

CAPITULO 6

LOCOMOCION HUMANA NORMAL

El conocimiento de la locomoción humana normal es la **base** del tratamiento **sistemático** y del manejo de la marcha **patológica**, especialmente cuando se usan prótesis y ortesis.

La locomoción humana normal se ha descrito como una serie de movimientos alternantes, **rítmicos**, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad. Más **específicamente**, la locomoción humana normal puede describirse enumerando algunas de sus **características**. Aunque existen pequeñas en la forma de la marcha de un individuo a otro, estas diferencias caen dentro de pequeños límites.

El ciclo de la marcha comienza cuando el pie **contacta** con el suelo y termina con el siguiente contacto con el suelo del mismo pie. Los dos mayores componentes del ciclo de la marcha son: la fase de apoyo y la fase de balanceo (fig. 1). Una pierna está en fase de apoyo cuando está en contacto con el suelo y está en fase de **balanceo** cuando no contacta con el suelo.

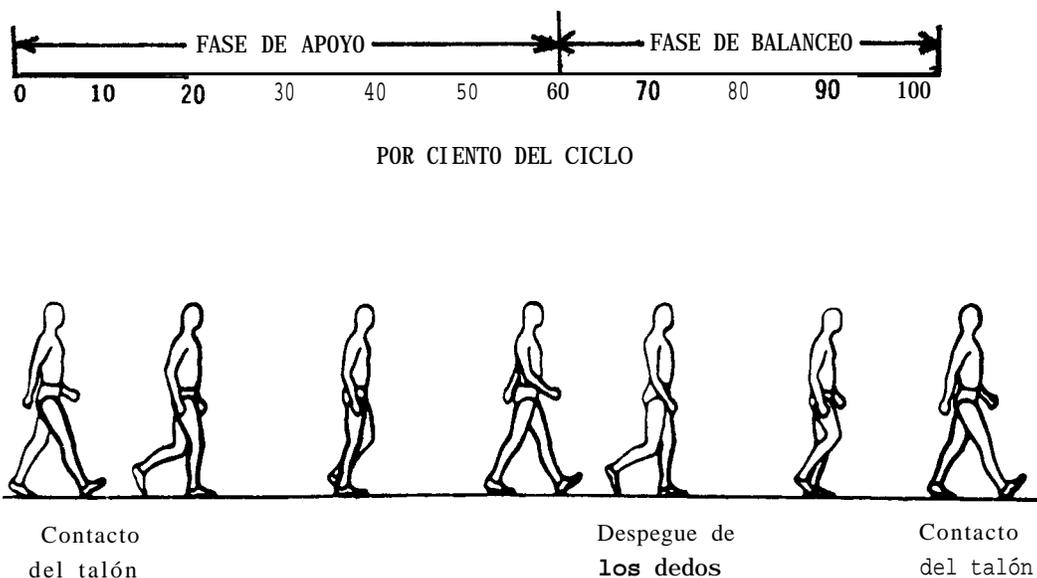


Figura 1

La longitud del paso completo es la distancia lineal entre los sucesivos puntos de contacto del talón del mismo pie. Longitud del paso es la

distancia lineal en el plano de progresión entre los puntos de contacto de un pie y el otro pie (fig. 2).

