

# Dinámica de los músculos flexores y extensores de la rodilla durante el periodo de apoyo del pie en la carrera

## Dynamics of the flexo-extensor muscles of the knee during the running foot contact phase

Juan Luis Florenciano Restoy \*

\* Diplomado en Podología por la Universidad de Barcelona. Master en Podología Deportiva por la Universidad Católica de Valencia. Doctorando por la Universidad Central de Cataluña (UVIC). Podólogo del Centro de Podología de J.L. Florenciano.

### RESUMEN

El autor propone una descripción detallada de la mecánica de la carrera. Analiza el comportamiento cinético de la extremidad durante el periodo de apoyo. Enumera los diferentes tipos de contracciones musculares, de los flexores y extensores de la rodilla, que dan sentido a la carrera. Analiza las rotaciones relativas del fémur con la tibia y las de la tibia con el pie y el comportamiento del tendón rotuliano en fase de apoyo medio. Analiza las contracciones musculares de los músculos implicados en la flexión- extensión de la rodilla en el periodo de apoyo.

Como conclusión sugiere, que la disposición de tales músculos responde a las necesidades mecánicas de la carrera con un diseño lógico y perfecto.

### PALABRAS CLAVE

Carrera, cinética, músculos flexores-extensores de la rodilla, contracción muscular.

### ABSTRACT

A detailed description of the running mechanics is proposed by the author. Analyzing the kinetic behavior of the limb during the stance phase. The different flexor and extensor muscles contractions are enumerated and related to running movement. The relative rotations of the femur-tibia and tibia-foot are analyzed taking into account the behaviour of the knee tendon in the mid-stance phase. The contractions of the muscles involved in knee flexo-extension movement during stance period are analyzed.

As a conclusion, the author suggests that the positioning of those muscles corresponds to a mechanical need of the running, and the result of a perfect and logical design.

### KEYWORDS

Running, kinetics, flexo-extensor knee's muscles, muscle contraction.

### CORRESPONDENCIA:

Correo electrónico: florenrestoy@hotmail.com  
Teléfono: 93 345 85 27

## INTRODUCCIÓN

### Parámetros de la carrera fases y terminología

**La carrera humana:** Es un proceso de locomoción humano en el que el cuerpo se mueve hacia delante, siendo el peso soportado, alternativamente por ambas piernas. Al desplazar el cuerpo sobre la pierna de apoyo, la otra extremidad se balancea y se prepara para el siguiente apoyo. La diferencia con respecto a la marcha es que en el proceso de transferencia del peso del cuerpo de la pierna retrasada a la pierna adelantada ambos pies se separan del suelo, lo que convierte la carrera humana en una sucesión consecutiva de saltos<sup>1</sup>.

Al analizar un ciclo completo de carrera observamos que en el periodo de apoyo el **contacto inicial** se efectúa con el arco externo del pie (supinación), **el apoyo medio** es mediante un movimiento latero-medial de todo el pie hasta que la planta está apoyada en el suelo (pronación), implica también, flexión más acusada de las articulaciones de la rodilla y tobillo, **el impulso**, se efectúa mediante la extensión de las articulaciones de la cadera, rodilla, tobillo y articulaciones metatarso-falángicas y un movimiento medio-lateral (supinación), previo al abandono del pie del suelo.

La **oscilación inicial** comienza con la flexión de, rodilla y tobillo, la **oscilación media** continúa la

flexión de la cadera, rodilla y tobillo y la **oscilación final** extiende la articulación de la cadera, rodilla, en consecuencia es en esta oscilación final donde se inicia la fase **aérea** que culmina con el contacto del pie de nuevo con el suelo y la finalización del ciclo<sup>2</sup>.

## CINÉTICA DEL MOVIMIENTO

El movimiento de carrera descrito en el apartado anterior, es posible gracias a la aplicación de la Energía Mecánica (Em) que es la suma de la Energía Potencial (Ep) y la Energía Cinética (Ec).

$$Ep = m \times h \times g$$

donde m=masa, h=altura, g=gravedad terrestre.

$$Ec = m \times v^2 / 2$$

donde m=masa, v=velocidad

El ser humano dispone de un centro de gravedad del organismo (**GGO**) elevado aproximadamente el 55% de la altura del sujeto hasta el suelo.

