

1 Bases anatómicas y funcionales del primer radio

Antonio Viladot Voegeli

Profesor Asociado. Departamento de Patología Terapéutica Experimental.

Facultad de Medicina. Universidad de Barcelona

Introducción

El primer radio del pie está constituido por el primer metatarsiano, el *hallux* y el complejo gleno-sesamoideo situado por debajo de la cabeza del primer metatarsiano. Constituye una unidad funcional básica que otorga al pie tanto su función *estática* –como base de sustentación del organismo en bipedestación– como su función *dinámica* de impulsar el cuerpo hacia delante en actividades tan habituales para el ser humano como son la marcha y la carrera.

Este capítulo se desarrolla en tres apartados fundamentales: en el primero describiremos los aspectos *anatómicos* importantes del primer radio que tienen una implicación funcional; en el segundo analizaremos la *cinemática* con los movimientos que realiza durante la marcha; por último, en el tercer apartado, estudiaremos la *cinética* o fuerzas que soporta el primer radio, tanto en situación estática como dinámica.

Recuerdo anatómico

La anatomía macroscópica del primer radio está sujeta a una gran variabilidad individual. Si analizamos la longitud del primer dedo en el plano horizontal podemos observar que dentro de la población normal encontramos tres tipos de *fórmulas digitales* (Figura 1-A): individuos que presentan el primer dedo más largo que el segundo o *antepié egipcio*; individuos en los que el primer dedo es más corto que el segundo o *antepié griego*; e individuos que presentan el primer y segundo dedos iguales o *antepié cuadrado*.

Si analizamos la longitud de los metatarsianos, también en el plano horizontal podemos distinguir tres *fórmulas metatarsales* (Figura 1-B): en la fórmula *index plus*, el primer metatarsiano es más largo que el segundo; en la fórmula *index minus* es más corto que el segundo; y en la fórmula *index plus minus*, los dos primeros metatarsianos son iguales.

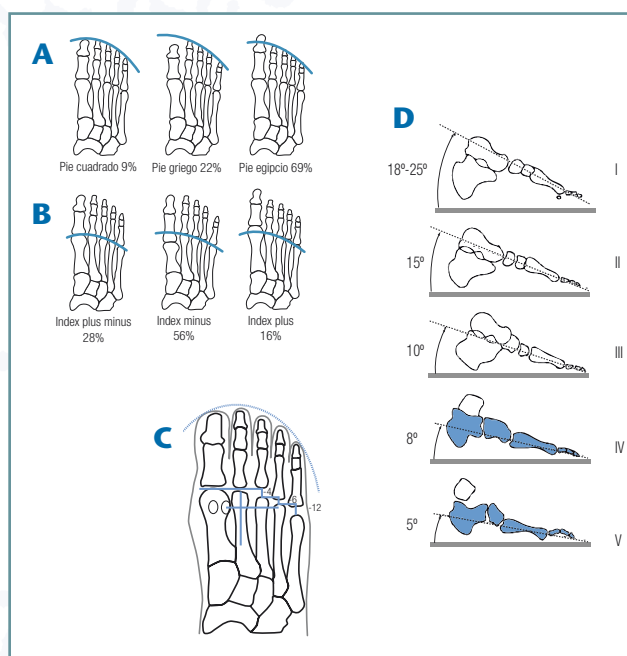


Figura 1. A: Fórmulas digitales. B: Fórmulas metatarsales. C: Pie ideal; fórmula de Maestro. D: Ángulo de incidencia de los cinco metatarsianos con el suelo.

Todas las fórmulas digitales y metatarsales son fisiológicas y pueden combinarse entre sí, pero desde un punto de vista funcional hay que resaltar que la fórmula digital "griega" es la que mejor se ajusta al calzado habitual, y la fórmula metatarsal *index-plus-minus* es la que mejor soporta las importantes cargas que recibe el antepié. Por ello, cuando planificamos una cirugía a nivel del antepié, debemos buscar que al final de la intervención el paciente presente lo que hemos denominado el "antepié ideal": fórmula digital griega y fórmula metatarsal *index-plus-minus* (Figura 1-C).

Siguiendo las ideas de Maestro⁽¹⁾, el segundo metatarsiano debe ser 4 mm más largo que el tercero, el tercero 6 mm más largo que el cuarto, y el cuarto, 12 mm



más largo que el quinto. Si trazamos desde el sesamoideo lateral una línea perpendicular al eje del segundo metatarsiano, ésta debe cruzar la cabeza del cuarto metatarsiano (Figura 1-C).

Si observamos el pie en apoyo bipodal, podemos observar que, en el plano sagital, el ángulo de incidencia de cada metatarsiano con el suelo va decreciendo del primero al quinto: el primero será de 18° a 25°, y los siguientes de 15°, 10°, 8° y 5° respectivamente (Figura 1-D). Las variaciones en el ángulo de incidencia del primer metatarsiano con el suelo pueden comportar una alteración funcional importante, tanto en el apoyo global del antepié como en la morfología de la bóveda plantar. El aumento del ángulo de incidencia implica una sobrecarga mecánica de la cabeza del primer metatarsiano y del rodete gleno-sesamoideo y, siguiendo las ideas de Papparella⁽²⁾ sobre la formación helicoidal de la bóveda plantar, comporta un varo compensador del retropié. La disminución del ángulo comportará una metatarsalgia por transferencia de carga a las cabezas metatarsianas laterales y un valgo compensador del talón.

