortan el segundo *rocker* y producen también sobrecarga durante el tercero). Por otra parte, las queratosis que ocupan una posición más distal con respecto a las cabezas (queratosis planto-distales) se producen durante el tercer *rocker*, y son típicas de los síndromes de insuficiencia del primer radio y de las alteraciones en la fórmula metatarsal. Otro dato clínico útil es que estas últimas tienden a ser difusas, desdibujadas y amplias (abarcando conjuntamente más de una cabeza) (**Figura 6**), mientras que las primeras, así como las queratosis de las enfermedades reumáticas, tienden a dibujar con más precisión, nitidez y localización cada cabeza (**Figuras 7 y 8**). En su forma más característica, las queratosis asociadas a la metatarsalgia de propulsión típica de los síndromes de insuficiencia del primer radio son amplias, de localización plantar-distal, con un contorno global circular que denota el cizalleo a que da lugar la rotación externa del pie durante el tercer *rocker*. Estas responderán favorablemente al acortamiento programado de los metatarsianos; la magnitud del acortamiento a efectuar en cada uno de los radios debe ser cuantificada preoperatoriamente^(12,16). Por el contrario, una queratosis estrictamente plantar a la cabeza de un metatarsiano, sin extensión distal y de amplitud reducida, con toda probabilidad se está generando durante el segundo *rocker* y responderá favorablemente a una elevación, pero no a un acortamiento del hueso; desgraciadamente, seguimos sin disponer de un sistema que permita cuantificar con cierta precisión la magnitud de la elevación requerida, así como su consecución durante la intervención.

El **mecanismo de cabrestante** (*windlass*) se debe a la disposición de la aponeurosis plantar, que proximalmente se fija en la tuberosidad del calcáneo, y distalmente, en la base de cada una de las falanges proximales de los dedos a través de la placa plantar. Consiste en un aumento de la flecha del arco longitudinal al realizar la dorsiflexión pasiva de las metatarsofalángicas, fundamentalmente de la primera^(2,13). De modo recíproco, al cargar el arco se produce la flexión plantar de estas, con lo que se estabilizan los dedos contra el suelo (*reversed windlass*) y se proporciona a las articulaciones metatarsofalángicas su principal mecanismo de estabilización antiluxante.



Figura 7. Ejemplos de queratosis producidas durante el segundo rocker. Todas ellas en general están bien diferenciadas, dibujando la proyección estrictamente plantar de las cabezas sobre la piel, sin prolongarse en sentido distal. A: Queratosis aislada bajo el tercer radio, con dos pequeños papilomas satélite. B y C corresponden a pies cavos no neuropáticos. En D, pie neuropático, el cavismo de M1 produce una queratosis estrictamente plantar.

Figure 7. Examples of keratoses occurring during the second rocker. All of them are generally well differentiated, reproducing the strict plantar projection of the metatarsal heads onto the skin without extending distally. A: Isolated keratosis under the third radius, with two small satellite papillomata. B and C: Non-neuropathic pes cavus. D: Neuropathic foot; the cavus of M1 generates a strictly plantar keratosis.

Como se señaló anteriormente, la primera articulación cuneometatarsiana está anatómicamente bien diseñada para soportar los momentos dorsiflexores puros, pero no las rotaciones en el plano frontal. La adducción (varo) de M1 puede producir una inestabilidad local en esa articulación (por aumento del brazo de momento rotador axial) que, junto con la debilitación del mecanismo de cabrestante del primer radio que se produce en el *hallux valgus*, termine por hacerla ceder en flexión dorsal, con la consiguiente transferencia de carga al segundo radio.

La dorsiflexión de los dedos durante el período de apoyo del ciclo de la marcha se produce de modo pasivo. El extensor común de los dedos (EDL) está inactivo durante el apoyo, y funciona como modulador del tibial anterior en el balanceo, evitando que la dorsiflexión del tobillo durante el *swing* se haga en supinación; su verdadera acción no se refiere a la extensión de los orjeos^(3,9). Por otra parte, la flexión plantar de las metatarsofalángicas se debe fundamentalmente al mecanismo de cabrestante inverso, y está ayudada activamente por los interóseos. La pérdida de estos sistemas de flexión plantar conduce a la dorsiflexión incontrolada de las MF, con producción de garras, dedos flotantes y posibles luxaciones de los dedos. Ejemplos clínicos de estas situaciones los tenemos en las

parálisis de la musculatura intrínseca, en las condilectomías tipo DuVries en que la reducción volumétrica de la cabeza anula el mecanismo de cabrestante por flaccidez de la placa plantar⁽²⁾, y en los acortamientos importantes no coaxiales al metatarsiano (osteotomías de Weil simples) en que el eje transversal de flexoextensión de las MF se coloca por debajo del trayecto de los interóseos, que pasan a ser dorsiflexores.