Un **CGO** elevado permite acumular **Ep** suficiente para transformar en **Ec** de forma eficiente<sup>3</sup>.

Durante el ciclo de carrera, en la fase de apoyo medio del pie, la extremidad flexiona las articulaciones de la rodilla y del tobillo, lo que permite acumular **Ep** en los músculos para disiparla en el la fase posterior de impulso.

Este mecanismo es posible gracias a la contracción muscular y a la eficacia del tejido conjuntivo.

La **contracción muscular excéntrica** se define como; aquella en la que la tensión que genera el músculo es menor que la resistencia que se aplica, por lo que el músculo se termina alargando.

Frente a ella la **contracción muscular concéntrica** es más bien al contrario y la resistencia es menor que la tensión que se aplica al músculo, por lo que este se contrae. **Contracción muscular isométrica** es aquella que permite mantener el ángulo de una articulación ante una fuerza, como puede ser la gravedad<sup>4</sup>.

En la actividad de correr, la finalidad en primer lugar es la de frenar la acción de la gravedad, mediante la flexión de las articulaciones de la rodilla y tobillo. Esto se consigue cuando la suma de momentos es igual a cero ( $\sum M=0$ , tercera Ley de Newton).

La **contracción muscular excéntrica** afianzan y mantienen la estabilidad de las articulaciones im-

plicadas, actuando como un muelle muy eficaz, del mismo modo que la Ep acumulada es liberada en forma de calor, lo que explica que este tipo de contracción muscular incrementa más la temperatura que el trabajo concéntrico<sup>5</sup>.

### Músculos mono-articulares y músculos biarticulares de la rodilla.

A la luz de lo expuesto anteriormente, se hace necesario comprender la acción concreta sobre los músculos de la extremidad inferior (en fase de apoyo medio de la carrera, contracción excéntrica) que han de almacenar **Ep**. Y a su vez como estos mismos músculos, (en fase de impulso, contracción concéntrica), generan el movimiento hacia delante **Ec**.

Durante la carrera, la función de flexión de la rodilla es fundamental.

En toda la fase de apoyo medio, la rodilla permanece flexionada.

Si atendemos a la organización de estos músculos comprenderemos mejor su contracción dinámica.

## MÚSCULOS MONOARTICULARES Y BIARTICULARES QUE ACTÚAN SOBRE LA RODILLA

Se puede afirmar que existe un interesante equilibrio anatómico inverso entre flexores y extensores de la rodilla<sup>6</sup>.

### Extensores:

- Monoarticulares:  
(vasto interno **Vi**, vasto externo **Ve**, crural **Cr**).
- Biarticulares:  
(recto anterior **Ra**).

### Flexores:

- Monoarticulares:  
(porción corta del bíceps crural **BCr**).
- Biarticulares:  
(porción larga del bíceps crural **BCrl**, semitendinoso **St**, semimembranoso **Sm**).



## BIOMECÁNICA DE LA RODILLA Y DEL TOBILLO. PERIODO DE APOYO. ROTACIÓN AXIAL DEL FÉMUR SOBRE LA TIBIA VERTIENTE PROXIMAL

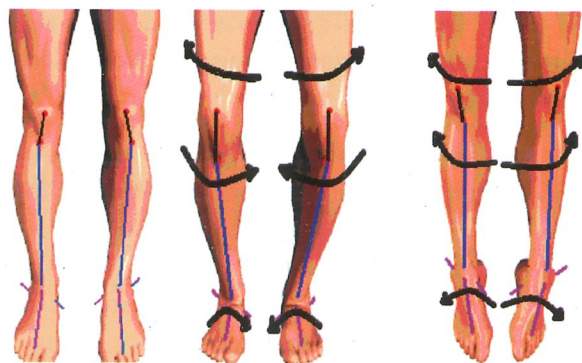


Figura 1. Fuente propia. Mecanismo de la extremidad desde la posición neutra, flexión de la extremidad y extensión de la extremidad.

En el ejemplo de la **figura 1** en la flexión de rodilla, la tibia tiene un movimiento de rotación interna, mientras el fémur tiene un movimiento de rotación externa.

El eje mecánico del fémur y el eje mecánico de la tibia permiten simultáneos movimientos de flexión-extensión y rotación relativa y automática entre ambos segmentos, por las características de los cóndilos femorales y de las plataformas tibiales.