Primer metatarsiano

El primer metatarsiano se caracteriza por su mayor grosor, aproximadamente el doble que el de los metatarsianos laterales. Además, así como la diáfisis de éstos últimos está proporcionalmente menos desarrollada que las epífisis, en el primer metatarsiano la diáfisis tiene una forma casi cilíndrica, con el mismo perímetro que en las epífisis, lo cual le confiere una mayor resistencia mecánica. Esto es debido a que durante la marcha, en el momento del despegue, es precisamente la diáfisis la que soporta el momento flexor máximo.

Primera articulación cuneo-metatarsiana

El primer metatarsiano se articula por su parte proximal con la primera cuña, constituyendo la paleta medial de la articulación de Lisfranc.

La primera cuña ocupa el borde interno del pie y tiene la forma de una verdadera cuña con la base en la cara plantar y el vértice en la cara dorsal. Su superficie articular anterior se corresponde con la extremidad posterior del primer metatarsiano y presenta una amplia superficie convexa, prolongada de arriba abajo, y adopta una forma de media luna de convexidad interna.

La base del primer metatarsiano presenta también un eje mayor vertical con una forma de media luna dorso-medial y un borde lateral rectilíneo. La mitad dorso-medial, más amplia, es perpendicular al eje de la diáfisis

del primer metatarsiano, lo que le permite soportar bien las fuerzas de compresión. La parte planto-lateral tiene forma de quilla y recibe la inserción del peroneo lateral largo, soportando principalmente fuerzas de tracción.

Dada su morfología, la articulación cuneo-metatarsiana está muy bien preparada para soportar las fuerzas dorsiflexoras que le llegan del suelo a través del metatarsiano, pero, en cambio, soporta mal las fuerzas de rotación en el plano frontal. Como indica Maceira⁽³⁾, cuando el primer metatarsiano se desvía en adducción y su eje pierde el paralelismo con el eje del pie, las fuerzas de reacción del suelo provocan a nivel de la cuneo-metatarsiana un movimiento rotador en el plano frontal que desestabiliza la articulación y obligará al metatarsiano a realizar un movimiento de supinación. Coughlin y colaboradores⁽⁴⁾ han demostrado que cuando en la cirugía del *hallux valgus* se realiza una osteotomía valguizante del primer metatarsiano, devolviendo a éste su alineación fisiológica, la articulación cuneo-metatarsiana recupera su estabilidad.

Primera articulación metatarso-falángica

El primer metatarsiano se articula en su parte distal con la falange proximal del dedo gordo y con el rodete gleno-sesamoideo.

La cabeza del primer metatarsiano presenta un contorno en forma de cuadrilátero con un eje transversal mayor que el vertical, lo que lo diferencia de los metatarsianos laterales, donde ocurre lo contrario. Su superficie articular está dividida en dos partes: una superior, que se articula con la base de la falange; y una inferior, que se articula con los sesamoideos. La parte superior presenta una superficie convexa hacia delante, con un radio de curvatura mayor en sentido vertical, siendo más amplia que la superficie correspondiente de la base de la falange.

La falange proximal posee una base muy amplia con una superficie articular ovoide, cóncava hacia detrás, que, como hemos dicho, es más pequeña que la del metatarsiano. En la parte dorsal presenta un pequeño tubérculo para la inserción del extensor corto. En la parte plantar presenta dos tubérculos: el medial, para la inserción del flexor corto y el adductor; y el lateral, para la inserción del flexor corto y el abductor.

Articulación metatarso-sesamoidea

La superficie articular inferior de la cabeza del primer metatarsiano es amplia y se encuentra dividida en dos partes por la cresta intersesamoidea que discurre en

sentido antero-posterior entre el tercio externo y los dos tercios internos de la cabeza metatarsal. A ambos lados presenta dos surcos por el que se deslizan los dos sesamoideos. Dada esta situación lateral de la cresta, los sesamoideos tienden a rotar hacia fuera.

Los sesamoideos tienen una forma elíptica, del tamaño de un guisante, con un eje mayor antero-posterior. La parte inferior es extraarticular, con una superficie convexa hacia abajo, mientras que la superior es aplana y se articula con la base del metatarsiano. Ambos sesamoideos se encuentran incluidos dentro de una lámina cartilaginosa o *rodete glenoideo*. Este “aparato gleno-sesamoideo” (Figura 2-A) es la base de una importante encrucijada tendinosa que tiene una gran relevancia funcional durante la marcha: en el sesamoideo interno se inserta el adductor y el tendón medial del flexor corto, y en el externo, el abductor y el tendón lateral del flexor corto. Todo el conjunto se encuentra firmemente unido a la base de la falange, por lo que la sigue en sus movimientos de flexo-extensión, deslizándose en sentido antero-posterior *de forma independiente del metatarsiano*.