Hemos señalado que el fracaso de los mecanismos de flexión plantar de las articulaciones metatarsofalángicas conducirá al desarrollo de los **dedos en garra**. En la clínica, la mayoría de las veces que aparece uno o más dedos en garra, el fracaso de los sistemas estabilizadores no se debe a un fallo intrínseco de los mismos, sino a un aumento en las sollicitaciones mecánicas que deben soportar, terminando aquellos por verse desbordados.

El tipo de movimiento articular predominante en las metatarsofalángicas es distinto en el primer radio que en los radios menores. En el radio bifalángico se verifica un contacto por deslizamiento gracias al aparato glenosemoideo, mientras que en los trifalángicos predomina el componente de rodamiento. En el primer caso, el centro instantáneo de rotación (punto con traslación instantánea menor) coincide con el centro geométrico de la cabeza,



Figura 8. Las queratosis de los pies reumáticos siguen el patrón del apoyo intermedio o segundo rocker, independizando cada cabeza, y estrictamente plantares a estas. El dolor que la posición plantigrada supone al paciente artrítico convertirá al tercer rocker en un período de marcha no propulsiva, con arrastre (remolcado) al final del apoyo. A: artritis reumatoide. B: artritis psoriásica.

Figure 8. The keratoses of rheumatic feet follow the pattern of the midstance period or second rocker, with independent representation of each metatarsal head, and are strictly plantar thereto. The pain caused by the plantigrade position in the arthritic patient turns the third rocker into a non-propulsive period of the gait, with trailing of the foot at the end of the support phase. A: Rheumatoid arthritis. B: Psoriatic arthritis.

mientras que en el contacto por rodamiento el centro instantáneo de rotación coincide con la superficie de la cabeza en contacto con la placa plantar. Esto implica que, en los radios menores, el giro sobre el plano sagital se asocia a un avance del metatarsiano; un metatarsiano excesivamente largo empujará a la base de la falange, viéndose la falange proximal del dedo obligada a realizar una flexión dorsal excesiva que puede superar los mecanismos de estabilización. El caso descrito por longitud excesiva del metatarsiano, junto con otros defectos congénitos, da lugar a la formación de **garras estructurales**. Por otra parte, se han descrito tres situaciones clínicas de **generación dinámica de garras**, cada una de las cuales presenta un aspecto morfológico característico y se genera en un instante concreto del ciclo⁽¹³⁾. Estas son: la sustitución extensora, la estabilización flexora y la sustitución flexora.

a) Estabilización flexora. Es la causa más frecuente de las tres formas de producción de garras dinámicas. Se verifica durante la fase de apoyo final (30-50% del ciclo), es decir, en los dos tercios iniciales del tercer *rocker*. Se produce cuando los músculos interóseos pierden su ventaja mecánica frente a los flexores. A esa situación puede llegarse por un exceso de actividad de los flexores o por

un defecto en la acción de los interóseos, siendo más frecuente el primer supuesto.

1. Cuando se debe a una hiperactividad de los flexores, estos ganan ventaja mecánica no solo sobre los interóseos, sino también sobre el cuadrado carnoso de Silvio (*musculus quadratus plantae*), accesorio del FDL. Entonces, además de la garra, aparecerá una desviación en adducción y varo de los dedos quinto y cuarto, al perderse el vector de redireccionamiento lateralizador que, en condiciones normales, ejerce el cuadrado plantar sobre los tendones del flexor común. Los síndromes de inversión deficiente (pie plano valgo flexible, claudicación tibial posterior) dan lugar a la aparición de un pie pronado; el FDL, por su situación anatómica, puede funcionar como inversor agonista del tibial posterior, aunque generando mucha menos potencia. El área de sección fisiológica del FDL es cuatro veces menor que la del tibial posterior, y su brazo de momento inversor también es menor. Cuando hay un aumento de la pronación de la articulación subastragalina en el período de apoyo (sea en su magnitud y/o duración), se permite una movilidad excesiva en el antepié. Los flexores se activan antes y durante más tiempo, para intentar estabilizar el esqueleto del pie. Normalmente los flexores son ineficaces para conseguir la estabilización ósea del antepié, pero superan la acción de los interóseos, dando lugar a la producción de las garras. Con la pronación del tarso, el antepié normalmente se abduce, cambiando el vector lateralizador de fuerza que, en condiciones normales, imprime el cuadrado plantar al flexor común. Se produce entonces un aumento en el componente de tracción medial del FDL, que se traduce clínicamente en la adducción y varo de los ortejos 4 y 5.