Desde una perspectiva anatómica los cóndilos femorales no son estrictamente idénticos, esta circunstancia propicia que al inicio de la flexión el desplazamiento y rodadura del cóndilo interno sobre la plataforma tibial solo llegue hasta los 10° o 15° de flexión, en el caso del cóndilo externo dicha rodadura llega hasta los 20° de flexión, por lo tanto es obvio que el cóndilo externo rueda mucho más que el cóndilo interno.

Los movimientos de rotación axial de la tibia y el fémur solo son posibles con la rodilla en flexión.

Al inicio de la flexión existe una rotación automática interna de la tibia bajo el fémur. Al final de la extensión se produce una ligera rotación automática externa de la tibia bajo la rodilla<sup>7</sup>.

## ROTACIÓN AXIAL DE LA TIBIA SOBRE EL PIE VERTIENTE DISTAL

En el ejemplo de la **figura 1** observamos que durante la fase previa al salto hemos flexionado la rodilla y el tobillo en el que se manifiestan tanto una

rotación interna de la tibia como una pronación de ambos pies, esto es posible porque en el complejo articular del tobillo también se produce un movimiento automático similar al realizado en la rodilla, donde el eje mecánico de la tibia tiene un protagonismo esencial.

En la **figura 2** se describe más concretamente la forma de la tróclea astragalina observando que es más ancha por delante que por detrás unos 5 mm de media.

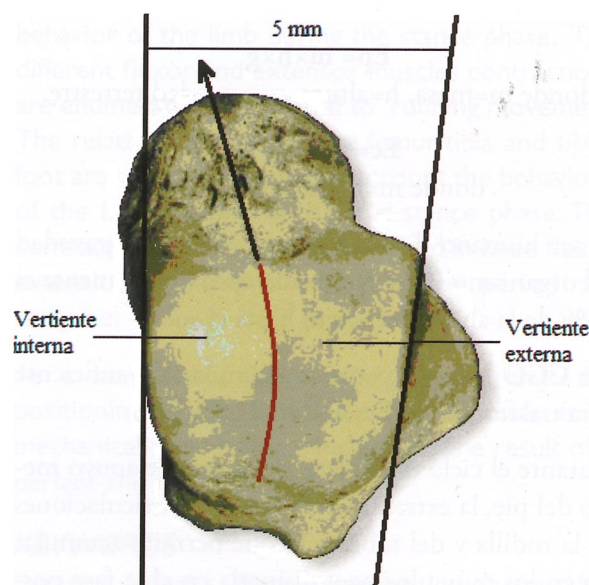


Figura 2. Fuente propia. Visión superior de la tróclea astragalina.

La garganta de la polea no es del todo sagital está más bien desviada hacia delante y hacia fuera en la misma dirección que el eje longitudinal del pie, en cambio el cuello del astrágalo se dirige hacia delante y hacia dentro.

En efecto, se vuelve a reproducir un mecanismo similar al observado en la rodilla, la vertiente externa de la tróclea astragalina y su relación con la superficie externa del pilón tibial y el hueso peroné (articulación tibio-peroné inferior) tienen mayor recorrido sobre la vertiente externa de la tróclea astragalina que sobre la vertiente interna de la tróclea astragalina, lo que se traduce en una discreta pero evidente rotación interna de la tibia en la flexión de la articulación del tobillo y por el contrario en una discreta pero evidente rotación externa de la tibia en la extensión de la articulación del tobillo, este mecanismo es automático no precisa de acciones musculares (**figura 1**).