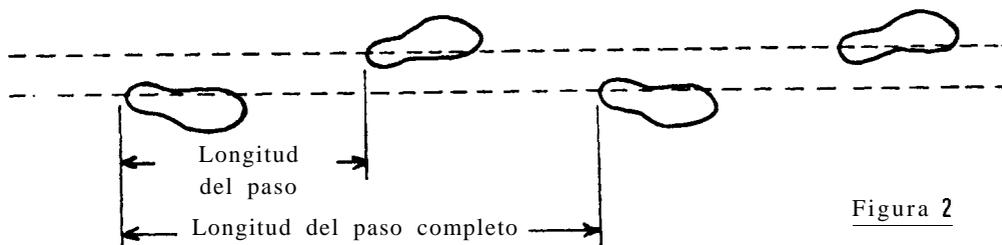


Figura 2

Apoyo sencillo. Se refiere al período cuando sólo una pierna está en contacto con el suelo. El período de doble apoyo ocurre cuando ambos pies están en contacto con el suelo simultáneamente. Para referencia del pie significa que por un corto período de tiempo, la primera parte de la fase de apoyo y la última parte de la fase de apoyo, el pie contralateral estará también en contacto con el suelo (fig. 3). La ausencia de un período de doble apoyo distingue el correr del andar.

APOYO DEL TALÓN IZQUIERDO

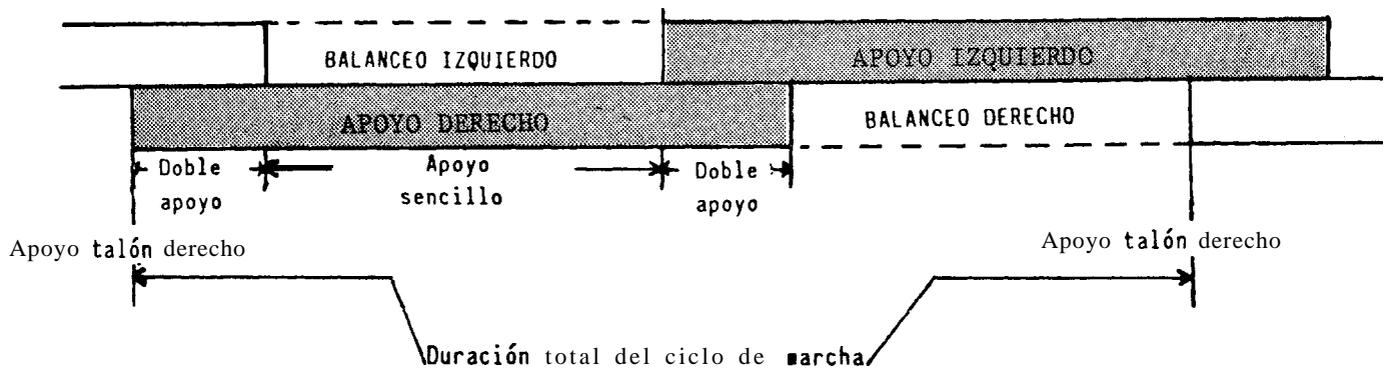


Figura 3

La cantidad relativa de tiempo gastado durante cada fase del ciclo de la marcha, a una velocidad normal, es:

1. Fase de apoyo: 60% del ciclo
2. Fase de balanceo: 40% del ciclo
3. Doble apoyo: 20% del ciclo.

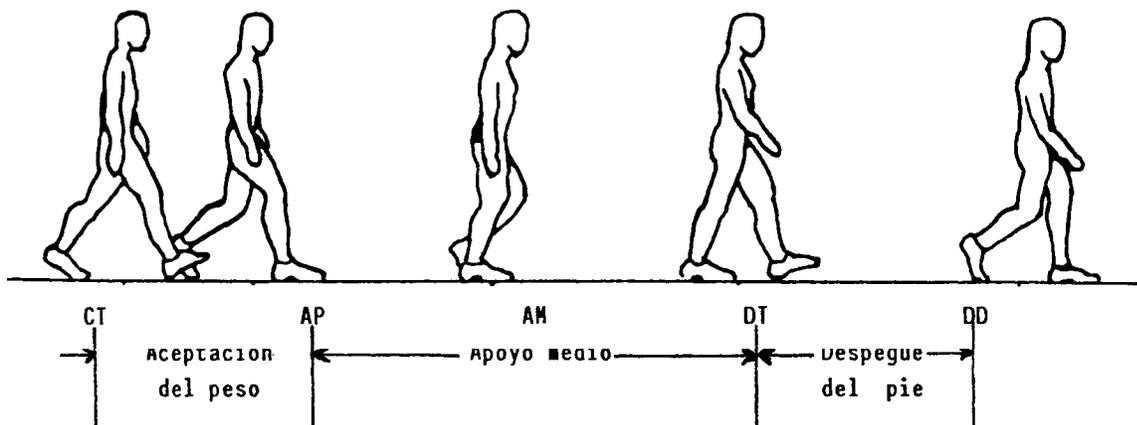
Con el aumento de la velocidad de la marcha hay un aumento relativo en el tiempo gastado en la fase de balanceo, y con la disminución de la velocidad una relativa disminución. La **duración** del doble apoyo disminuye conforme aumenta la velocidad de la marcha.