Según la posición relativa de los sesamoideos con respecto a la cabeza del metatarsiano en el plano frontal, Rosebaum⁽⁵⁾ establece cuatro *fórmulas sesamoideas* (Figura 2-B):

1. Ambos sesamoideos están situados en la cara plantar del metatarsiano.
2. Los dos sesamoideos están ligeramente luxados hacia fuera.
3. El sesamoideo medial se halla situado por debajo y en la mitad de la cabeza del metatarsiano.
4. Los dos sesamoideos están subluxados en el espacio intermetatarsal.

Las dos primeras fórmulas serán fisiológicas, mientras que las dos últimas, asociadas al metatarso varo, son patológicas.

Cinemática

Desde un punto de vista funcional, los movimientos del primer radio tienen lugar principalmente en las articulaciones cuneo-metatarsiana y metatarso-falángica. Como ya hemos indicado anteriormente, los sesamoideos siguen a la primera falange, deslizándose en sentido antero-posterior por debajo de la cabeza del metatarsiano.

Primera articulación cuneo-metatarsiana

La primera articulación cuneo-metatarsiana se mueve conjuntamente con la articulación escafo-cuneiforme

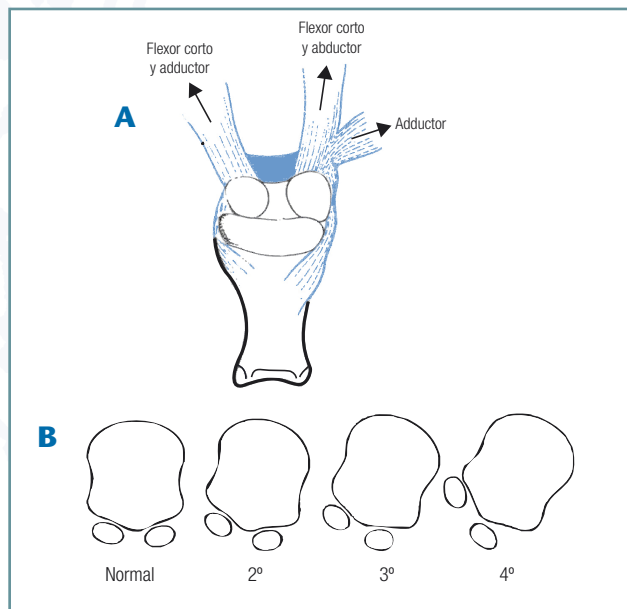


Figura 2. A: Rodete gleno-sesamoideo y sus inserciones. B: Fórmulas sesamoideas.

alrededor de un eje común que va de delante atrás, de fuera adentro y de abajo arriba (Figura 3-A), formando un ángulo de aproximadamente 45° en los planos sagital y frontal y muy pequeño, de unos 5°, en el plano transversal (Figura 3-B). Por tanto, el primer radio a este nivel presenta un movimiento triplanar que tiene lugar fundamentalmente en los planos sagital y frontal: cuando el primer metatarsiano se mueve en *dorsiflexión*, realiza simultáneamente un movimiento de *supinación*; y cuando se mueve en *flexión plantar*, realiza una *pronación*. La amplitud de ambos movimientos –flexión plantar-flexión dorsal y pronación-supinación– son equivalentes.

Primera articulación metarso-falángica

La primera articulación metarso-falángica es una articulación condílea que se mueve en dos planos del espacio a través de dos ejes de movimiento: uno vertical y otro transversal, que pasan por el cuello del metatarsiano (Figura 3-C y 3-D). En el plano horizontal a través del eje vertical realiza movimientos de *abducción-adducción*, siendo este rango de movilidad muy pequeño y con poca trascendencia funcional. En cambio, en el *plano sagital* presenta un amplio movimiento de *flexo-extensión* a través del eje transversal que es fundamental para la marcha: la flexión dorsal es de 90° con respecto a la diáfisis del metatarsiano, y la flexión plantar de 30°. Hay que resaltar el hecho de que en la primera articulación metarso-falán-