## DINÁMICA DE LA RÓTULA

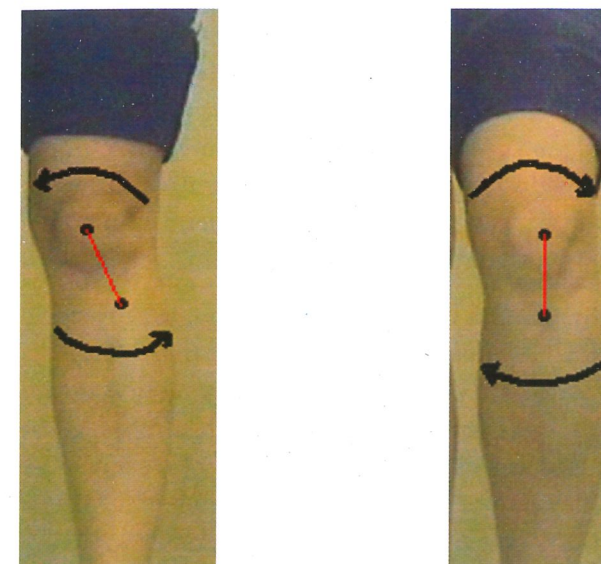


Figura 3. Fuente propia. Mecanismo de alineación del tendón rotuliano al flexionar la rodilla.

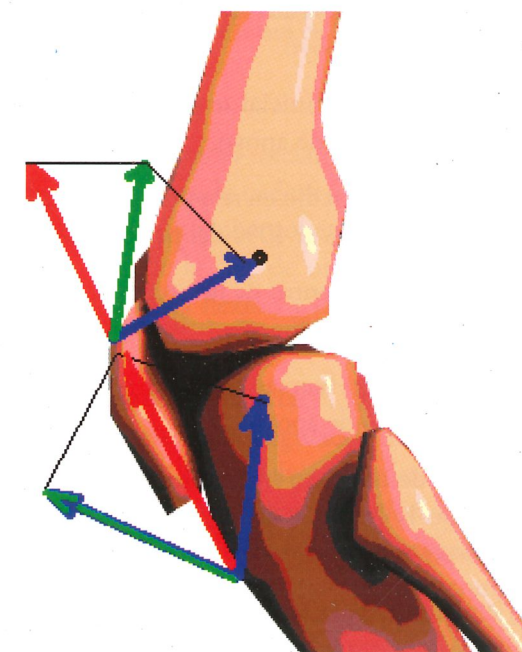


Figura 4. Fuente propia. Diagrama de fuerzas del tendón rotuliano.

Durante la carrera en cadena cinética cerrada es decir, en el periodo de apoyo, el pie y la tibia están fijos en el suelo, es el tronco el que se desplaza hacia delante, esta rotación automática relativa del fémur sobre la tibia es indispensable para dirigir el tendón rotuliano perpendicular a la zona de inserción en la tuberosidad anterior de la tibia en la fase de apoyo medio (**figura 3**).

La rótula es un hueso sesamoideo, es un hueso situado entre el tendón del cuádriceps por arriba y el

ligamento rotuliano por abajo. La importancia es esencial al desplazar hacia delante la rótula mediante las fuerzas de tracción.

En la **figura 4**, la fuerza representada por el vector de color rojo, en la inserción del tendón rotuliano en la tuberosidad anterior de la tibia, se descompone en dos vectores perpendiculares entre ellos, una fuerza de color azul dirigida al centro de la articulación y una fuerza tangencial de color verde, eficaz para desplazar la tibia hacia delante sobre el fémur. En el caso del tendón del cuádriceps por arriba, también ejerce una fuerza representada por el color verde que se descompone en dos vectores, un vector de color azul dirigido al centro de la articulación y un vector de color rojo en la prolongación del ligamento rotuliano<sup>8</sup>.

## DINÁMICA DE LOS MÚSCULOS EXTENSORES DE LA RODILLA

El músculo cuádriceps es el único músculo extensor de la rodilla. Es el segundo músculo más potente de la extremidad inferior, después del glúteo mayor, 148 cm de superficie fisiológica en un recorrido de 8 cm le proporciona una potencia de 42 kg. Otro dato importante es que el músculo cuádriceps femoral es tres veces más potente que los músculos flexores de la rodilla.

Los tres músculos **Vi**, **Ve** y **Cr**, son solo extensores de la rodilla.

Sin embargo, el músculo **Ra** es biarticular, solo representa la quinta parte de la fuerza de extensión de la rodilla. Por si solo no tiene potencia suficiente para extender la rodilla, su eficacia depende de la posición de la cadera, su trayecto pasa por delante del eje de rotación de la cadera y por delante del eje de rotación de la rodilla, es flexor de la cadera y extensor de la rodilla. Por su disposición anatómica le convierte en antagonista de los músculos glúteos, al extender la cadera por la contracción concéntrica de estos músculos, en la fase de impulso, la rodilla y tobillo también se extienden, es cuando el músculo recto femoral desarrolla su máxima potencia.

