

# Cinética de la articulación del tobillo en apoyo unipodal

**Juan Luis Florenciano Restoy**

Diplomado en Podología por la Universidad de Barcelona.  
Colegiado en el Colegio Oficial de Podólogos de Cataluña nº 304  
Podólogo del Centro de Podología de J.L. Florenciano

Correspondencia:  
Juan Luis Florenciano Restoy  
E-mail: florenrestoy@hotmail.com.

## Resumen

El autor propone, en relación a un trabajo publicado con anterioridad sobre el movimiento lineal, marcha, carrera, salto hacia delante, etc. analizar el movimiento cinético de la articulación tibiotarsiana, centrándolo en el desplazamiento de la tibia sobre el astrágalo en apoyo unipodal. Teniendo en cuenta que la articulación del tobillo debe responder de forma automática a dos cuestiones físicas, acumular energía mediante la flexión dorsal y rotación interna de la tibia, para disiparla después en la extensión plantar y rotación externa de la tibia.

Explica el porque de la forma y función de cada estructura ósea implicada, tróclea astragalina y pilón tibial, y su relación con el movimiento descrito. Da una importancia capital al movimiento axial de la tibia y del peroné.

Propone un modelo mecánico diferente a los utilizados hasta el momento.

Concluye el trabajo con la disposición particular de los ligamentos de la articulación tibiotarsiana dispuestos de tal manera que tienen una misión activa en el desplazamiento del astrágalo sobre el calcáneo.

**Palabras clave:** Movimiento lineal. Cinética de la tibiotarsiana. Apoyo unipodal.

## Introducción

En un reciente artículo publicado en la Revista Española de Podología titulado "Bases biomecánicas del movimiento lineal humano", hacía referencia a principios mecánicos básicos, para explicar dos cuestiones importantes.

## Summary

The author proposes, in relation to a previous published article about the lineal movement, walking, running, jumping forward, etc. to analyze the kinetic movement of the tibiotarsial joint, focusing in the movement of the tibia on the astragalus in unipodal support. The ankle joint is considered to play two different physical roles, gathering energy with the dorsal flexion and dissipating it when plantar extension.

It explains the shape and function of the implicated bones, trochlea of the astragalus and tibial pilon, and their relation with the movement already described.

Prime importance is given to the axial movement of the tibia and fibula.

A new mechanical model, differing from the ones that are being used, is proposed.

It concludes that the specific ligament distribution of the tibiotarsial joint has an active role in the movement of the astragalus on the calcaneus.

**Key words:** Lineal movement. Kinetic the tibiotarsial. Unipodal support.

La primera, es que el centro de gravedad del organismo (*CGO*) se encuentra en el 55% de la estatura del sujeto a partir del suelo.

La segunda, el gran desequilibrio al que estamos sometidos, teniendo en cuenta que el 66,5% del peso total del organismo se reparte entre cabeza, tronco y extremidades superiores y el 33,5% para extremidades inferiores (*EEII*).

Proponía en aquel artículo que un *CGO* tan elevado y un desequilibrio tan evidente no podía ser casual. Afirmaba que un *CGO* tan elevado permite acumular energía potencial que se convertirá en energía cinética al desequilibrarnos anteriormente, el adelantar una extremidad evitamos la caída. Para frenar la caída, la acción amortiguadora de los músculos de *EEII*, se contraen unos de forma isotónica concéntrica, otros de forma isotónica excéntrica, otros incluso de forma isométrica como algunos intrínsecos del pie, acumulando energía potencial, los autores franceses la llaman viscoelástica, que se transforma a su vez en energía cinética en la extensión de la extremidad. Los movimientos cinéticos de las *EEII* responderán por lo tanto flexionando y rotando internamente la extremidad inferior, cumpliendo dos funciones, frenar la acción de la gravedad y acumular energía, para disiparla después extendiendo y rotando externamente los ejes mecánicos de la extremidad inferior.