Subdivisión de la fase de apoyo

Hay cinco momentos que son útiles al subdividir la fase de apoyo: Contacto **del** talón, apoyo plantar, apoyo medio, elevación del talón y despegue del pie.

El contacto del talón se refiere al instante en que el talón de la pierna de referencia toca el suelo. El apoyo plantar se refiere al contacto de la parte anterior del pie con el suelo. El apoyo **medio** ocurre cuando el trocánter mayor* está alineado verticalmente con el centro del pie, visto desde un plano sagital. La elevación del **talón** ocurre cuando el talón se eleva del suelo, y el despegue del pie ocurre cuando los dedos se elevan del suelo.

La **fase** de apoyo puede también dividirse en **intervalos** con los **términos** de **aceptación** del peso, apoyo medio y despegue. El intervalo de **aceptación** del peso empieza en el contacto del talón y termina con el apoyo plantar. El intervalo de apoyo medio empieza con el apoyo plantar y termina con la elevación del talón. El despegue se extiende desde la elevación del talón al despegue de los dedos (fig. 4).



Subdivisiones de la fase de apoyo

Figura 4

* La evaluación clínica de la marcha es suficiente generalmente con la estimación visual de la posición del trocánter mayor.

Subdivisiones de la fase de balanceo

La fase de balanceo puede dividirse en tres intervalos designados con los términos de **aceleración**, **balanceo medio** y **deceleración**. Cada una de estas subdivisiones constituyen aproximadamente un tercio de la fase de balanceo. El primer tercio, referido como período de aceleración, se caracteriza por la rápida aceleración del extremo de la pierna inmediatamente después de que los dedos dejan el suelo. Durante el tercio medio de la fase de balanceo, el intervalo del balanceo medio, la pierna balanceada pasa a la otra pierna, moviéndose hacia delante de la misma, ya que está en fase de apoyo. El tercio final de la fase de balanceo está caracterizado por la deceleración de la pierna que se mueve rápidamente cuando se acerca al final del intervalo (fig. 5).