En realidad, durante la fase de apoyo medio, disipar la fuerza de la gravedad se consigue mediante la contracción excéntrica del músculo cuádriceps, el protagonismo mecánico es asumido por los tres músculos monoarticulares.



Por el contrario, en la fase de impulso, el músculo cuádriceps, recupera su función de extensor de la rodilla para favorecer el desplazamiento del cuerpo hacia delante, el músculo más importante es el **Ra**<sup>9</sup>.

## DINÁMICA DE LOS MÚSCULOS FLEXORES DE LA RODILLA

Los músculos isquiotibiales son tanto extensores de la cadera como flexores de la rodilla. También colaboran en la rotación interna y externa de la rodilla. La potencia total de los músculos flexores de la rodilla es de 15 kg, solo poco más del tercio del músculo cuádriceps femoral.

Se dividen en dos grupos. Su característica principal es que parten de similar zona de origen y se insertan en la zona lateral y medial de la pierna. Los que favorecen la rotación externa son, porción corta y larga del **BCr** y **BCrl**.

Los que favorecen la rotación interna son el **Sm** y **St**.

Esta disposición anatómica, en cadena cinética abierta, facilita la rotación de la tibia bajo el fémur y en cadena cinética cerrada, es más bien al contrario, la rotación del fémur sobre la tibia.

En la fase de apoyo medio y de impulso, la tibia y el pie es el punto fijo desde dónde nos movemos, los isquiotibiales invierten su función mecánica y desde la tibia facilitan la extensión de la cadera y a la rotación de la tibia sobre el fémur, esto es posible porque tanto en el origen como en la inserción son tendones<sup>10</sup>.

## DINÁMICA DE LOS GEMELOS

No son flexores de la rodilla, son extensores del tobillo. No obstante son protagonistas de la estabilización de la rodilla.

En la fase de apoyo medio, frenan la acción de la gravedad como antagonistas del músculo cuádriceps. Al estar insertados en la parte superior de ambos cóndilos, al contraerse en la fase de impulso actúan como sinergistas del músculo cuádriceps crural<sup>10</sup>.

## DISCUSIÓN

Eberhardt (1954)<sup>11</sup> utilizando la electromiografía dinámica observó, que durante la marcha, los músculos tenían un comportamiento que no dejaba de ser curioso, gran parte de su energía era absorbida

al frenar la acción de la gravedad más que por la progresión hacia delante.

En efecto, en la carrera la fase de apoyo medio está determinada por dos aspectos esenciales, por un lado la flexión de la rodilla y del tobillo, por el otro lado la pierna oscilante, genera un momento de fuerza que resta el peso de la pierna al peso del cuerpo, facilitando la fase de impulso.

Se demuestra de la siguiente manera, la proyección del CGO determina las acciones musculares del cuádriceps y de los gemelos en contracción excéntrica, en la fase de apoyo medio, en cambio la fase de impulso, el músculo cuádriceps y los gemelos, se encuentra por detrás de la proyección del CGO, se observa que la contracción es concéntrica.

Al dividir el periodo de apoyo, en tres fases, contacto inicial, fase de apoyo medio y fase de impulso, podemos visualizar la curva de fuerza en función del % de tiempo de apoyo.

La fase de contacto inicial se prolonga desde el 0% a 20% del periodo de apoyo.

La fase de apoyo medio en respuesta a la carga, transcurre desde el 20% al 40% del periodo de apoyo.

El impulso final, dentro de la tercera fase transcurre desde el 40% al 100%.

La disipación de fuerzas también se observan durante el periodo de apoyo.

En la fase de contacto inicial del 0% al 20% del % de tiempo la fuerza a disipar es de 2 veces el peso del cuerpo.

Sin embargo, en la fase de apoyo medio, del 20% al 40%, la fuerza a disipar es de 2 veces y medio el peso corporal.

La fase de impulso, es la más larga en % de apoyo, se contempla desde el 40% al 100% del periodo de apoyo, el descenso de la curva es más suave, en el 60% del periodo de apoyo la curva regresa a 2 veces el peso del cuerpo, en el 80% del ciclo de apoyo la curva se sitúa en el 1, con lo que se iguala el peso del cuerpo, en el 100% del ciclo de apoyo la curva llega a 0, con lo que se ha restado el peso del cuerpo se inicia el periodo de salto que conlleva la fase aérea (figura 5).