El organismo humano en el proceso evolutivo ha transformado su estructura músculo-esquelética para mantener la trayectoria del *CGO* durante el movimiento lineal en unos parámetros muy reducidos, con la finalidad de minimizar el gasto energético. Si atendemos a la forma y disposición de las articulaciones del miembro inferior de sus cápsulas, ligamentos y acciones musculares deduciremos que van más allá de la mera casualidad, ninguna de ellas se mueve en uno o dos planos, todas lo hacen en los tres planos del espacio, la trayectoria sinusoide del *CGO* exige que así sea, cuanto más armónica y simétrica sea la trayectoria de la sinusoide del *CGO* la economía energética se hace evidente.

*Sin duda la función estática es importante, no obstante el ser humano, está como quien dice, diseñado para el movimiento.*

## Cadenas óseas

El concepto de cadena ósea lo aporta *Dempster (1955)* haciendo enlazar los diferentes eslabones mediante rectas que traza sobre los segmentos óseos que denomina (ejes mecánicos). La representación del cuerpo humano mediante una sucesión de ejes mecánicos y de cadenas óseas nos permite comprender, tanto el alcance del movimiento lineal, como las disfunciones que se generan.

En efecto si analizamos los movimientos de las *EEII* durante el movimiento lineal y esquematizamos los diferentes eslabones de la cadena cinética, (eje mecánico del fémur, eje mecánico de la tibia, eje de flexo-extensión de la tibiotarsiana, eje de Henke,

eje de pronosupinación del antepié y eje de flexo-extensión de los metatarsianos), observaremos que aún teniendo características de movimientos propios, son imprescindibles sus asociaciones en el movimiento lineal.

La finalidad mecánica no es otra que la de proporcionar desde las articulaciones implicadas unas flexiones y extensiones y rotaciones axiales coordinadas, para desplazar el *CGO* dentro de una trayectoria lo más económica, confortable y eficaz.

## Articulación tibiotarsiana

Las soluciones mecánicas que el organismo ha conformado durante el proceso evolutivo son verdaderamente ingeniosas.

La articulación tibiotarsiana es ideal para introducirnos en una complejidad mecánica enormemente interesante.

El eje de la tibia es paralelo al de los cóndilos femorales, sin embargo la retroposición del maléolo externo torna al eje de la tibiotarsiana oblicua hacia fuera y hacia atrás, lo que en la práctica es una torsión bimaleolar externa, entre  $18^\circ$  a  $20^\circ$ .

El análisis está efectuado en cadena cinética cerrada, teniendo en cuenta que en este momento cinético debemos dividirlo en dos fases. La primera fase de amortiguación es la tibia la que se desplaza sobre el astrágalo, de atrás a delante en flexión dorsal, con el pie fijo en el suelo.

La segunda es la extensión de la articulación tibiotarsiana en la que se mueven tanto el pie como la tibia con la elevación del talón en la fase de impulso (Figura 1).

*Los movimientos de la tibia sobre el astrágalo obedecen a conceptos mecánicos similares a los de la rodilla. La disposición particular de la pinza maleolar y la tróclea astragalina provocan rotaciones axiales automáticas durante las flexiones y extensiones de la tibiotarsiana (Figura 2).*



*Figura 1. Perpendicular del *CGO*, en trazo azul, determina la acción de los ejes mecánicos y las acciones musculares*

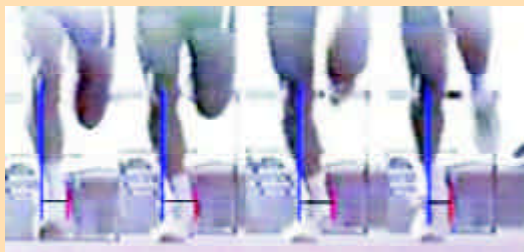


Figura 2. Plano frontal y movimiento de la tibiotalariana en los tres planos del espacio



Figura 3. Desde una vista superior la tróclea, en el plano transversal, es más ancha

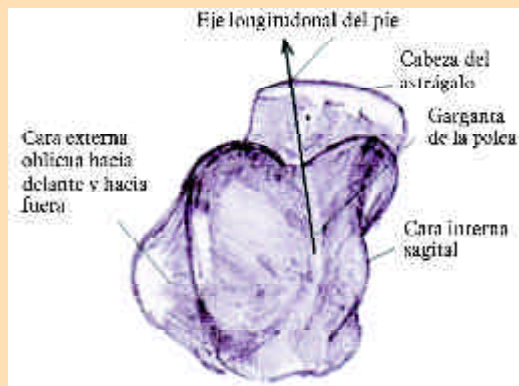


Figura 4. La superficie superior o polea es convexa de delante atrás y marcada longitudinalmente por una depresión axial o garganta de la polea, curiosamente orientada hacia el eje longitudinal del pie