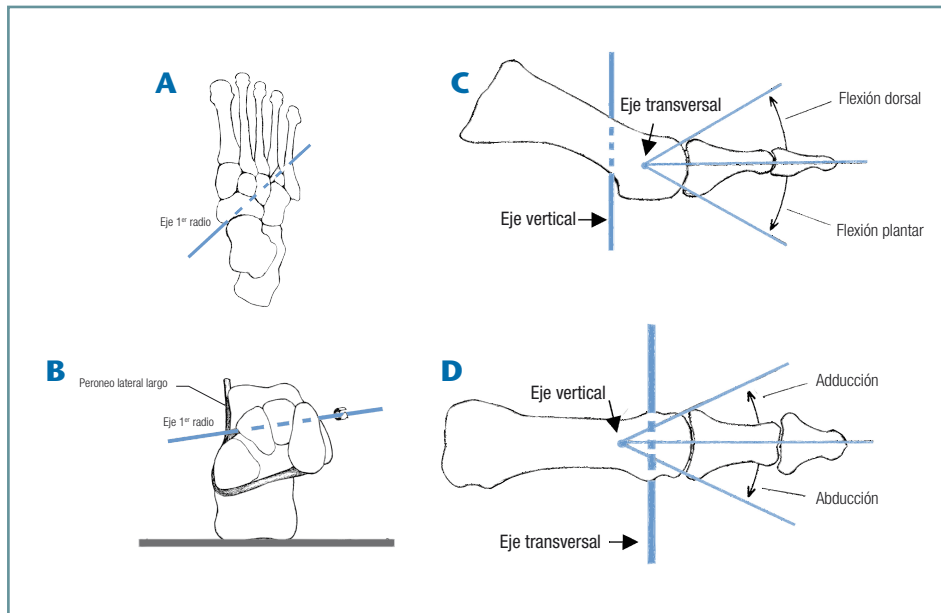


Figura 3. Ejes de movimientos (ver texto). A y B: Eje de la articulación cuneo-metatarsiana. C y D: Ejes de la articulación metatarso-falángica.

gica no existen movimientos fisiológicos de *pronación-supinación* en el *plano frontal*, por lo que, si existen estos movimientos en deformidades como el *hallux valgus*, se provocará una subluxación de la articulación.

El primer radio durante la marcha

Recordemos que un *ciclo de marcha* es aquel periodo de tiempo transcurrido desde el contacto del talón con el suelo hasta el siguiente contacto del mismo talón con el suelo. Por tanto, un ciclo de marcha consta de dos pasos y lo podemos dividir en dos periodos: un *periodo de apoyo*, que abarca el primer 62% del ciclo, en el que el pie se encuentra en contacto con el suelo, y un segundo *periodo de oscilación*, que ocupa el 38% restante del ciclo, en el que el pie se encuentra suspendido en el aire, oscilando de detrás hacia delante.

El *periodo de apoyo* es el de mayor trascendencia mecánica, ya que, durante este periodo, el pie se encuentra soportando el peso del cuerpo, absorbe el impacto de la extremidad con el suelo e impulsa el cuerpo hacia delante para dar el siguiente paso. Lo podemos dividir en tres fases (Figura 4).

La primera fase o *fase de contacto* se inicia con el choque del talón con el suelo y termina cuando el antepié se encuentra totalmente apoyado y todas las cabezas metatarsianas soportan carga. Ocupa el primer 27% del periodo de apoyo.

En la segunda fase o *fase de apoyo total*, todo el pie se encuentra en contacto con el suelo soportando el peso del cuerpo, ya que la otra extremidad se encuentra en periodo de oscilación. Esta fase termina en el momento en el que el talón empieza a levantarse del suelo y ocupa el 40% del periodo de apoyo.

La tercera fase es la *fase propulsiva* en la que el pie, apoyado por el antepié impulsa la extremidad hacia delante transfiriendo la carga a la extremidad contralateral. Termina al finalizar el contacto con el suelo y ocupa el 33% restante del periodo de apoyo.

Estas tres fases del periodo de apoyo, en las que la tibia gira de atrás hacia delante, se conoce en términos de análisis de la marcha como *rockers*: en el primero (fase de contacto), el centro de giro o fulcro se encuentra en el talón; en el segundo (fase de apoyo total), se encuentra en el tobillo; y en el tercero (fase de propulsión), se encuentra en el antepié.

Los movimientos más trascendentales en las tres fases descritas son los siguientes:

Fase de contacto (primer *rocker*)

En esta primera fase de contacto del pie con el suelo, la pierna realiza un movimiento de rotación interna y el pie realiza un movimiento de eversión que se inicia en el retropié: la articulación subastragalina se encuentra en valgo, y los ejes de la astrágalo-escafoidea y calcáneo-cuboidea son paralelos. En esta situación, la bóveda plantar es flexible y permite la adaptación del pie a las irregularidades del terreno.

A nivel del antepié, al contactar la cabeza del primer metatarsiano con el suelo, la fuerza de reacción de éste hace que la columna interna del pie se levante, desaparece el arco transversal y, como indica Morton⁽⁶⁾, *todas las cabezas metatarsianas soportan carga* al final de la fase de contacto. Este movimiento de elevación tiene lugar fundamentalmente a nivel de la *coxa pedis*, con poca participación en él de la primera articulación