2. Una debilidad primaria de los interóseos también dará lugar a una situación de ventaja mecánica de los flexores, pudiendo presentarse esta condición en algunas neuropatías y en las secuelas de los síndromes compartimentales.

b) Sustitución o suplencia flexora. Se produce en pies supinados, en la fase final del apoyo, cuando los flexores han ganado ventaja mecánica sobre los interóseos. Suele haber una contracción recta de todos los dedos menores, sin adductovaro de los dedos 4 y 5. Se presenta cuando hay una debilidad del tríceps sural, y los músculos de los compartimentos profundo y lateral de la pierna tratan de suplirlo (por ser flexores plantares del tobillo al cruzarlo por detrás de su eje transversal). Se observará una marcha calcánea. Participan los músculos FHL, FDL, TP, PLL y PLC. En cadena cinética cerrada, todos estos músculos son supinadores de la subastragalina, excepto el PLC (el PLL en cadena cinética cerrada -CCC- también es supinador subtalar por aumentar el cavismo del primer radio). La fuerza pronadora del PLC es insuficiente para contrarrestar la supinación de la subastragalina inducida por

el resto de los músculos. Ante una debilidad del tríceps sural, el conjunto de los músculos que pueden aportar flexión plantar en el tobillo se activa antes, y durante más tiempo, para intentar aportar el momento flexor plantar del tobillo, dando lugar a la sustitución flexora. El resultado será una contracción en flexión recta de los dedos con supinación del retropié.

El intento de esos músculos por elevar el talón fracasa, pero su acción desborda a los interóseos, apareciendo los dedos en martillo rectos. De las tres causas de dedos en martillo, es la menos frecuente.

c) Sustitución extensora. Se produce durante la fase de balanceo, cuando hay una acción excesiva del EDL, ganando esta ventaja mecánica sobre los lumbricales. Aparecerá una dorsiflexión importante de las metatarsofalángicas, muy superior a los 20-40° que normalmente se registran a ese nivel durante el balanceo. Las deformidades son rectas. Además de durante el balanceo, también se produce en el período de propulsión y en el contacto inicial.

La primera metatarsofalángica también puede verse implicada en esta deformidad. Los tendones extensores muestran una deformidad en cuerda de arco, y las cabezas de los metatarsianos aparecen prominentes en la eminencia digitoplantar por flexión plantar secundaria de los radios.

Frecuentemente, la deformidad es flexible al principio, de modo que en apoyo bipodal estático el aspecto de los dedos es normal. Cuando se pide al paciente que haga una dorsiflexión activa del tobillo en descarga (CCA) partiendo de una posición de flexión plantar, se reproduce la deformidad, desapareciendo esta en flexión dorsal pasiva.

Antes de que el EDL actúe como flexor dorsal del tobillo, si no participan los lumbricales, las articulaciones metatarsofalángicas deben colocarse en dorsiflexión máxima (90-130°).

Entre las circunstancias en que el EDL puede ganar ventaja mecánica cabe destacar: el pie cavo anterior (aumenta la inclinación de los metatarsianos y con ella la longitud relativa de su recorrido óseo), el equino del tobillo, la debilidad primaria de los lumbricales, la espasticidad del EDL y las situaciones clínicas que cursen con dolor en las cabezas metatarsianas durante el apoyo. El paciente elevará el pie completo del suelo al final del período de apoyo, como si fuera arrastrándolo (*trailing*) más que realizar un patrón propulsivo de marcha. También hemos visto este fenómeno en pacientes hipercoregidos tras intervenciones de varización tarsiana por síndromes de inversión deficiente (por ejemplo: claudicación tibial posterior). En las artrorrrisis subastragalinas por bloqueo del seno del tarso, la hipercorrección da lugar a una fase de balanceo en inversión persistente del pie, pero los peroneos no tienen activación fásica duran-

te el balanceo, por lo que el único músculo capaz de proporcionar un vector eversor (sobre todo en ausencia del peroneo anterior) es el EDL, que en su sobreacción ganará en ventaja mecánica a los lumbricales. Es curiosa la prolongación en el tiempo de la acción de este músculo que, incluso durante el segundo *rocker*, produce una marcada dorsiflexión de las MF.