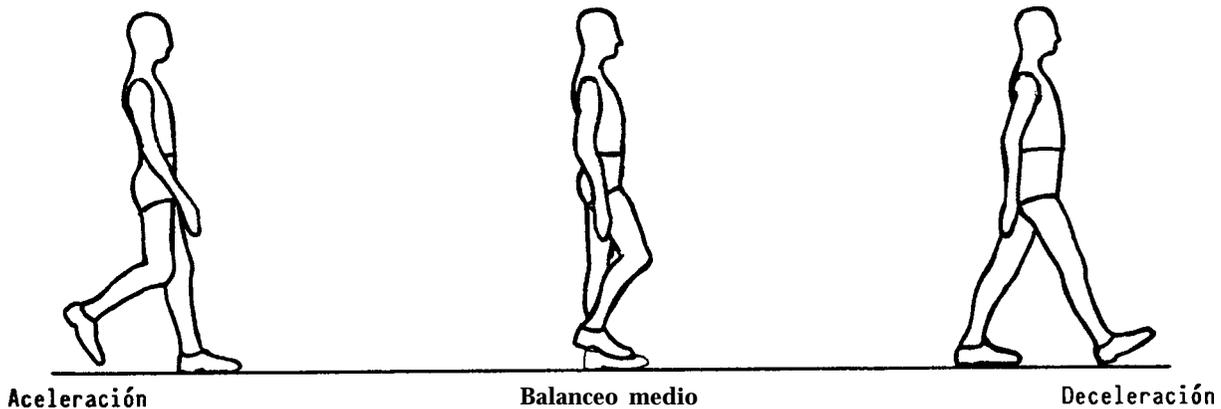


Figura 5

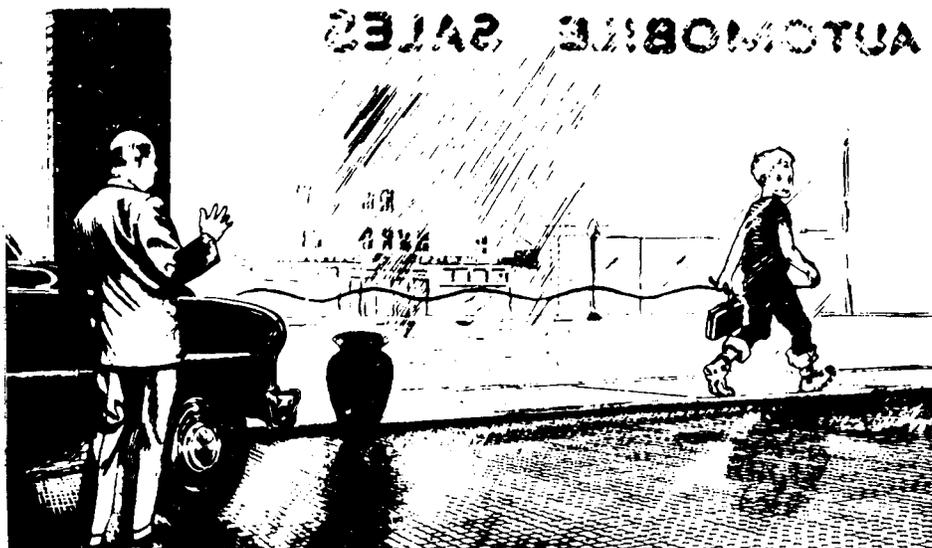
Línea del centro de gravedad

Las leyes de la mecánica dicen claramente que el mínimo gasto de energía se consigue cuando un cuerpo se mueve en línea recta, sin que el centro de gravedad se desvíe, tanto para arriba como para abajo, como de un lado a otro. Esta línea recta sería posible en la marcha normal si las extremidades inferiores terminaran en ruedas. Como no es esto lo que ocurre, el centro de gravedad del cuerpo se desvía de una línea recta, pero para la conservación de la energía, la desviación o desplazamiento debe quedarse a un nivel óptimo.

Desplazamiento vertical (fig. 6)

En la marcha normal el centro de gravedad se mueve hacia arriba y ha-

cia abajo, de manera **rítmica**, conforme se mueve hacia adelante. El punto más alto se produce cuando la extremidad que carga el peso **está** en el centro de su fase de apoyo; el punto más bajo ocurre en el momento del apoyo doble, cuando ambos pies están en contacto con el suelo. El punto medio de este desplazamiento vertical en el adulto masculino es aproximadamente de 5 cm. La línea Seguida por el centro de gravedad es muy suave sin cambios bruscos de desviación.



la línea dibujada en la ventana de cristal representa la línea de marcha del centro de gravedad del cuerpo.