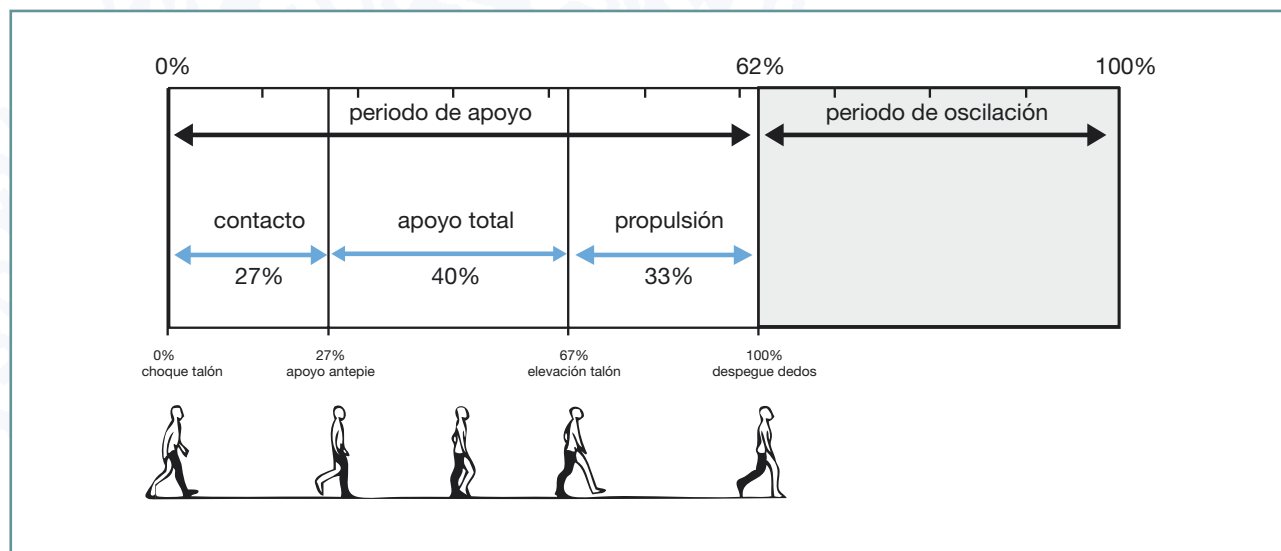


Figura 4. Ciclo de marcha (ver texto).

cuneo-metatarsiana. En aquellos casos en que existe una rigidez de la *coxa pedis* es cuando cobra importancia el movimiento dorsiflexor de la cuneo-metatarsiana, el cual debe compensar a la primera. Cuando esto no ocurra aparecerá una sesamoiditis medial por la sobrecarga mecánica.

Fase de apoyo total (segundo *rocker*)

Durante toda esta fase la pierna realiza un movimiento de rotación externa, y el retropié realiza un movimiento de inversión: el talón se coloca en varo, los ejes del Chopart pierden su paralelismo y la bóveda plantar se convierte en una estructura rígida que le permite soportar bien el peso del cuerpo, preparándose para la tercera fase de impulsión.

A nivel del antepié, todas las cabezas se mantienen firmemente apoyadas en el suelo durante esta fase. Al final de la misma la inversión del retropié tiende también a invertir el antepié, por lo que el primer radio realiza una flexión plantar para mantener la cabeza del primer metatarsiano en contacto con el suelo.

Fase de propulsión (tercer *rocker*)

En esta última fase del periodo de apoyo, la pierna continúa rotando externamente y el retropié alcanza el mayor grado de inversión y estabilidad.

A nivel del antepié, la carga se traslada medialmente de forma que, justo antes del despegue del talón, el

quinto metatarsiano está ya totalmente descargado. En el periodo central de esta fase, el *hallux* y las cabezas metatarsianas segunda y tercera soportan prácticamente toda la carga ayudadas por los dedos, que en esta fase sí soportan carga (no en las dos fases anteriores).

Durante la propulsión, dado que el retropié se encuentra supinando, el primer radio se ve obligado a incrementar su flexión plantar para mantener el contacto con el suelo a través del rodete gleno-sesamoido. Esta flexión plantar se produce, tal como explica Root⁽⁷⁾, gracias a la contracción del peroneo lateral largo que, al insertarse en la base del primer metatarsiano, produce el descenso de éste. Cuando existe un valgo del retropié, la fuerza que desciende el primer metatarsiano disminuye (Figura 5-A). Esto comporta una hipermovilidad dorsal de la primera cuneo-metatarsiana, la cabeza del primer metatarsiano se levanta y se producirá una metatarsalgia de transferencia en los metatarsianos centrales.

Para que esta última fase de propulsión se realice correctamente es también fundamental el movimiento del dedo gordo. La primera articulación metatarso-falángica tiene, como ya hemos indicado, un rango de movimiento de 30° de flexión plantar a los 90° de flexión dorsal con respecto al eje longitudinal de la diáfisis del primer metatarsiano. Como el ángulo de incidencia del primer metatarsiano con el suelo es aproximadamente de unos 20°; el rango de movimiento del primer dedo durante la marcha es de 50° de flexión plantar y de 70° de flexión dorsal con respecto al plano del suelo. Durante la fase de despegue se requiere este máximo de dorsiflexión de la metatarso-falángica.