La operación de Camera (transferencia del EDL a las cabezas de los metatarsianos correspondientes), antaño comúnmente empleada en los pies caídos y/o cavos postpolio, aumenta la eficacia del EDL como dorsiflexor del tobillo, a la vez que anula su efecto de generación de garras dinámicas por hiperextensión de las MF⁽³⁾.

INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS PROXIMALES EN EL METATARSO

A lo largo de esta exposición, hemos dejado entrever que algunas metatarsalgias mecánicas, tanto del segundo como del tercer *rocker*, pueden deberse a alteraciones originadas no en el metatarso, sino a nivel más proximal. En estos enfermos, las intervenciones sobre el antepié pueden dar lugar a situaciones clínicas peores, en tanto que una actuación ortopédica o quirúrgica sobre el origen podría resolver total o parcialmente el síntoma del dolor metatarsal. En cualquier paciente con metatarsalgia deben explorarse sistemáticamente los **parámetros de alineación, movilidad y estabilidad tarsianos que pueden influir en la mecánica del apoyo metatarsal**.

1. Estimación de la capacidad de **inversión activa del pie**. Los tibiales anterior y posterior, ambos con inervación procedente en gran parte de la raíz L5, son los músculos encargados de ejecutar primariamente ese movimiento: su actividad fásica durante la marcha corresponde al anterior en CCA y al posterior en CCC, por ser además dorsi y plantoflexores del tobillo, respectivamente. Desde una posición de partida en eversión el TA es ineficaz, en tanto que desde una posición de partida en inversión, muestra una gran capacidad de antieversión. El tibial posterior es un inversor eficaz, independientemente de la posición de partida del pie en el plano coronal. Al ser dorsiflexor del tobillo, la capacidad de inversión del TA también es menor cuando se comprueba desde una posición de flexión dorsal o neutra que cuando el pie está en equino. Debe, por tanto, valorarse la inversión activa contra resistencia desde distintas posiciones relativas de partida para distinguir la fuerza de ambos músculos.

2. Estimación de la capacidad de **inversión pasiva del pie**. El mencionado mecanismo de cabrestante, del que es responsable la aponeurosis plantar (sobre todo a nivel de la columna interna), hace que la dorsiflexión de las MF produzca un aumento de la flecha del arco y una vari-



Figura 9. Queratosis producidas durante el tercer rocker; metatarsalgias propulsivas. Suelen ser amplias y proyectadas en sentido distal. A corresponde a una fórmula metatarsal index minus. B es un síndrome de insuficiencia del primer radio por hallux valgus. En C, con una deformidad en valgo del primer dedo importante, se añade una queratosis de tercer radio asociada a la cabeza del primer meta por anulación funcional del aparato gleno-sesamoido. La cabeza del tercer meta parece escapar de la sobrecarga: hay que buscar, entonces, un acortamiento relativo o, quizás, una elevación del hueso.

Figure 9. Keratoses occurring during the third rocker; propulsive metatarsalgia. They are usually broad and extend distally. A corresponds to an "index minus" metatarsal formula. B is a first radius insufficiency syndrome due to hallux valgus. In C, further to a major valgus deformity of the first digit there is a third-radius keratosis in association to the head of the first metatarsal bone due to functional impairment of the gleno-sesamoid apparatus. The head of the third metatarsal bone seems to escape from the overload: in this case, a relative shortening or perhaps an elevation of the bone should be sought.

zación del talón. El test de dorsiflexión pasiva del *hallux* con el paciente en bipedestación estática, conocido como *jack test*, pone de manifiesto el correcto funcionamiento del mecanismo, y supone muy buen pronóstico en la evolución de los pies planos laxos infantiles⁽¹³⁾. Cuando pedimos a un paciente que se ponga de puntillas sobre uno o los dos pies simultáneamente (*single/double heel-rise tests*), estamos haciendo exactamente la misma maniobra; el mismo buen pronóstico puede establecerse cuando en un pie plano valgo, por importante que sea su deformidad, se dibuja el arco longitudinal y se variza el talón al ponerse de puntillas^(18,19).

El fracaso funcional del tendón tibial posterior en fases iniciales presenta unos tests normales, pero el mantenimiento de su disfunción irá dando lugar de forma progresiva a un estiramiento de la aponeurosis plantar y, con ello, a la pérdida del mecanismo de cabrestante. La transferencia medial de la línea de carga terminará por desestabilizar la columna interna, y la consecuencia final a nivel del antepié será una metatarsalgia de transferencia en los radios centrales (Figura 9). El uso de ortesis aco-

modativas (o mejor funcionales, si el paciente las tolera) suele ser eficaz en el control de estas metatarsalgias⁽¹³⁾. La actuación quirúrgica sobre los radios menores en un paciente con metatarsalgia por transferencia de este tipo puede empeorar su situación clínica, y en algunos casos de insuficiencia del tibial posterior el primer síntoma puede ser una metatarsalgia propulsiva, incluso antes de que la deformidad estructural sea evidente (Figura 10).