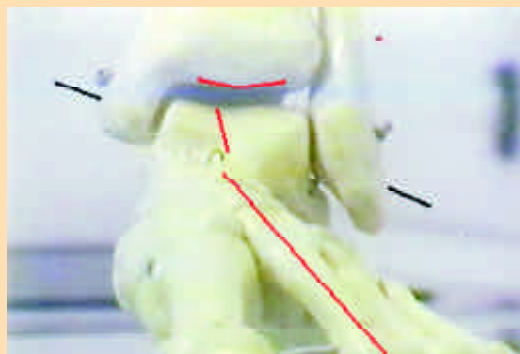


Figura 5. Esta superficie de la polea corresponde a una superficie inversamente conformada en la superficie inferior del pilón tibial, cóncava de delante atrás presenta una cresta roma sagital que se introduce en la garganta de la tróclea

Desde una perspectiva mecánico-funcional, la articulación tibiotalariana se debe considerar una articulación en bisagra, sus movimientos deberían ser de flexo-extensión en el plano sagital, sin embargo en la práctica esto no es así, el tobillo en realidad se mueve en los tres planos del espacio, sin duda para armonizar la trayectoria curva del CGO durante el movimiento lineal, la adaptación evolutiva ha configurado la siguiente respuesta biomecánica.

Efectivamente, desde una vista superior la tróclea, en el plano transversal, es más ancha por delante que por detrás, 2,5 mm. de promedio, llegando incluso hasta los 5 mm (Figura 3).

Al observar con detalle la polea astragalina en el plano frontal detectamos tres superficies articula-

res una superior y dos laterales. En el plano transversal la carilla interna es sagital, mientras la externa, es oblicua hacia delante y hacia fuera.

La superficie superior o polea es convexa de delante atrás y marcada longitudinalmente por una depresión axial o garganta de la polea, curiosamente orientada hacia el eje longitudinal del pie (Figura 4).

Esta superficie de la polea corresponde a una superficie inversamente conformada en la superficie inferior del pilón tibial, cóncava de delante atrás presenta una cresta roma sagital que se introduce en la garganta de la tróclea (Figura 5).

A ambos lados una corredera interna y externa reciben la correspondiente vertiente de la polea. La carilla interna contacta con la superficie articular de

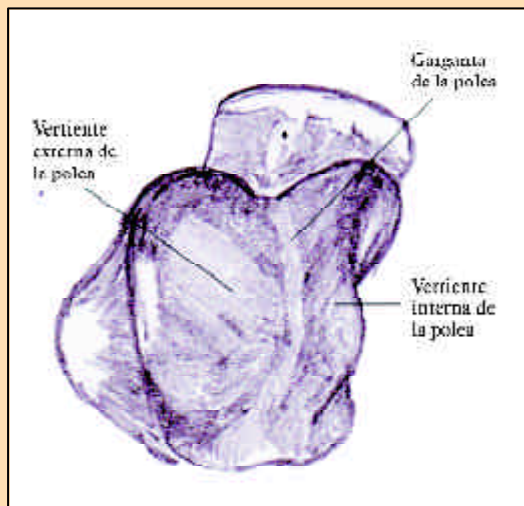


Figura 6. La vertiente externa de la tróclea astragalina dispone de más superficie articular por donde debe desplazarse la superficie inferior externa del pilón tibial