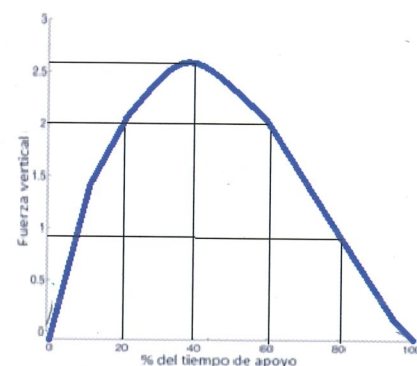


Figura 5. Fuente propia. Curva en plataforma de fuerza, % de presión durante la fase de contacto.

## Actividad muscular

Desde la fase de contacto inicial, fase de apoyo medio y fase de impulso, la cadera se encuentra siempre en extensión. Sin embargo, en el periodo previo es decir, el final de la fase de oscilación, la cadera procede al final de la flexión y la rodilla al final de la extensión.

**En la fase de contacto inicial**<sup>12</sup>, observo, que los músculos están como Pre-regulados durante la carrera, los músculos de la pelvis necesitan 100 ms. para anticipar su contracción, cuestión reforzada por los picos de actividad de la electromiografía. La tensión previa sucede en los músculos del compartimento anterior de la pierna y estabilizadores de la pelvis. Se sugiere que viene regido por una "memoria motriz" que se ha ido almacenando en el sistema nervioso durante el aprendizaje de la carrera.

En la **figura 5** la proyección perpendicular imaginaria del **CGO** se encuentra por detrás de la extremidad de apoyo. Los músculos se preparan para la fase de apoyo medio.

El cuádriceps también se anticipa y genera una contracción isométrica, dado el caso para limitar una flexión de rodilla exagerada. Hay que tener en cuenta que a mayor velocidad de carrera la demanda de flexión de rodilla es mayor, también lo es en las pendientes muy pronunciadas. Los isquiotibiales como

antagonistas del cuádriceps controlan la extensión de la rodilla.

**En la fase de apoyo medio**, en la **figura 5** se muestra como la curva de fuerza se encuentra en su límite máximo y el sujeto ha disipado dos veces y medio el peso corporal, la contracción muscular excéntrica del cuádriceps y de los gemelos controlan la fuerza de la gravedad aproximadamente en el 40% del periodo de apoyo. La contracción muscular isométrica de los isquiotibiales ayuda a mantener la flexión de rodilla.

La proyección perpendicular imaginaria del CGO se encuentra sobre la pierna de apoyo.

**En la fase de impulso** que se observa en la **figura 5** el mayor % de tiempo 60%, la contracción muscular, tanto del cuádriceps como los gemelos, es concéntrica, desde un punto fijo que es el pie, palanca de 1º (potencia el tríceps, punto de apoyo los metatarsianos, la resistencia representada por el CGO está por delante), los gemelos músculos biarticulares al extender la articulación del tobillo, ayudan a la extensión de la rodilla por su origen en ambos cóndilos femorales. El músculo cuádriceps, con la función específica de la porción larga de músculo recto femoral, extiende la rodilla coincidiendo con la extensión máxima de la cadera, los músculos glúteos en general y el glúteo mayor en particular, desarrollan su máxima potencia, actúan como agonista, el recto femoral dada su ubicación actúa como antagonista, esto permite al músculo cuádriceps desarrollar también su máxima potencia, gracias a la eficacia del músculo recto femoral.

## Movimiento relativo del fémur sobre la tibia

Freeman y Pinskerova (2005)<sup>13</sup> demuestran que la cinemática de flexión-extensión se caracterizan por un mecanismo de atornillado. Esta acción es motivada por los radios sagitales el mayor recorrido sobre la vertiente externa de la tibia y la acción de los ligamentos laterales medial y lateral y los cruzados.

Hans A. Gray et al.<sup>14</sup> utilizaron un sistema de imágenes de rayos X móvil para medir el movimiento tridimensional, al caminar, de todo el complejo de la articulación de la rodilla (fémur, tibia y rótula). El estudio se realizó sobre 15 individuos sanos (9 hombres, 6 mujeres; edad 30.5 ± 6.2 años). El movimiento más pronunciado de la tibia fue la fle-



xión-extensión, seguida de rotación interna-externa y abducción-aducción.