3. Estimación de la adecuación del **Aquiles**. Una retracción del tríceps sural, sea primaria o secundaria, puede producir una metatarsalgia de segundo y/o tercer *rockers*: a menudo se acorta el segundo *rocker* (elevación precoz del talón) y se produce la mayor sobrecarga durante el tercero. Los equinismos clínicamente evidentes son fáciles de detectar; incluso el contacto inicial puede verificarse en el antepié, con lo que no existiría primer *rocker*. Más frecuentes y difíciles de identificar son los equinismos subclínicos, que dan lugar a metatarsalgia propulsiva: habitualmente coexisten con un valgo del talón que enmascara el equinismo. En efecto, la falta de dorsiflexión a nivel del tobillo intenta compensarse con una eversión subtalar aumentada, que permite "ganar" artificialmente unos grados de dorsiflexión en la mediotarsiana. Para estimar correctamente la capacidad de dorsiflexión real del tobillo, el paciente debe estar en decúbito supino con la rodilla extendida y el pie en inversión forzada: de



Figura 10. Paciente con hallux valgus bilateral y claudicación tibial posterior izquierda. La queratosis de los radios centrales está más marcada en el pie con capacidad de inversión deficiente. Además, aparece una queratosis relacionada con la cabeza de M1, debida a la pronación persistente del pie.

Figure 10. Patient with bilateral hallux valgus and left-side M. tibialis posterior dysfunction. The keratosis over the central radii is more marked in the foot with deficient inversion capacity. There is also a keratotic area in relation to the M1 metatarsal head, caused by the persistent pronation of the foot.

ese modo se impide que una valguización subtalar nos enmascare el equinismo. En esas condiciones, el tobillo debe alcanzar con facilidad la posición neutra, e incluso permitir una ligera dorsiflexión, al realizar una flexión dorsal pasiva del pie⁽¹³⁾. Si se alcanza la dorsiflexión descrita puede descartarse la participación del tríceps sural en la metatarsalgia. Si no se alcanza la posición correcta con la rodilla extendida, pero sí con la rodilla flexionada, la retracción tendrá su origen en los gemelos, y actuando sobre estos, sin intervenir sobre el tendón de Aquiles, podrá resolverse el problema mediante un efecto Vulpius. Si pese a la flexión de la rodilla persiste la incapacidad de alcanzar la posición neutra manteniendo el pie invertido, el defecto tendrá su origen en el sóleo o en la propia articulación del tobillo. Por último, cabe señalar que siempre se tolera mejor un cierto equinismo que un alargamiento excesivo del Aquiles, que daría lugar a una marcha no propulsiva y, en el peor de los casos, a una *crouch gait* o marcha agazapada⁽¹⁰⁾.

4. Estimación de la **posición neutra subastragalina**. Se admite, desde un punto de vista funcional, que, del total de la movilidad subtalar, dos tercios corresponden a inversión y un tercio a eversión. Por otra parte, la palpación de los márgenes laterales de la articulación subastragalina es difícil e imprecisa, pero la palpación de los márgenes medial y lateral de la articulación talonavicular es muy sencilla, permitiendo inferir que la posición anatómicamente neutra de la subastragalina sea aquella en la que la talonavicular esté en su posición neutra anatómica: cuando palpemos una cobertura máxima simultánea a ambos lados de la cabeza del astrágalo⁽¹³⁾. Esta exploración se efectúa con el paciente en decúbito prono y el pie a estudiar libre de contacto con el extremo de la camilla, con el tobillo en posición neutra; puede pintarse la bisectriz de la pierna y, a continuación, pintarse sobre la cara posterior del talón la prolongación de la bisectriz de la pierna con el pie en máxima inversión y en máxima eversión. El ángulo pintado sobre la cara posterior del talón será de vértice superior, y su amplitud dará una idea aproximada de la amplitud total de movimiento subtalar. Además, podemos marcar tres puntos: craneal, caudal e intermedio, en la misma superficie posterior del talón, de forma que sean equidistantes a las superficies medial y lateral de la tuberosidad calcánea, con lo que al unir esos tres puntos con una recta tendremos un registro gráfico aproximado de la bisectriz de la tuberosidad del calcáneo. En condiciones normales, la bisectriz del calcáneo ocupará una posición aproximadamente equivalente a la unión de los dos tercios-un tercio de varo-valgo del talón. Además, podemos registrar el ángulo de Helbig (bisectriz del calcáneo/bisectriz de la pierna) en descarga, al tiempo que el tobillo esté en su posición neutra y la subastragalina también (palpando la talonavicular). La alineación de Helbig así

obtenida (relajada o en descarga) debe compararse con la que se produce con el paciente en bipedestación⁽²⁰⁾.