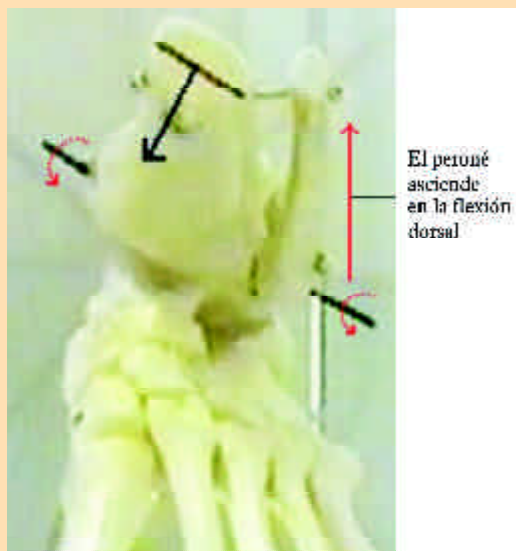


Figura 7. El peroné es capaz de abrirse girando internamente y elevarse en la flexión dorsal, tensando el ligamento peroneo tibial anterior

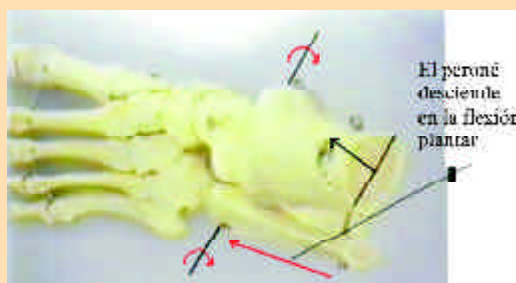


Figura 8. El peroné es capaz de cerrarse girando externamente y descender destensando el ligamento peroneo tibial anterior en la flexión plantar

la cara externa del maléolo interno de la tibia. La carilla externa de la tróclea contacta con la carilla interna del maléolo peroneo.

Efectivamente al no estar la garganta de la polea orientada en el plano sagital si no más bien ligeramente abierta hacia el eje longitudinal del pie, deja menos superficie para la vertiente interna de la tróclea por donde debe desplazarse la superficie inferior interna del pilón tibial, la menor superficie se traduce en un menor recorrido de la superficie inferior interna del pilón tibial, por el contrario la vertiente externa de la tróclea astragalina dispone de mas superficie articular por donde debe desplazarse la superficie inferior externa del pilón tibial (Figura 6).

Por otro lado, la carilla externa de la tróclea contacta con la carilla articular interna del maléolo

peroneo, esta carilla está separada de la superficie tibial por la interlinea peroneo-tibial inferior, ocupando una franja sinovial en contacto con la arista biselada por delante y por detrás, dotando así al peroné de mas recorrido sobre la superficie externa de la superficie lateral del astrágalo. El peroné se diferencia de la tibia por su facultad para adaptarse a esta falta de congruencia, siendo capaz de abrirse girando internamente y elevarse en la flexión dorsal, tensando el ligamento peroneo tibial anterior (Figura 7).

O por el contrario cerrarse girando externamente y descender destensando el ligamento peroneo tibial anterior en la flexión plantar (Figura 8).

Los movimientos de flexión y extensión se deben hacer sobre estas superficies articulares no muy

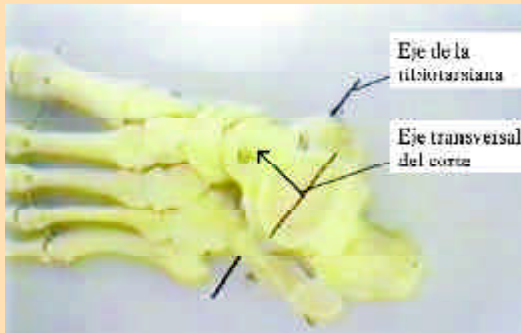


Figura 9.



Figura 11. Partiendo desde los 90°, al efectuar una extensión plantar el mismo eje transversal de la tibia gira externamente 15°



Figura 10. De forma automática durante la flexión de la tibia sobre el astrágalo el eje del corte transversal de la tibia gira internamente del orden de 15°

congruentes. La articulación tibioperoneo-astragalina se implica en el movimiento lineal del cuerpo humano del siguiente modo. Teniendo en cuenta que durante la marcha, la carrera o el salto hacia delante en cadena cinética cerrada, es la tibia la que avanza sobre el astrágalo en flexión dorsal, con la complicidad imprescindible de la flexión de rodilla Figura 1, si consideramos la tibia a 90° con el pie en fase de apoyo unipodal sobre el plano horizontal, y hacemos un hipotético corte transversal de la tibia haciendo coincidir el eje de la tibiotalariana con el eje transversal del corte (Figura 9).