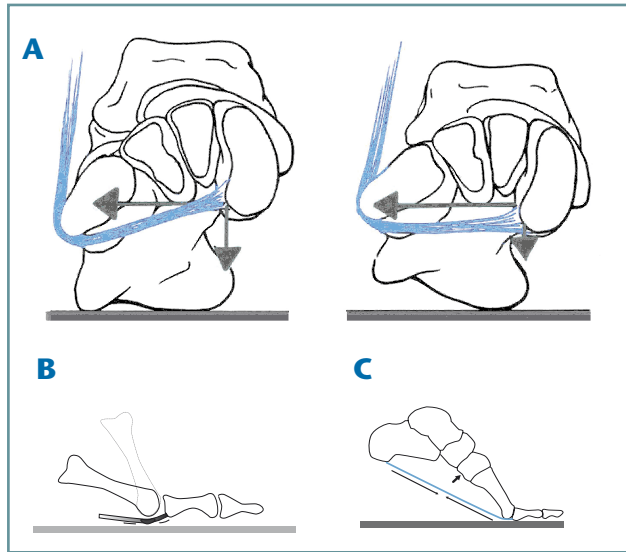


Figura 5. A: Acción del peroneo lateral largo. Cuando existe un valgo de talón la fuerza descendente del primer metatarsiano disminuye. B: En el momento del despegue, la cabeza del primer metatarsiano rueda encima del rodete. El *hallux* está totalmente apoyado en el suelo. C: Mecanismo *windlass*. La tensión de la fascia estabiliza la bóveda.

A medida que avanza la propulsión y el primer metatarsiano realiza la flexión plantar para mantener el contacto con el suelo, la cabeza del metatarsiano gira y se desplaza posteriormente sobre el rodete gleno-sesamoideo hasta que la parte distal de su superficie articular plantar se sitúa sobre los sesamoideos. Durante todo este movimiento el *hallux* se encuentra firmemente apoyado (Figura 5-B) gracias a la contracción del flexor largo y de la musculatura intrínseca (abductor, adductor y flexor corto) que, a través del rodete gleno-sesamoideo que actúa como una rótula, transfieren la fuerza a la base de la primera falange, que queda fijada sobre el suelo. La base de la primera falange se desliza tangencialmente por la cabeza del primer metatarsiano de tal manera que, al llegar al máximo de dorsiflexión, se articula con la parte más dorsal de la cabeza del metatarsiano y ayuda a descenderlo. En este momento, tal como indica Sanmarco⁽⁸⁾, aumentan las fuerzas de compresión articular. Esto se explica porque la superficie de contacto articular, tal como ha demostrado Ahn⁽⁹⁾, pasa de 0,38 cm² en posición neutra a 0,04 cm² en la máxima flexión dorsal.

Este movimiento dorsiflexor del dedo gordo contribuye también a la estabilización del pie, en esta fase propulsora de la marcha, a través de la fascia plantar, la cual queda tensada, acercando el retropié al antepié (mecanismo de torno o *windlass*) (Figura 5-C).

Cualquier mecanismo que interfiera con este mecanismo dorsiflexor del *hallux* provocará una *hallux limitis*

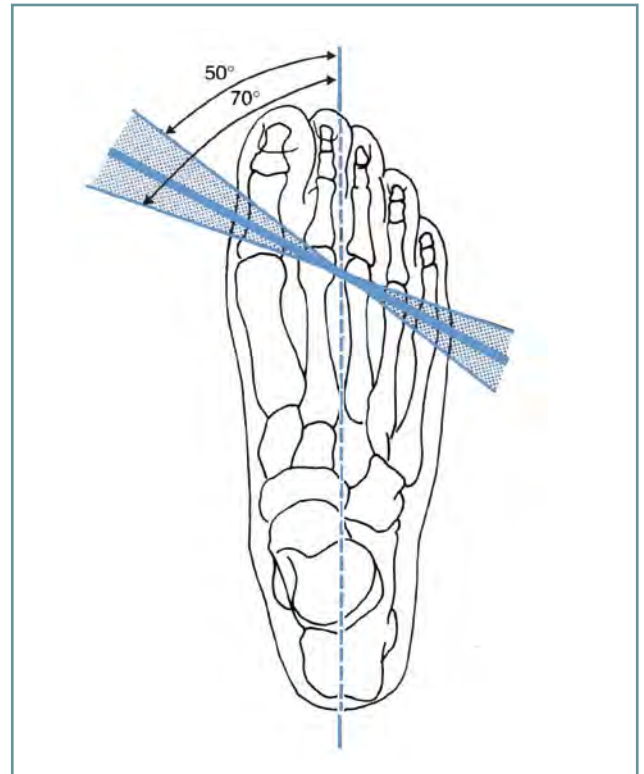


Figura 6. Corte metatarsiano.

o *hallux rigidus*, con la consiguiente subluxación de la articulación cuando se intenta la última fase del despegue de la marcha. Clínicamente, las causas más frecuentes son:

- El *metatarsus primus elevatus* congénito o adquirido.
- La anquilosis de la primera articulación cuneo-metatarsiana, habitualmente de etiología degenerativa, que impide la flexión plantar del primer metatarsiano.
- Una fórmula metatarsal *index plus*.
- La rigidez de la articulación metatarso-sesamoidea.

Cuando existe un *hallux valgus*, la primera falange se desplaza lateralmente y realiza un movimiento de pronación. Esta posición anormal de la falange disminuye la capacidad de descender la cabeza del primer metatarsiano en la fase final de despegue. Esta cabeza metatarsiana ascendida provocará, como ya hemos dicho, una metatarsalgia de transferencia a los metatarsianos laterales.