Figura 6

Desplazamiento lateral (fig. 7)

Cuando el peso se transfiere de una pierna a otra, hay una **desviación** de la pelvis y del tronco hacia el lado o extremidad en la que se apoya el peso del cuerpo. El centro de gravedad, al tiempo que se desplaza hacia adelante no sólo sufre un movimiento **rítmico** hacia arriba y abajo, sino que **también** oscila de un lado a otro. El desplazamiento total de este movimiento lateral es también aproximadamente de 5 cm. El límite de

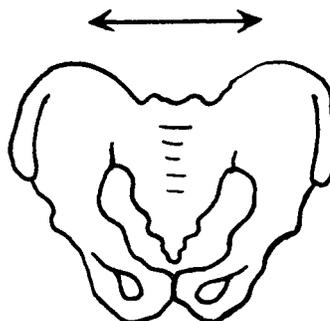


Figura 7

los movimientos laterales del centro de gravedad ocurre cuando **cada** **extre-**
midad está en el apoyo medio y la línea del centro de gravedad **est** **ambién**
en este caso, de curvas muy suaves.

Características de la marcha que influyen la línea del centro de grave- dad

Flexión de la rodilla durante la fase de apoyo

Inmediatamente después del contacto del talón, empieza la flexión de la rodilla **y continúa** durante la primera parte de la fase de apoyo hasta aproximadamente los 20 grados de flexión. Esta característica de la marcha normal ayuda a suavizar la línea del centro de gravedad y reduce su desplazamiento hacia arriba cuando el cuerpo se mueve apoyado sobre el pie en que se apoya.

Descenso horizontal de la pelvis (fig. 8)

En la marcha normal la pelvis desciende alternativamente, primero alrededor de una **articulación** de la cadera y luego de la otra. El desplazamiento desde la horizontal es muy ligero y, generalmente, no pasa de los 5 grados. En la **po_**
sición de pie esto es un signo positivo de Trendelenburg; en la marcha es una **característi-**
ca normal que sirve para reducir la **elevación** del centro de gravedad.

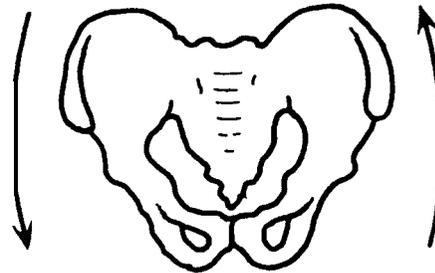


Figura 8

Rotación de la pelvis

Además del descenso horizontal, la pelvis rota hacia adelante en el plano horizontal, aproximadamente 8 grados en el lado de la fase de balanceo (4 grados a cada lado de la línea central). Esta característica de la marcha normal permite un paso ligeramente más largo, sin bajar el centro de gravedad y reduciendo, por tanto, el desplazamiento vertical total.

Ancho de la base de sustentación

La figura 9 muestra dos líneas que van a través de los sucesivos **pun-**

tos medios de la fase de apoyo de cada pie. La distancia entre las dos líneas representa la medida de la base de sustentación. En la marcha normal, el ancho entre las dos líneas queda en una media de 5 a 10 centímetros. Como la pelvis debe desplazarse hacia el lado del apoyo del cuerpo para mantener la estabilidad en el apoyo medio, la estrecha base de sustentación reduce el desplazamiento lateral del centro de gravedad*.



Figura 9

Métodos del estudio de la marcha

Los investigadores de la locomoción humana han estudiado dos métodos de investigación. Uno es la cinemática que describe los movimientos del cuerpo en conjunto y los movimientos relativos de las partes del cuerpo durante las diferentes fases de la marcha. Un ejemplo de esto es el estudio de las relaciones angulares de los segmentos de la extremidad inferior durante el ciclo de la marcha.

