

Introducción a la biomecánica del pie (II)

M. RUEDA

Podólogo.

**Centro de Estudios del Pie
Profesor de la Univ. Internacional de
Catalunya. Escola Gimbernat**

CORRESPONDENCIA:

Martín Rueda

Avda. Generalitat, 5, 4ª Planta

08922 – Sta. Coloma de Gramenet

e-mail: martinrueda@martinrueda.com

Número correspondiente al segundo de una serie de artículos monográficos dedicados a la anatomía y funcionalidad del pie.

Contamos con la colaboración de un prestigioso especialista en esta materia, el Sr. Martín Rueda, autor de una extensa obra referida al pie, y reputado profesional en este campo.

Esta serie de artículos abarca cinco números de la revista y constituirá en conjunto un pequeño tratado de anatomía funcional y biomecánica del pie.

BIOMECANICA DEL COMPLEJO ARTICULAR DEL PIE

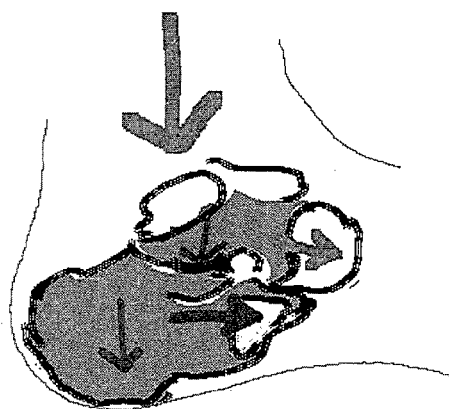
Es evidente que las articulaciones del pie forman un conjunto funcional indisoluble. El complejo articular posterior tiene la misión de amortiguar el primer impacto sobre el suelo, a la vez que orientar en conjunto la bóveda plantar.

Durante el desarrollo de cada apoyo, el centro de presión se transmite de un hueso a otro de manera secuencial, primero en sentido vertical (retropié), después lateral (mediopie), para dispersarse de forma radial a través de cada una de las palancas que integran cada arco o radio metatarso digital.

Esto determina la forma de cada hueso y de cada articulación, que se ha desarrollado en base no solo a unos códigos genéticos, sino a unos mecanismos externos como pueden ser la tracción muscular o la compresión mecánica.

No podemos entonces dar más importancia a una u otra pieza ósea: cada una realiza su trabajo en un tiempo dentro del ciclo, que además resulta insustituible, pero pienso que el astrágalo bajo un punto de vista mecánico tiene un protagonismo especial, al ser el punto de unión entre pie y pierna, por lo que su función como "dispersante" de cargas es innegable.

El astrágalo y el calcáneo, distribuyen la carga hacia el antepié

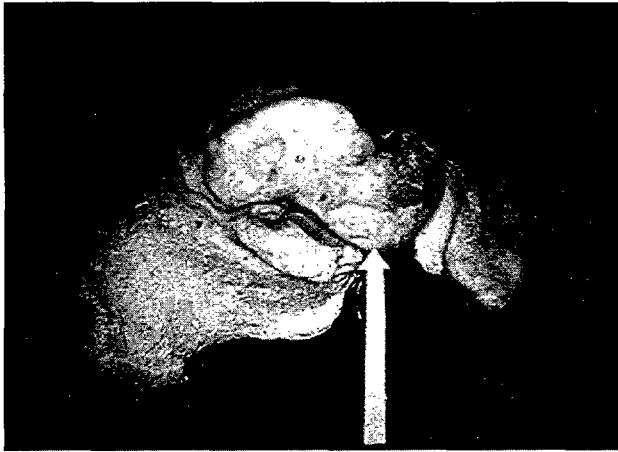


El desarrollo del paso está integrado por una secuencia económica de apoyos



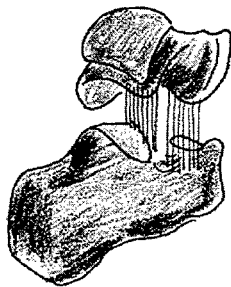
No tiene acciones musculares directas, y plantarmente, su parte más frágil, el cuello, está perfectamente amortiguado, incluyendo para ello la parte cóncava de la articulación astrágalo-calcáneo-escafoidea un mecanismo elástico que actúa de soporte: el ligamento calcáneo-escafoideo plantar.