Los valores para la flexión-extensión fueron de 70.7°. Para la rotación interna-externa 9.2°. Los resultados de la aducción-abducción fueron 1.9°.

La traslación máxima anterior de la tibia fue de 6,5 mm y se produjo en el inicio de la fase de oscilación, coincidiendo con la flexión máxima de la rodilla y la rotación interna máxima. El movimiento de rotación más prominente de la rótula fue la flexión-extensión (desplazamiento máximo: 50.5°).

La tibia giró alrededor del compartimento medial de la articulación tibiofemoral, lo que genera mayores movimientos de los centros de contacto en el compartimento lateral que el compartimento medial (15,4 y 9,7 mm, respectivamente).

La rotación interna-externa, la traslación anterior-posterior y el desplazamiento medial-lateral de la tibia, así como la extensión de la flexión y la traslación anterior-posterior de la rótula se acoplaron al ángulo de flexión de la rodilla, al igual que los movimientos de los centros de contacto en cada articulación.

## CONCLUSIÓN

El movimiento lineal humano durante la carrera es muy complejo, la actividad muscular en general está determinada por el momento de inercia en el que se encuentra la extremidad, ya sea para frenar la acción de la gravedad (contracción excéntrica) o para vencer la acción de la gravedad (contracción concéntrica).

A todo ello debemos sumar que la velocidad de desplazamiento del sujeto cambia por completo cualquier análisis cinético que podamos realizar, es por lo tanto importante dar una visión más general e integrada de cómo nos movemos.

Dividir los periodos de apoyo y oscilación en fases ha permitido concretar mejor las acciones musculares.

La fase de contacto medio coincide con la acción de frenado del cuerpo (neutralizar la acción de la gravedad). La fase de impulso, coincide con la aceleración del cuerpo (vencer la acción de la gravedad).

La naturaleza no deja nada al azar, el músculo cuádriceps después del Glúteo Mayor es el más fuerte de la extremidad inferior.

Según la anatomía descriptiva es extensor de la rodilla.

El recto anterior es el único músculo biarticular del cuádriceps, su brazo de palanca es largo, su eficacia depende de la posición que ocupa con respecto a las fases de apoyo, también es activo en el periodo de oscilación, pero sin duda donde su eficacia aumenta es en la fase de impulso al colaborar de forma sinérgica con los gemelos en la extensión de la rodilla.

Sin embargo, el vasto medial, vasto lateral y el crural son monoarticulares y un tendón común lo que propicia un brazo de palanca corto, esta característica física, le confiere la suficiente fuerza para que mediante la contracción muscular excéntrica frenen eficazmente la acción de la gravedad, lo que sugiere que el músculo cuádriceps está diseñado preferentemente para frenar la acción de la gravedad.

No deja de ser curioso que los isquiotibiales también son cuatro músculos, pero salvo la porción corta del bíceps femoral, los otros tres músculos son biarticulares.

La fuerza de estos músculos es de poco más de un tercio de la del músculo cuádriceps femoral. Al tener brazos de palanca largos, se propone que su función en realidad es propiciar el movimiento hacia delante. Se ha demostrado durante la exposición de este trabajo como durante la actividad de apoyo y en función del momento de inercia estos músculos favorecen la flexión de la rodilla y la extensión de la cadera, invirtiendo su acción desde el punto fijo que es el pie y la tibia en la fase de apoyo medio, es por ello que tienen tendón en las dos vertientes, origen e inserción.