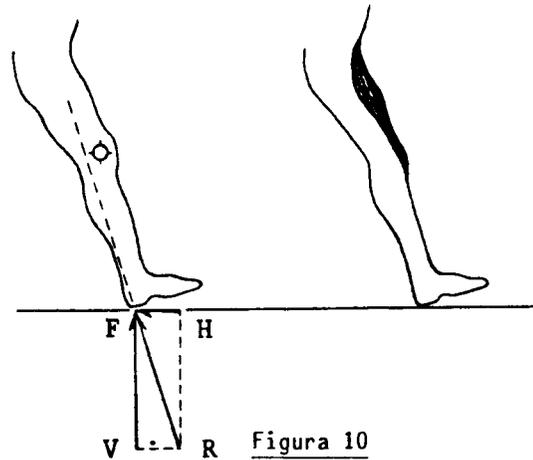
El otro es del área de la cinética que se refiere a las fuerzas que producen el movimiento. Las fuerzas de mayor influencia en los movimientos del cuerpo en la marcha normal, son aquellas debidas a:

1. Gravedad
2. Contracción muscular
3. Inercia
4. Reacciones del suelo (resultantes de las fuerzas que ejerce el suelo en el pie).

La figura 10 ilustra la influencia de varias fuerzas en la marcha. La fuerza que el pie ejerce en el suelo debido a la gravedad y a la inercia está en oposición con la reacción del suelo (RS). Como indica el dibujo,

* Para la descripción posterior de éstas y otras características de la marcha les recomendamos la Monografía "The Major Determinants in Normal and Pathological Gait", por J. E. SAUNDERS, V. T. INMAN y H. D. EBERHART. J. Bone and Joint Surg, 35-A: 543-558, Julio 1953.

en la marcha normal los componentes vertical y horizontal de la **reacción** del suelo (**RV**) y (**RF**) respectivamente, dan una resultante en **dirección** hacia arriba y hacia atrás. Por ello pasa posteriormente al eje de la rodilla. Ello daría como resultante la flexión de la rodilla si no se aplicara ninguna **restricción**. Esta fuerza se ejerce por el cuadriceps, de manera que la rodilla no se **colapsa**, pero se flexiona de forma controlada.



El siguiente análisis de la marcha normal se deriva de la cinemática y la **cinética**, y de estudios electro-miográficos de sujetos normales andando a una cadencia normal (100 a 115 pasos por minuto). Unas cadencias más o menos rápidas tienen un efecto muy pronunciado en los valores de los **ángulos** de la **articulación**, producido por las fuerzas generadas externamente y por la actividad muscular.

Con el propósito de analizar el plano sagital, la marcha ha sido considerada en tres intervalos seguidos:

- I. Contacto de talón a punto de apoyo medio
- II. Punto de apoyo medio a despegue de los dedos
- III. Fase de balanceo.

Cada uno de estos intervalos de acciones del tobillo, rodilla y cadera, se discuten separadamente, en términos de factores de cinemática y **cinética**. La discusión de los factores **cinéticos** se refiere a las fuerzas creadas externa e internamente.

Por último, en la **Sección IV** se presenta una breve discusión del **análisis** del movimiento en el plano frontal.

I. Movimiento en el plano sagital entre el contacto del talón y el punto de apoyo medio

A. Tobillo

1. Análisis cinemático (fig. 11)

En el momento del contacto del talón.

El juego del tobillo está en **posición** neutra, a medio camino entre la dorsiflexión y la flexión plantar.

Simultáneamente con el contacto del talón.

La articulación del tobillo empieza a moverse en **dirección** a la flexión plantar.

En el tiempo en que la planta del pie está en contacto con el suelo.

La articulación del tobillo va de la **posición** neutra a los 15 grados de flexión plantar.

Cuando la planta del pie es está plana en el suelo.

La tibia y otros segmentos de la pierna que apoya empieza a rotar hacia adelante sobre el pie fijo.

En la fase media.

La articulación del tobillo está en 5 grados aproximadamente de **dor**siflexión.