La cabeza del astrágalo está soportada plantarmente por el lig. calcáneo-escafoideo-plantar



Posiblemente, una de las articulaciones biomecánicamente de mayor importancia sea la sub-astragalina, cuyo comportamiento está condicionado por las dos artrodias que se encuentran delante del seno del tarso, permitiendo de esta manera deslizamientos de un hueso sobre otro con un comportamiento mecánico artrodial, gozando a la vez de la holgura suficiente para permitir la adaptación a peraltes con inclinaciones laterales.

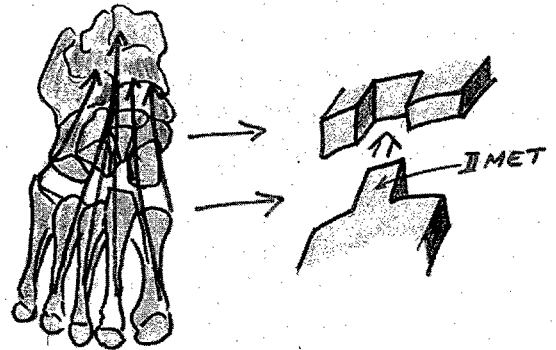
Articulación subastragalina



Sus movimientos son transmitidos al par escafoides-cuboides a través de la articulación de Chopart, que actúa a modo de charnela. El cambio de orientación del escafoide sobre la cabeza astragalina, ovalada y con un eje oblicuo de abajo a arriba y de fuera a adentro, tiene una incidencia a

través de los tres cuneiformes sobre los tres primeros metatarsianos, y consiguientemente, sobre los cambios en la morfología de la bóveda y la orientación de la parte anterior del pie, a lo que contribuyen las articulaciones intercuneales al permitir tan solo discretos desplazamientos entre sí.

Corte a través de Lisfranc: el segundo metatarsiano juega el papel de "llave"



Anteriormente, la articulación de Lisfranc forma un perímetro irregular, al estar el segundo cuneiforme atrasado respecto al primero y tercero, constituyendo así una mortaja que le sirve de anclaje al segundo metatarsiano, circunstancia por la que resulta el más fijo de los cinco.

Esta disposición plural y compleja posibilita los movimientos helicoidales de supinación y pronación del antepié y varo-valgo del retropié.

Podríamos decir que la articulación de Lisfranc es la que direcciona y orienta al antepié en el momento de apoyo sobre el suelo, por lo que sus desequilibrios o limitaciones funcionales exigirán mecanismos compensatorios a otro nivel, que siempre serán en forma de torsión. Por ello en las mediotarsianas supinadas, la pierna debe efectuar un rodamiento o torsión interna mayor para que el primer radio pueda llegar al suelo, mientras que en las pronadas, ocurrirá justo lo contrario, es decir, debe reducir su tiempo de torsión. Estos mecanismos también modificarán los tiempos de trabajo de cada metatarsiano, siendo los responsables de la mayoría de patologías asociadas metatarso-pie-pierna.

Esta circunstancia, como hemos visto, está protagonizada por el "enclavamiento" de la base del segundo metatarsiano.

Podemos apreciar, que se ha buscado ante todo un sistema de trabajo altamente económico, y a la vez rentable, solicitando al principio todos los elementos y desestimándolos

en la medida que no son necesarios, con lo que se les alterna el tiempo de trabajo con otro de descanso o "reposición".

APROXIMACION AL ESTUDIO CINETICO DE UN APOYO

Cuando caminamos, desplazamos un peso cuyo centro de gravedad lo situaríamos en las las articulaciones lumbo-sacras.

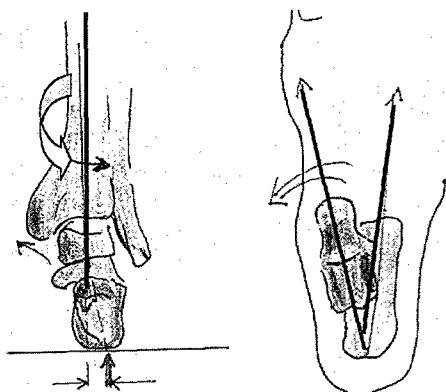
En situación estática, el sumatorio de los momentos tiende a ser igual a cero.

Cuando desplazamos el centro de gravedad hacia adelante se genera un par de fuerzas y se produce un desequilibrio anterior que requiere un movimiento alternativo de las piernas.