¿Qué relación guarda este estudio con la metatarsalgia? En primer lugar, una pronación subtalar puede producir una metatarsalgia de los radios centrales, como se señaló anteriormente, por aumentar la movilidad potencial en el resto del pie, lo que puede terminar por estirar las partes blandas, que cederán fundamentalmente en la columna interna. Por otra parte, un varo subtalar primario tenderá a producir dolor en la cabeza de M5 (sospecharlo ante una queratosis bien dibujada bajo su cabeza), mientras que un varo subtalar secundario puede ir asociado a una queratosis dolorosa bajo la cabeza de M1, como veremos más adelante. En el primer caso, la exploración de la subastragalina denotará una varización subtalar tanto en descarga como en carga, mientras que en el segundo caso nos encontraremos con un varo subtalar en carga, pero normoalineación en descarga, con una amplitud de movimiento normal (que suele estar disminuida en el varo subtalar primario).

5. Estimación de la **posición relativa retropié-antepié**. Con el paciente en decúbito prono, colocado de forma que el pie quede colgando sobre la vertical (flexiónese el miembro inferior contrario para compensar la rotación externa fisiológica del tobillo), sin que el pie toque el extremo de la camilla para permitir la dorsiflexión del tobillo y palpando la talonavicular, aplicaremos pasivamente una dorsiflexión al pie desde su columna externa (M4, M5) hasta colocar el tobillo en su posición neutra. De esta forma apreciaremos la alineación del talón con respecto a un suelo imaginario, la alineación en que queda el antepié con la misma referencia y la alineación que guardan entre sí el antepié y el retropié^(13,21). Hablaremos de antepié valgo cuando la eminencia digitoplantar mira hacia fuera (cabeza de M1 descendida y cabeza de M5 elevada), y de antepié varo cuando la eminencia digitoplantar mira hacia dentro (cabeza de M1 ascendida y cabeza de M5 descendida), o antepié pronado y supinado, respectivamente.

Un antepié valgo estructurado (flexión plantar fija de M1) obligará al talón a colocarse en varo durante el segundo *rocker* y durante el apoyo bipodal estático. El varo subtalar en este caso sería secundario; la posible metatarsalgia sería medial, del segundo *rocker*, con una queratosis estrictamente plantar a la cabeza de M1; y podremos alinear correctamente el talón colocando una cuña en el cuadrante anteroexterno del pie (test de Coleman) bajo las cabezas de M4 y M5⁽¹³⁾. Un acortamiento de M1 sería impropio, pero una osteotomía de elevación podría aliviar la cabeza del hueso y alinear la subastragalina. Ni que decir tiene que intentar corregir el varo del talón como si fuera primario mediante un efecto Dwyer sería una fuente inagotable de yatrogenia.



INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS DISTALES EN EL METATARSO

En el antepié deben explorarse rutinariamente algunas estructuras, aunque no sean referidas por el paciente como dolorosas.

1. Estimación de la **estabilidad de la primera cuneometatarsiana**. La amplitud del movimiento dorsal-plantar de la cabeza de M1 es mayor con el pie evertido que con el pie invertido. Estabilizando la paleta metatarsal, excepto M1 desde el borde exterior del pie, puede movilizarse la cabeza de M1 con la otra mano para estimar la amplitud de la flexión CM1, aunque lamentablemente carecemos de referencias para su cuantificación siquiera relativa o grosera. Puede ser útil compararla con la del otro pie. Ante una inestabilidad franca debe considerarse su fusión mediante un efecto Lapidus. Si la inestabilidad no es grave, y hay una deformidad en adducción (varo) de M1, hay que tener en cuenta que al corregir esta mediante una osteotomía anularemos el momento rotador axial de M1 (evitaríamos la supinación del hueso), que probablemente sea su componente más desestabilizadora hacia la dorsiflexión a nivel de CM1.