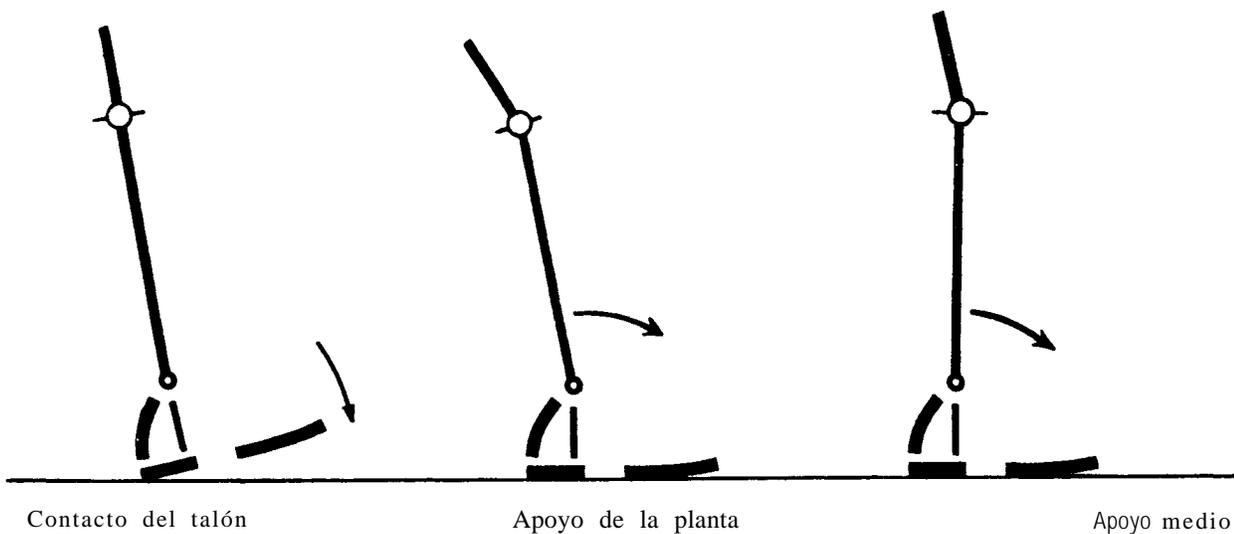


Figura 11

2. Análisis cinético

a) Fuerzas externas (fig. 12)

Contacto del talón.

Por un breve período de tiempo la resultante de las fuerzas de **reac-**
ción del suelo está por delante de la articulación del tobillo.
De acuerdo con ello, un momento de fuerza de pequeña magnitud (1 Kg.) tiende a mover la articulación del tobillo en dirección a la **dor-**
siflexión. Esta tendencia que no mueve la articulación del tobillo, se produce por descenso del talón al suelo en el momento de apoyo del talón.

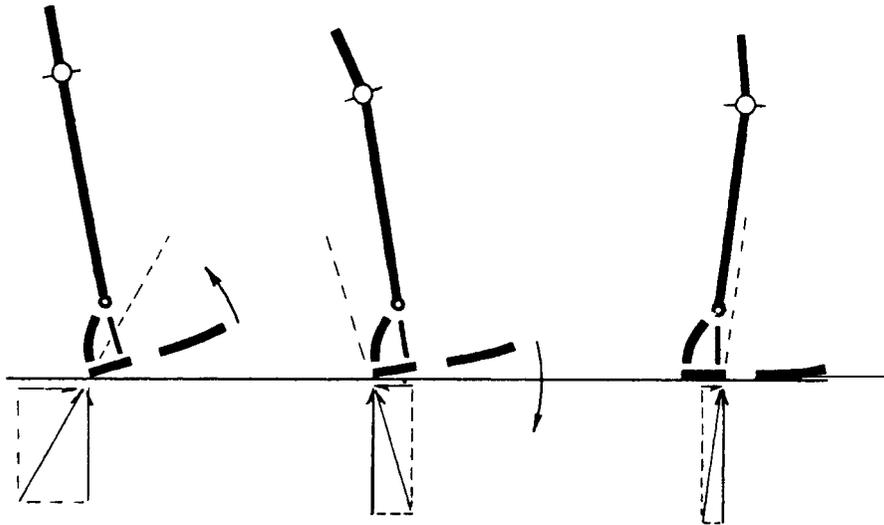


Figura 12

Inmediatamente después del contacto del talón.