Cuanto mayor es el par, mayor el desequilibrio y más rápidos los apoyos, con el objeto de mantener una trayectoria en equilibrio con el centro de gravedad lo más plano posible, de manera que describe una línea discretamente sinusoidal.

El momento ascendente de la sinusoide corresponde al apoyo unipodal, por lo que se requiere una estructura estable y amortiguada y se recurre a la bóveda. El inicio posterior de la bóveda está formado por huesos grandes superpuestos verticalmente (astrágalo y calcáneo), formando junto con los huesos de la pierna, una columna. Si estuviesen totalmente alineados en un eje, resultarían comprimidos entre el cuerpo y el suelo, por ello presentan una doble desalineación posterior y transversal, es decir, cuando el calcáneo llega al suelo, es desequilibrado por la presencia de dos pares de fuerzas, que generan dos momentos: uno anterior y otro latero medial. A partir de aquí, el resto del ciclo se compone de una serie de desequilibrios secuenciales que se trasladan de un hueso a otro siguiendo unas cadenas lógicas, con un efecto de fichas de dominó, es decir, el desplazamiento de cada uno de ellos es aprovechado para generar desplazamiento en el siguiente, por lo que cada vez la fuerza se va dispersando y los huesos, se van haciendo más pequeños.

La doble desalineación vertical imprime a partir del primer contacto pie-suelo un factor pronador que asegura la estabilidad del pie y direcciona o reconduce la carga



El calcaneo, en su caída anterior se encuentra con el cuboides, y éste con los metatarsianos quinto y cuarto, hasta que éstos se depositan en el suelo. En este momento se requiere una estructura firme y discretamente elástica, es decir, un arco de carga.

Como la proyección del eje de carga es más interna que el punto de apoyo, esta caída anterior también produce un desequilibrio medial, que hace que el cuboides "empuje" a la tercera cuña. El desequilibrio anterior va siendo amortiguado por los apoyos de los metatarsianos, de fuera hacia adentro. Podemos decir que se ha generado una secuencia interna del movimiento. En ese mismo instante, el desequilibrio anterior y medial del astrágalo, está empujando al escafoides, y a través de éste a las cuñas. Ello es posible porque que la superficie escafoidea presente una concavidad posterior, y las cuñas tienen articulaciones artrodiales en todas sus caras: compresión o cúspide de bóveda. Esta presión es absorbida porque se produce un cambio constante en su punto de aplicación de la presión para lo cual las cuñas tercera y segunda presentan un vértice inferior, mientras que la primera se opone, ofreciendo mayor resistencia, y presentando por tanto la base en situación plantar.

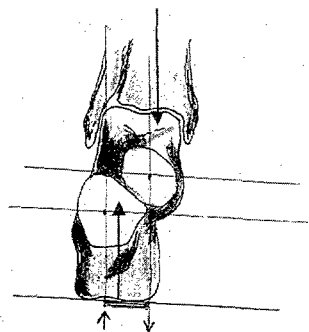
Podríamos decir que la fuerza que se proyectaría desde el astrágalo al escafoides, gracias al plano de movimiento de esta articulación, se fragmenta y dispersa en abanico hacia los cuneiformes, mientras que la caída en sentido plantar de la cabeza astragalina resulta suavizada por el ligamento calcáneo-escafoideo plantar.

En este momento el antepié ha sido recorrido de fuera hacia adentro por un vector de barrido con una velocidad determinada que depende del grado de divergencia astragalocalcanea y de la orientación del antepié: a mayor supinación o dispersión, mayor velocidad y por tanto mayor momento de pronación y consiguientemente mas esfuerzo deberá soportar el arco interno, mientras que a menor grado, menor par, menor pronación, y más carga externa, es decir, menos amortiguación. El punto óptimo de divergencia debiera ser cuando en un plano frontal, las distancias de los centros de la cabeza del astrágalo y de la articulación calcáneo cuboidea sean iguales.

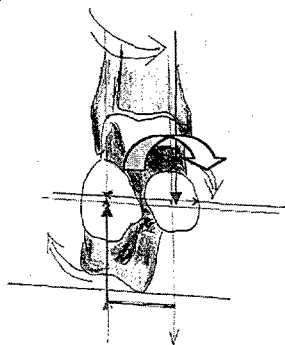
Nos encontramos constantemente con dos fuerzas: una anterior que nos desplaza hacia adelante, y otra otra medial que nos cambia el apoyo anterior secuencialmente hacia adentro.