2. Estimación de la **movilidad de la primera metatarsofalángica**. En condiciones normales, la MF1 alcanza pasivamente con facilidad los 90° de dorsiflexión. Se habla de *hallux limitus* cuando el movimiento es menor de unos 45°, y *rigidus* cuando la limitación es franca. Constituye una de las formas del síndrome de sobrecarga del primer radio. La limitación de la dorsiflexión de la MF1 obligará al paciente a supinar el antepié durante el tercer *rocker* y a trasladar el punto de rotura metatarsofalángico a la interfalángica del dedo gordo. Por este motivo, aparecerán de forma más o menos marcada unas queratosis amplias bajo los radios laterales y otra bajo la IF del *hallux* (Figura 11). El tratamiento de esta forma de metatarsalgia mecánica propulsiva sigue siendo uno de los problemas no resueltos en la patología del pie en el momento actual.

Dos hallazgos son frecuentes en estos pacientes: la coexistencia de talalgia mecánica por fascitis plantar proximal (Rochera; comunicación personal) y la elevación del

Figura 11. Paciente con queratosis sugestivas de supinación excesiva durante el tercer rocker. La presencia de la dureza bajo la interfalángica del primer dedo, junto con las queratosis de los radios menores, es característica de la transferencia por *hallux limitus* o *rigidus*. En este caso, la morfología de las queratosis de los radios 2 y 3, así como la del primer radio, son más difíciles de explicar: esta última parece deberse a la falange proximal del hallux, y no al meta, mientras que las de los radios 2 y 3 pueden estar atenuadas porque el potente primer radio evite el contacto de dichos metas con el suelo en el tercer rocker.

Figure 11. Patient with keratoses suggestive of excess supination during the third rocker. The presence of a hyperkeratotic area under the interphalangeal joint of the first digit, together with the keratoses of the lesser radii, are characteristic of transference because of *hallux limitus* or *rigidus*. In the present case, the appearance of the keratosis of the II and III radii, as well as that of the first radius, are rather more difficult to explain: the latter appears to be due to the proximal phalanx of the hallux and not to the metatarsal bone, while those of radii II and III might actually be attenuated because the powerful first radius prevents contact of those two metatarsal bones with the ground during the third rocker.

primer metatarsiano. Ambos sugieren que la aponeurosis plantar juega un papel importante en la etiopatogenia del *hallux limitus*. López Laserna (comunicación personal) describió la presencia de espolones calcáneos en pacientes que consultaban por *hallux rigidus*; no damos significado patológico a la inmensa mayoría de los espolones, ni creemos indicada su resección aunque coincida con una talalgia mecánica, pero probablemente indiquen cierta tensión aumentada en el cabrestante. La elevación del primer metatarsiano (*metatarsus primus elevatus*) ha sido invocada como causa y/o como consecuencia del *hallux limitus*^{13,20}; su valoración debe ser clínica, pues el aspecto radiológico de la proyección lateral en carga puede variar enormemente en función del nivel e inclinación del foco al hacer la radiografía. Los casos con articulación bien conservada y elevación franca de M1 pueden beneficiarse de una osteotomía de descompresión-descenso.

3. Estimación de la **fuerza de flexión plantar de los dedos**. Tanto en el primero como en los demás orfejos puede comprobarse la capacidad que el paciente tenga de retener contra el suelo una hoja o una tarjeta estando de pie¹². Una falta de fuerza flexora plantar de *hallux* producirá la típica insuficiencia del primer radio durante el tercer *rocker*, que puede acompañarse también de la formación de una queratosis bajo la cabeza de M1, sobre todo si se asocia a una luxación real de los sesamoideos cuando ven retrasada su posición (por ejemplo: tras la intervención de Keller-Brandes).

Los dedos flotantes son incapaces de tocar el suelo en bipedestación estática; esto supone un menoscabo funcional importante, con probable sobrecarga de la cabeza del meta correspondiente². Pueden producirse espontáneamente o ser consecuencia de intervenciones que debiliten el mecanismo de cabrestante inverso (condilectomías tipo DuVries) o anulen la acción de los músculos interóseos (osteotomías de Weil simples).

CONCLUSIONES

Como corolario, se debe señalar que el estudio de cualquier metatarsalgia, sin ser especialmente complejo en la mayoría de los casos, requiere de cierta sistemática para no pasar por alto ninguno de sus posibles orígenes. Lamentablemente, muchas de las afirmaciones vertidas en este trabajo son meras hipótesis que carecen de comprobación experimental. Por otra parte, no pocas veces nos encontraremos con síntomas y signos discrepantes que dificultan la catalogación de la metatarsalgia.