Podemos apreciar que de forma automática durante la flexión de la tibia sobre el astrágalo el eje del corte transversal de la tibia gira internamente del orden de 15° (Figura 10) y, al contrario, partiendo desde los 90° como en el caso anterior, al efectuar una extensión plantar este mismo eje transversal de la tibia gira externamente 15° (Figura 11).

La separación de la articulación peroneo-tibial inferior pasa de unos márgenes mínimos en la flexión plantar a unos márgenes máximos en la flexión dor-

sal, esta separación forzada es obligada dada la mayor anchura de la superficie anterior de la tróclea astragalina.

Durante una velocidad de desplazamiento lineal de aproximadamente 4 Km. /h. no se necesitan más de 9° de movilidad en rotación axial 4,5° para cada momento rotacional.

Sin embargo en circunstancias más extremas, como puede ser la actividad deportiva, la velocidad angular aumenta, y consecuentemente los grados de rotación axial se incrementan hasta los límites fisiológicos de la articulación. Recurriendo a un modelo mecánico y desde el plano frontal la tróclea astragalina la podríamos dibujar como dos segmentos cónicos unidos por la zona de menor radio, siendo mayor el externo. Por consiguiente la unión de los dos segmentos cónicos representaría la garganta de la polea, del mismo modo la superficie inferior del pilón tibial se desliza por estos segmentos cónicos, esto unido a la retroposición del maléolo externo explica el porque el maléolo interno tiene menos grados de recorrido que el externo y también porque la tibia

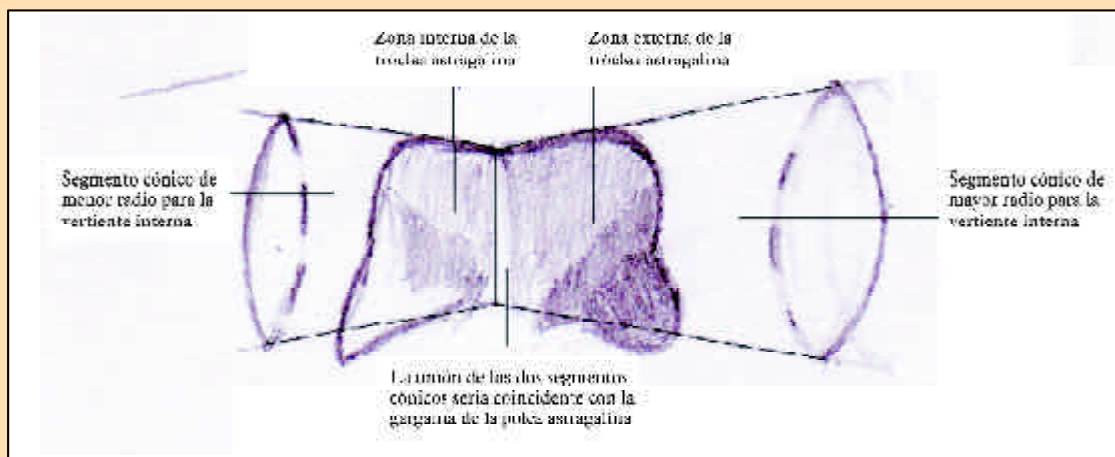


Figura 12. La tibia gira internamente en la flexión y externamente en la extensión sobre la tróclea astragalina

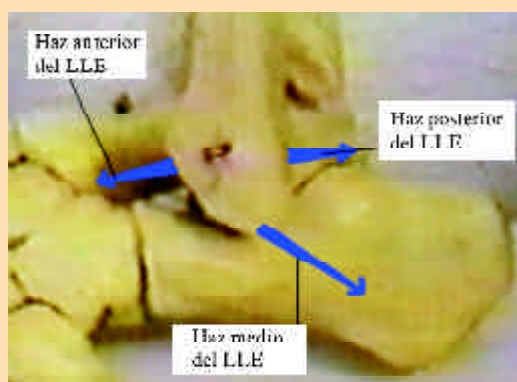


Figura 13. El haz anterior, posterior y medio del LLE



Figura 14. El haz posterior, anterior y medio del LLI

gira internamente en la flexión y externamente en la extensión sobre la tróclea astragalina (Figura 12).