La anterior es contenida o suavizada por la garra de los dedos, y la medial por la elasticidad del arco interno, por la fuerza y musculatura del primer radio, por las estructuras tendinosas retromaleolares internas y por el tibial anterior.

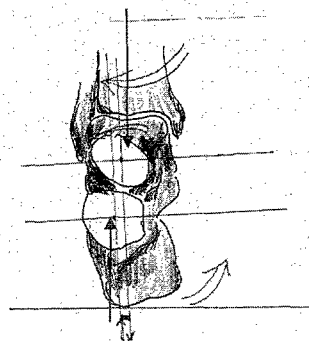
La igualdad de distancias entre el centro de las articulaciones calcaneo cuboideas y astragalo-escafoideas constituye el "par fisiológico"



Cuando aumenta la distancia el sentido medial, aumenta el par por lo que el pie se inestabiliza rápidamente con el consiguiente movimiento hacia la pronación, la sobrecarga del arco interno y el mecanismo torsional interno sobre la extremidad



La disminución del par comporta menos pronación, menos equilibrio, mas sobrecarga de peroneos, y consecuentemente un varismo y efecto torsional externo sobre la extremidad



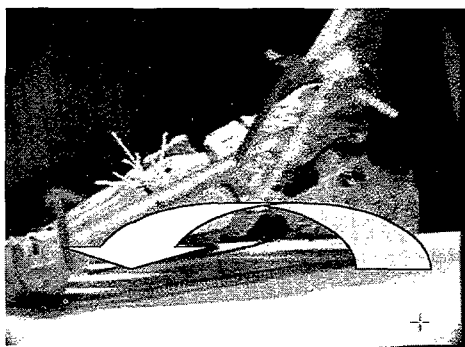
La resultante se situaría en el segundo metatarsiano, que por ello resulta el más estable de los cinco.

Por tanto la caída del pie sobre el suelo ha sido un desequilibrio organizado.

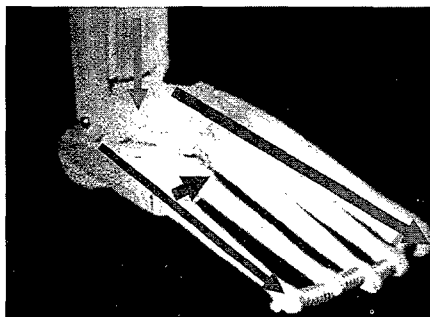
Cuando el centro de gravedad del cuerpo se encuentra encima del pie, todas las estructuras musculares están en tensión, que será dispersada también en un riguroso orden, como veremos en el capítulo correspondiente al estudio de las poleas o correderas tendinosas del pie.

Esto requiere que exista una estructura aérea en el pie, capaz de amortiguar de forma progresiva, y por lo que los arcos plantares pierden altura y resistencia de fuera hacia adentro, situándose su cota mas elevada y móvil en el arco interno, a la vez que unos dedos con capacidad creciente de garra, cuya mayor fuerza es realizada por el primero.

La amplia movilidad del arco interno forma una bóveda elástica suspendida que soporta cargas a base de deformarse



La fuerza de acción o peso es constantemente direccionada y fragmentada, de arriba a abajo, de detrás hacia adelante y de fuera hacia adentro.



La deformidad que la carga produce sobre el pie, lo que conocemos como pronación fisiológica, estimula a los receptores de presión y acumula en los arcos plantares una energía proporcional a su grado de deformación, que será aprovechada para convertirla en la fuerza necesaria para cuando en pie tenga que empujar hacia arriba al centro de gravedad, es decir, para el momento de impulso.

Cuanto mayor ha sido la carga exigida, mayor la energía acumulada, generándose una curva o "par" que tiene una fase de elasticidad durante la cual el pie soporta el peso perfectamente y que asciende hasta un "momento" óptimo. A partir de éste, entrariamos una fase plástica en la que la estructura no soporta más carga, por lo que en la marcha hay un punto económico de rendimiento o momento de inercia, por debajo y por encima del cual, el aprovechamiento ener-

gético no es el adecuado, es decir, la energía producida y la consumida no se corresponden: cansa el caminar demasiado despacio porque se genera menos energía que la requerida, pero también ir demasiado rápido porque gastamos más que la producida.