La ausencia de queratosis en un paciente con metatarsalgia de supuesto origen mecánico debe hacer replantearse el diagnóstico, pero no lo excluye en absoluto. Las características de las queratosis en la planta del pie son el

mejor registro baropodográfico dinámico de las afecciones crónicas. Pueden ayudar a comprender si la sobrecarga mecánica (presión + cizalleo) que sufre la piel se está produciendo durante los *rockers* segundo o tercero, y cuántos radios pueden estar implicados, sea por sobrecargados, sea por insuficientes. En general, el acortamiento de un metatarsiano disminuirá sus solicitaciones durante el tercer *rocker*, mientras que su elevación hará lo propio durante el segundo *rocker*.

Los dedos en garra, sean de origen estructural o dinámico, son la punta de un iceberg; es más importante conocer cuál ha sido su causa que el propio tratamiento de la garra. Estas son dolorosas por conflicto mecánico con el calzado, y pueden dejar de ser sintomáticas sin actuar directamente sobre el dedo, aunque persista su deformidad.

Nunca hay que olvidar que el síntoma metatarsalgia puede deberse a alteraciones localizadas fuera del metatarso, o en una zona de este distinta del punto doloroso. Especialmente importantes en este sentido son los trastornos de la alineación y estabilidad del complejo articular periastragalino.

El éxito del tratamiento de la metatarsalgia depende de su correcta indicación, y esta, de su correcta filiación. Los malos resultados tras el tratamiento quirúrgico de una metatarsalgia siempre tienen una explicación, que habitualmente se puede encontrar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Saló JM. Metatarsalgias. En: Viladot Pericé A. Quince lecciones sobre patología del pie. 2.ª edición. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica 2000: 125-140.
2. McGlamry ED. Comprehensive Textbook of Foot Surgery 1. 2.ª edición. Baltimore: Williams & Wilkins 1992.
3. Viladot A. Patología del antepié. 3.ª edición. Barcelona: Toray 1981.
4. Rosenberg GA, Sferra JJ. Morton's neuroma: primary and recurrent and their treatment. Foot Ankle Clin 1988; 3 (3): 473-484.
5. Mendicino SS, Rockett MS. Morton's neuroma. Update on diagnosis and imaging. Clin Podiatr Med Surg 1999; 14 (2): 303-311.
6. Balkin SW. The fluid silicone prosthesis. Clin Podiatry 1984; 1 (1): 145-164.
7. Viladot R, Rochera R. Pie reumático inflamatorio: tratamiento quirúrgico. En: El pie. Monografías Médico-Quirúrgicas del Aparato Locomotor. Barcelona: Masson 1997: 113-136.
8. De Doncker E, Kowalski C. Le pied normal et pathologique. Acta Orthop Belg 1970; 36: 337.
9. Perry J. Gait Analysis. Slack. Nueva Jersey: Thorofare 1992.

10. Gage JR. Gait Analysis in Cerebral Palsy. Londres: McKeith Press 1991.
11. Whittle MW. Gait analysis. 2.ª edición. Butterworth-Heinemann 1998.
12. Barouk LS. The Weil lesser metatarsal osteotomy. En: Forefoot reconstruction. París: Springer-Verlag 2003: 109-132.
13. Michaud TC. Foot orthoses and other forms of conservative foot care. Baltimore: Williams & Wilkins 1993.
14. Cavanagh PR, Ulbrecht JS. Biomechanical aspects of foot problems in diabetes. En: Boulton AJM, Connor H, Cavanagh PR (eds.). The foot in diabetes. 2.ª edición. Chichester (Reino Unido): Wiley 1994: 25-35.
15. Lidtke RH. Predicting ulcer formation in the neuropathic foot using computerized footprint analysis. Annual Scientific Meeting of the American Podiatric Medical Association, Chicago, 17 de agosto de 2001.
16. Maceira E, Fariñas F, Tena J, Escobar R, Baltés JL. Análisis de la rigidez metatarsofalángica en las osteotomías de Weil. Rev Med Cir Pie 1998; 12 (2): 35.
17. Sarrafian SK. Anatomy of the foot and ankle. Descriptive, topographical, functional. 2.ª edición. Filadelfia, Pennsylvania: JB Lippincott Co. 1993.
18. Rodrigues Fonseca I. Pé plano. Estudio dinámico. Edição do autor. Coimbra 1984.
19. Johnson KA. Tibialis posterior tendon rupture. Clin Orthop 1983; 177: 140-147.
20. Seibel MO. Foot function. A programmed text. Baltimore: Williams & Wilkins 1988.
21. Garbalosa JC, McClure MH, Catlin PA, Wooden M. The frontal plane relationship of the forefoot to rearfoot in an asymptomatic population. J Orthop Sport Phys Ther 1994; 20 (4): 200-206.