### Ligamentos de la tibiotarsiana

Durante el movimiento descrito con anterioridad, los ligamentos de la tibiotarsiana tienen una función importante, se componen de dos sistemas ligamentosos, dos principales y dos accesorios.

Los principales son los laterales externo (*LLE*) e interno (*LLI*) y los accesorios los ligamentos anterior y posterior. Tanto el ligamento lateral interno como el externo están formados por tres haces anterior, medio y posterior. Anatómicamente se describen como potentes abanicos fibrosos cuyo vértice parte del maléolo correspondiente. El *LLE* del maléolo peroneo y el *LLI* del maléolo tibial.

Tanto el haz anterior del *LLE* como del *LLI* tienen un trayecto oblicuo. El externo para insertarse en el

astrágalo, entre la carilla externa y la apertura del seno del tarso, el interno se inserta en la rama interna del yugo astragalino.

De igual modo el haz posterior del *LLE* se dirige horizontalmente hacia dentro y ligeramente hacia atrás para insertarse en el tubérculo posteroexterno del astrágalo (Figura 13). El haz posterior del *LLI* es oblicuo hacia abajo y atrás y se inserta en una fosita profunda localizada por debajo de la carilla interna, sus fibras más posteriores se fijan en el tubérculo posterointerno del astrágalo (Figura 14).

El haz medio del *LLE* se origina en el vértice del maléolo peroneo y se dirige hacia abajo y atrás para insertarse en la cara externa del calcáneo (Figura 13). El haz medio del *LLI* en realidad ocupa un plano más superficial que los haces anterior y posterior. Es un potente ligamento en forma triangular que desde su origen tibial se expande desde escafoides al borde interno del ligamento glenoideo y la apófisis menor del calcáneo (Figura 14).

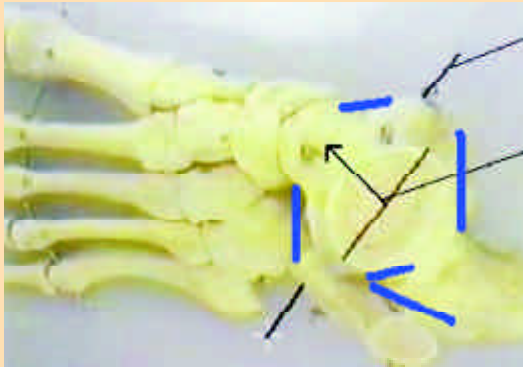


Figura 15. Situación esquemática desde el plano transverso de los ligamentos laterales de la tibiotalariana, marcados con trazos de color azul

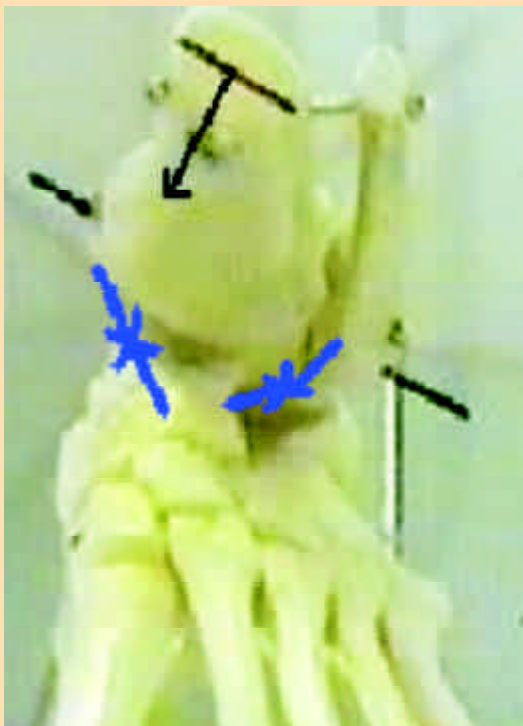


Figura 16. Los haces anteriores de los LLI y LLE, de la tibiotalariana pierden tensión en la flexión dorsal