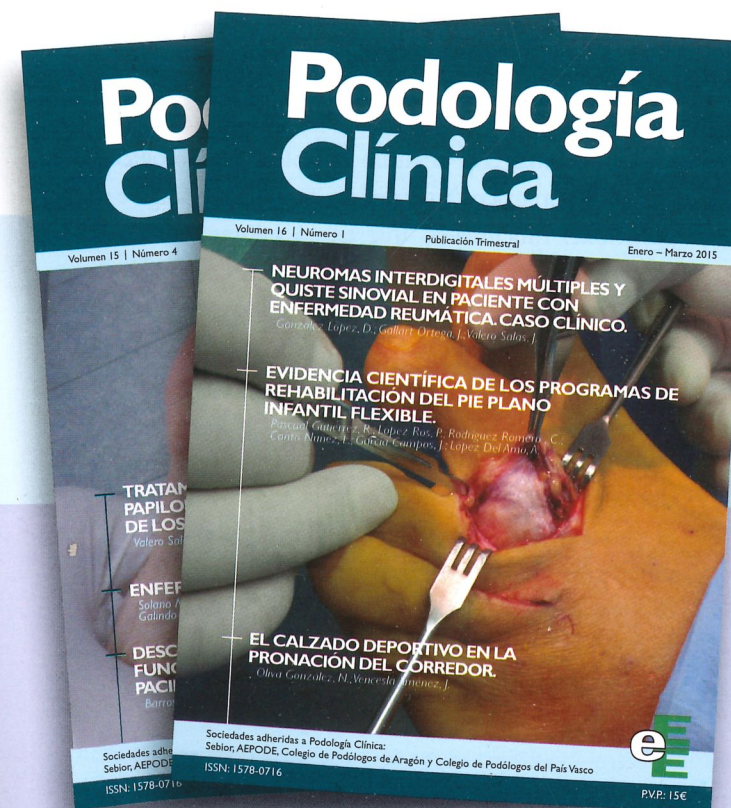
La importancia del movimiento automático entre la tibia y el fémur también ha quedado demostrado, cuya finalidad es el ahorro energético, el movimiento es independiente de la acción muscular.

El aumento del ángulo "Q" por defecto de torsión en la extremidad, en la fase de apoyo medio, repercutirá negativamente en la relación de la rótula con el fémur provocando condropatía rotuliana.

En la flexión de rodilla en la fase de apoyo medio, este mecanismo permite alinear de forma perpendicular el tendón rotuliano y la rótula con su zona de inserción en la tuberosidad anterior de la tibia, con lo que la tracción del tendón es más efectiva, favoreciendo el ahorro energético.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Inman, V.T., Ralston, H.J. y Todd, F. (1981) Human Walking, Williams and Wilkins, Baltimore, MD.
2. Javier Sánchez Lacuesta. Biomecánica de la Marcha Normal y Patológica. IBV. 2005. pág. 34,35,36
3. Vázquez Carlos, Martínez Martha. FÍSICA. Fundamentos de Física. Mecánica. EDITORIAL PLAYOR 1989. Pág. (79, 331)
4. Mikel Izquierdo. Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el deporte. 2008. Editorial. Médica Panamérica. Pág. 613-29
5. Hamill Joseph. Bases del Movimiento Humano, 4ª Edición Wolters Kluwer 2017. Pág. 75, 76,77
6. F Plas E Viel Y Blanc. "LA MARCHA HUMANA" Editorial Masson, 1984. Pág. 44
7. Kapandji AI. Fisiología Articular. 6ª Edición. Tomo 2. Editorial Panamérica. Pág. 90
8. Kapandji AI. Fisiología Articular. 6ª Edición. Tomo 2. Editorial Panamérica. Pág. 142
9. Kapandji AI. Fisiología Articular. 6ª Edición. Tomo 2. Editorial Panamérica. Pág. 144
10. Kapandji AI. Fisiología Articular. 6ª Edición. Tomo 2. Editorial Panamérica. Pág. 146
11. Eberhart HD, Inman VT, Bresler B. The principal element in human locomotion. Human limbs and their substitutes. New York, McGraw-Hill, 1954
12. Knuttsen E. A review of neurological disorders and their analysis. Proceed 10 Int Confer WCPT, 1987 647-654
13. Freeman y Pinskerova. 2005 The movement of the normal tibio-femoral joint. Volume 38, Issue 2. February 2005, Pages 197-208
14. Hans A Gray. Three-dimensional motion of the knee-joint complex during normal walking revealed by mobile biplane X-ray imaging. Journal of Orthopaedic Research. 2019



## Suscripción Podología Clínica

4 números anuales  
56 euros / año

## Pedidos:

Ediciones Especializadas Europeas S.L.  
eMail: monica.aguirre@edicionesee.com

O puede suscribirse vía online en nuestra web:  
[www.edicionesee.com](http://www.edicionesee.com)