Para terminar este apartado de cinemática, debemos recordar también que, en esta fase propulsiva de la marcha, la situación de los ejes instantáneos de rotación de las cinco articulaciones metatarso-falángicas contribuye, junto al eje del tobillo, a la rotación externa del

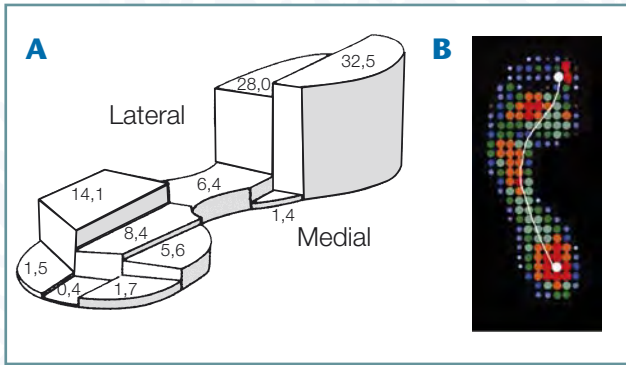


Figura 7. A: Distribución de cargas en la planta del pie en situación estática. Los números hacen referencia al porcentaje del peso del cuerpo. B: Desplazamiento de la carga durante la marcha.

pie. Esto es debido, tal como indica Mann⁽¹⁰⁾, a que el *corte metatarsiano* es un eje oblicuo de 50°-70° con respecto al eje longitudinal del pie que obliga a la rotación externa en el momento del despegue (Figura 6).

Cinética

El pie humano, tanto en bipedestación como durante la marcha, la carrera o el salto, está sometido a importantes solicitaciones mecánicas. Si medimos las fuerzas con una plataforma dinamométrica, podemos observar que las fuerzas de reacción vertical durante la marcha son aproximadamente del 120% del peso corporal, y durante la carrera alcanzan el 275% del peso.

Cavanaugh⁽¹¹⁾ ha estudiado la carga en la planta del pie en situación estática (Figura 7-A) y ha podido comprobar que ésta se distribuye de la siguiente manera: talón 60%, medio pie 8%, antepié 28% y dedos 4%, siendo las presiones máximas en el talón 2,6 veces mayores que en el antepié.

En dinámica, durante la marcha con el pie descalzo, el centro de presión máxima (Figura 7-B) se localiza inicialmente en el centro del talón y se acelera rápidamente a través del mediopié hasta alcanzar el antepié, donde disminuye la velocidad de tal forma que, durante la marcha normal, el tiempo durante el cual el antepié soporta el peso del cuerpo es tres veces superior al tiempo que lo soporta el calcáneo. Las presiones máximas en el antepié se alcanzan aproximadamente en el 80% del periodo de apoyo.

Podemos decir, por tanto, que, en dinámica, el pie se comporta como si fuese cavo y la carga va directamente del retropié al antepié, participando la parte media de la bóveda en una mínima parte en la transmisión de dicha carga.

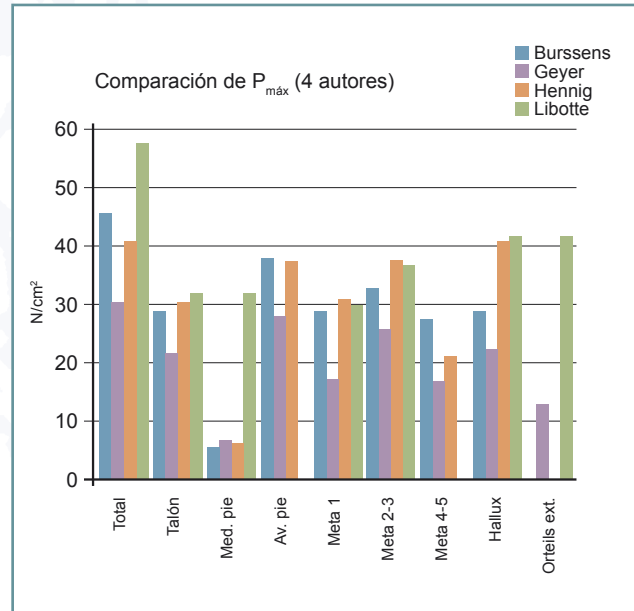


Figura 8. Presiones máximas en la planta del pie según diversos autores.

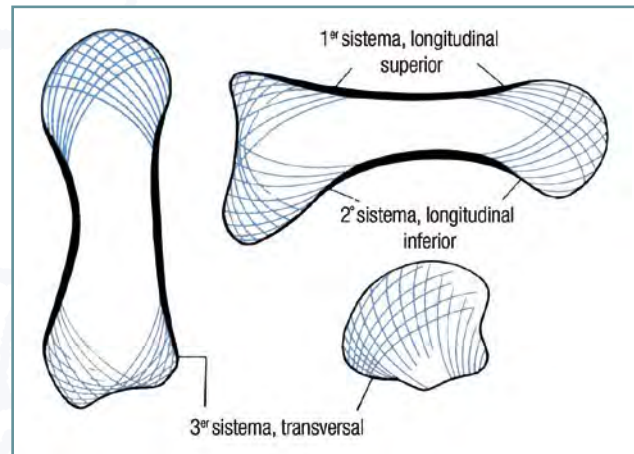


Figura 9. Sistemas trabeculares.