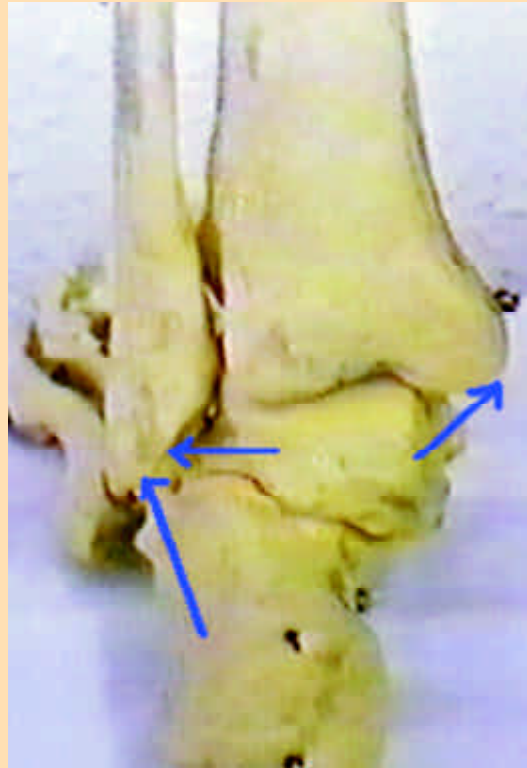


Figura 17. El haz medio del LLE junto con el peroné contribuye en la estabilización del valgo del calcáneo

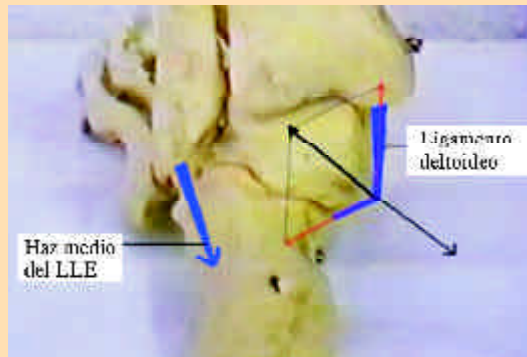


Figura 18.

Situación esquemática desde el plano transverso de los ligamentos laterales de la tibiotalariana, marcados con trazos de color azul (Figura 15). Los haces anteriores de los LLI y LLE, de la tibiotalariana pierden tensión en la flexión dorsal (Figura 16).

Es necesario mencionar que el astrágalo no tiene ninguna inserción muscular, son los haces posteriores de los LLI y LLE, de la tibiotalariana los que dirigen el astrágalo hacia delante, el haz medio del LLE junto con el peroné contribuye en la estabilización del valgo del calcáneo (Figura 17).

Es curioso y debemos tener en cuenta que los haces anteriores y posteriores de ambos ligamentos, tienen su inserción en el astrágalo y además su trayectoria es oblicua, sin duda para facilitar los movimientos y dirección del astrágalo durante este movimiento de apoyo unipodal en particular (Figura 15). Mientras que el haz medio de ambos ligamentos se inserta en el calcáneo, su funciones son otras puesto que se hace necesario contraponer fuerzas gravitatorias (Figura 18). Son componentes esenciales en el sistema de amortiguación del tarso.

Los ligamentos anterior y posterior de la tibiotalariana se caracterizan porque unen en el caso del ligamento anterior la superficie tibial y la rama de la bifurcación posterior del yugo astragalino. El posterior tiene fibras de origen tanto tibial como peroneo que convergen hacia el tubérculo postero-interno del astrágalo, favoreciendo en la flexión dorsal la dirección anterior e interna del astrágalo sobre el calcáneo.

## Discusión

El movimiento lineal del ser humano es el más económico desde el punto de vista energético. El *CGO* describe una trayectoria sinusoidal y tridimensional que sobre una superficie plana debería ser además simétrica y armónica. La forma y función de las articulaciones del sistema locomotor obedecen sin duda a las necesidades de traslación.

La articulación tibiotalariana contribuye de forma particular, pero importante, a mantener el *CGO* en una trayectoria correcta. El análisis cinético sobre la tibiotalariana es en la fase de apoyo unipodal, dada la importante relación podológica. La articulación del tobillo debe responder como el resto de eslabones de la cadena de movimiento, a las necesidades físicas que se le exigen, mediante la flexión, la extensión y los movimientos axiales.