La *cadencia de apoyo del antepié* es la siguiente: primero apoyan los metatarsianos laterales, a continuación los centrales con los correspondientes dedos y, por último, apoya el dedo gordo (con poca participación de la cabeza del primer metatarsiano) que es el último que contacta con el suelo en el momento del despegue.

Libotte⁽¹²⁾ ha estudiado las presiones a nivel de la planta del pie durante la marcha, y a nivel del antepié ha comprobado que la presión máxima tiene lugar a nivel del *hallux*, y a continuación en las cabezas del segundo y tercer metatarsiano (Figura 8), siendo sus resultados concordantes con los de otros autores.

Para terminar este apartado de cinética, debemos recordar que las trabéculas óseas traducen plásticamente las líneas de fuerza que actúan sobre el hueso. Viladot⁽¹³⁾ y Roig Puerta han estudiado la trabeculación del primer metatarsiano y han encontrado los siguientes sistemas (Figura 9):

- a) **Primer sistema, longitudinal superior.** Este sistema es la continuación de las trabéculas de la mitad superior de la primera cuña. En la epífisis proximal las encontramos distribuidas uniformemente, pero, al llegar a la metáfisis, se dirigen hacia la cortical, tomando las medias una dirección hacia arriba y afuera. Al llegar a la diáfisis se encuentran reunidas en la cortical, no hallándose prácticamente ninguna en la medular. Al llegar a la metáfisis distal, las trabéculas se abren en abanico, dirigiéndose las medias hacia abajo, al apoyo sesamoideo, y las internas hacia adentro, entrecruzándose con las externas, que vienen a su encuentro.
- b) **Segundo sistema, longitudinal inferior.** Este sistema se enlaza con las trabéculas inferiores de la primera cuña y tiene una distribución parecida al primero. En la epífisis, la distribución trabecular es mucho más horizontal y el agrupamiento es algo más posterior que en el sistema precedente. Las trabéculas medias se dirigen hacia abajo, y las internas hacia afuera. Todas ellas se condensan en la diáfisis y, a la altura de la metáfisis distal, se abren en abanico para entrecruzarse con las procedentes del primer sistema, dando así una gran consistencia a la cabeza del metatarsiano.
- c) **Tercer sistema, transversal.** Finalmente, en la epífisis proximal encontramos unas trabéculas transversales que cruzan los sistemas anteriores, prácticamente formando un ángulo de 90°. En la carilla externa, en que la epífisis del primer metatarsiano se relaciona con la del segundo, es donde se aprecia la salida en abanico de un gran número de trabéculas.

Este sistema representa las líneas de tracción y de compresión de la porción proximal del metatarsiano: las primeras, procedentes de los ligamentos intermetatarsianos; y las segundas, por la presión que, procedente

del segundo metatarsiano, les puede llegar tanto por el apoyo lateral del pie como a causa de la descomposición de las fuerzas que, en el sentido de la gravedad, tienden a aplanar la bóveda. Dado que se articula sólo por el lado externo, estas trabéculas apenas existen en el extremo interno.

El conocimiento de las zonas de mayor resistencia del metatarsiano es fundamental, en práctica clínica diaria, para la realización de una osteosíntesis correcta.

Bibliografía

1. Maestro M, Besse JL, Ragusa M, Berthonnaud E. Forefoot morphotype study and planning method for forefoot osteotomy. *Foot Ankle Clin* 2003; 17 (2) : 14-29.
2. Paparella R. *Il piede dell' uomo*. Roma: Verduci Editore; 1977.
3. Maceira E. Aproximación al estudio del paciente con metatarsalgia. *Revista del Pie y Tobillo* 2003; 17 (2): 14-29.
4. Coughlin MJ, Jones CP, Viladot R, Golano P, Grebing Br, Kennedy MJ, Shurnas PS, Álvarez-Goenaga F. Hallux valgus and first ray mobility: a cadaveric study. *Foot and Ankle Int* 2004; 25 (8): 537-44.
5. Rosebaum de Britto S. The first metatarso-sesamoid joint. *Int Orthop* 1982; 6 (1): 6-13.
6. Morton D. *The human foot*. New York: Columbia University Press; 1948.
7. Root ML. *Clinical Biomechanics*. Vol II. Normal and abnormal function of the foot. Los Angeles: Clinical Biomechanics Corporation; 1977.
8. Sanmarco GJ. Biomechanics of the foot. En: Frankel VH, Nordin M (eds.). *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. 2nd ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1980. pp. 193-219.
9. Ahn TK, Kitaoka HB, Luo ZP, et al. Kinematics and contact characteristics of the first metatarsophalangeal Joint. *Foot Ankle Int* 1997; 18: 170.
10. Mann RA. *Surgery of the foot*. 5ª edición. St. Louis (Missouri): C.V. Mosby Company; 1986.
11. Cavanagh PR, Rodgers MM, Iiboshi A. Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. *Foot Ankle* 1987; 7: 262.
12. Libotte M. Citado por Viladot A. *Patología del antepié*. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 2001.
13. Viladot A. *Patología del antepié*. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 2001.