En la flexión del tobillo, como se demuestra en la exposición, transmite de forma lógica el movimiento latero medial al conjunto de las articulaciones del pie.

En la extensión de la tibiotalariana, al contrario y de forma automática se observa una rotación externa discreta de la tibia, peroné y pie.

El cilindro con un eje transversal al que se le acopla un cilindro hueco haciendo de mortaja, es el modelo mecánico utilizado por Kapandji, es correcto si la articulación del tobillo actuara en un solo plano. La forma cónica que utiliza Morris coloca la base del cono, de mayor radio, lateralmente sobre la vertiente externa de la tróclea astragalina, la perpendicular del cono representa el eje de la tibiotalariana. Desde la perspectiva de movimiento es un modelo excelente, da respuesta al movimiento axial, no obstante no explicaría ni la dirección del eje de la garganta de la polea, ni la importancia del peroné en su acción automática.

Pues bien si utilizamos el modelo de Kapandji como ejemplo, y trasladamos el eje del cilindro, oblicuo hacia atrás y hacia abajo y el pilón tibial tuviera facultad para moldear el cilindro sometiendo al modelo a presiones mecánicas del movimiento lineal, nos mostraría al final la forma de la tróclea astragalina.

La acción de los ligamentos laterales, anteriores y posteriores de la articulación del tobillo son particularmente decisivos, por cuanto no existe conexión muscular entre la tibia y peroné por un lado y el astrágalo por otro, orientando el astrágalo en dirección anterior e interna en la flexión dorsal y al contrario en la flexión plantar, sin olvidar la importancia del peroné en su acción mecánica descrita en este trabajo, su movilidad automática durante la flexión dorsal puede hacer efectiva la acción de los tendones del flexor largo del primer dedo, y del peroneo lateral largo sin contracción muscular, simplemente por tracción del tendón, cuestión importante para la economía energética, por otro lado no debemos olvidar que la mayoría de músculos extrínsecos del pie tienen su origen directa o indirectamente en el peroné.

## Bibliografía recomendada

- Asensio G, Blanc Y, Casillas JM, Esnault M, Laassel E, Mesure S, Pélissier J, Penneçot FG, Plas F, Tardieu C, Viel E. *La marcha humana la carrera y el salto. Biomecánica exploraciones, normas y alteraciones*. Masson, 2002;5-21.
- Plas F, Viel E, Blanc Y. *La marcha humana. Cinesiología dinámica, biomecánica y patomecánica*. Masson, 1984; 2-20.
- Arbones EA. *Manual-diccionario de Física*. Ediciones Fausí 1987;68-70.
- Vázquez CE, Martínez M. *Fundamentos de Física Mecánica*. Editorial Playor, 1989;79-331.
- Hainaut K. *Introducción a la Biomecánica*. Editorial JIMS 1976;7-8.
- Peterson Kendall F, Kendall McCreary E, Geise P. *Provance. Músculos, pruebas, funciones y dolor postural*. Kendall's. 4ª edición. Marban 2000;220-24.
- Viladot A, et al. *Quince lecciones sobre patología del pie*. Masson, 2002;23-25.
- Kapandji AI. *Fisiología articular miembro inferior*. 5ª edición. Editorial Médica Paramericana, 1999;190-246.
- Rueda M. *Patología metatarso digital*. Federación Española de Podólogos. 1991;65-70.
- Restoy JLF. *Análisis de la Estática Humana*. Podoscopio 2001;22-5.
- Restoy JLF. Dolor en cintura pélvica y su relación con EE.II. *El Peu* 2002;178-181.
- Gary C. *Hunt Fisioterapia del Pie y del Tobillo*. JIMS.S.A. 1990;6-9.
- Restoy JLF. Bases biomecánicas del movimiento lineal humano. Consejo General de Colegios Oficiales de Podólogos. *Revista Española de Podología* 2004 ;XV(1):28-30.
- Reyes JM. Alteraciones de la palanca y la bóveda. *El Peu* 1991;47:204-6.