A medida que se transmite un mayor peso del cuerpo a la extremidad, el rápido aumento de la fuerza vertical hace que la resultante pase por detrás de la articulación, generando un momento de fuerza en dirección a la flexión plantar.

Poco después de que la planta del pie esté plana en el suelo.

Se ha alcanzado el **máximo** momento de flexión plantar (**aproximadamente 20 ft.-lb.**). Después la **reacción** resultante del suelo se mueve de nuevo hacia delante de la **articulación** del tobillo y crea un momento de fuerza en la dirección de **dorsiflexión**. Este momento corresponde a la fuerza generada al rotar la tibia sobre el pie fijo.

En el apoyo medío.

Ahora el momento de fuerza en **dirección** de dorsiflexión es **aproximadamente 25 ft.-lb.**

b) Fuerzas internas (fig. 13)

En el instante del contacto del talón.

Los tres dorsiflexores primarios del tobillo están **activos**, con el extensor largo de los dedos y el extensor largo del dedo gordo, con mayor **actividad** que el tibial anterior.

A continuación del contacto del talón.

El grupo pre-tibial produce una **contracción excéntrica** para **suministrar suficiente** fuerza para **evitar** que el antepié golpee contra el suelo cuando las fuerzas externas, debido a la gravedad y a la **inercia**, llevan el pie a flexión plantar.

Después de que la planta del pie está plana en el suelo.

La tibia empieza a rotar **hacia adelante** sobre el pie fijo, los **dorsiflexores** están esencialmente **inactivos** y los **músculos** de la pantorrilla (el gastronemio, soleo, tibial posterior, flexor largo de los **de-**

dos y **peroneo** lateral largo) demuestran un aumento gradual de su actividad. Para la mayor parte de ellos su actividad continúa aumentando por encima del punto de apoyo medio y sirve para controlar la velocidad con que la tibia rota sobre el pie fijo.

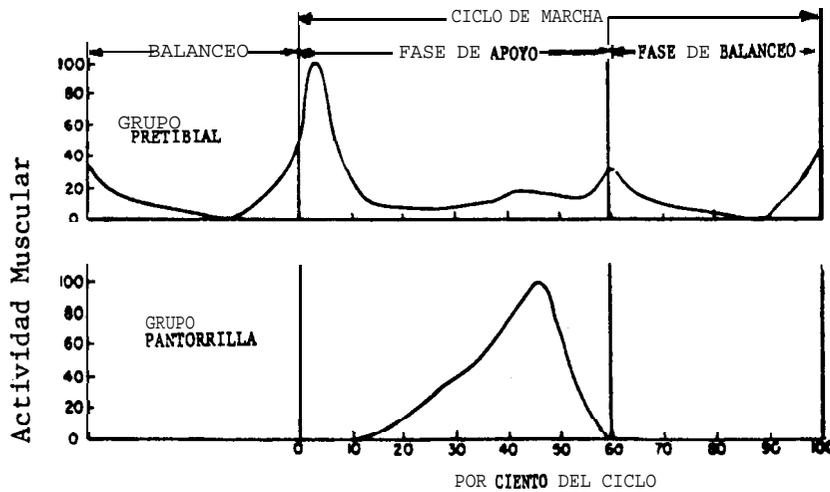


Figura 13

B. Rodilla

1. Análisis cinemático (fig. 14)

Inmediatamente antes de que el talón **contacte** con el suelo.

Simultáneamente con el contacto del talón.

Inmediatamente después de haber alcanzado la **posición** plana del pie.

La articulación de la rodilla está en extensión completa.

La articulación empieza a flexionar y continúa flexionando hasta que la planta del pie está plana en el suelo.

La rodilla está aproximadamente a 20 grados de flexión y empieza a moverse en **dirección** de extensión.

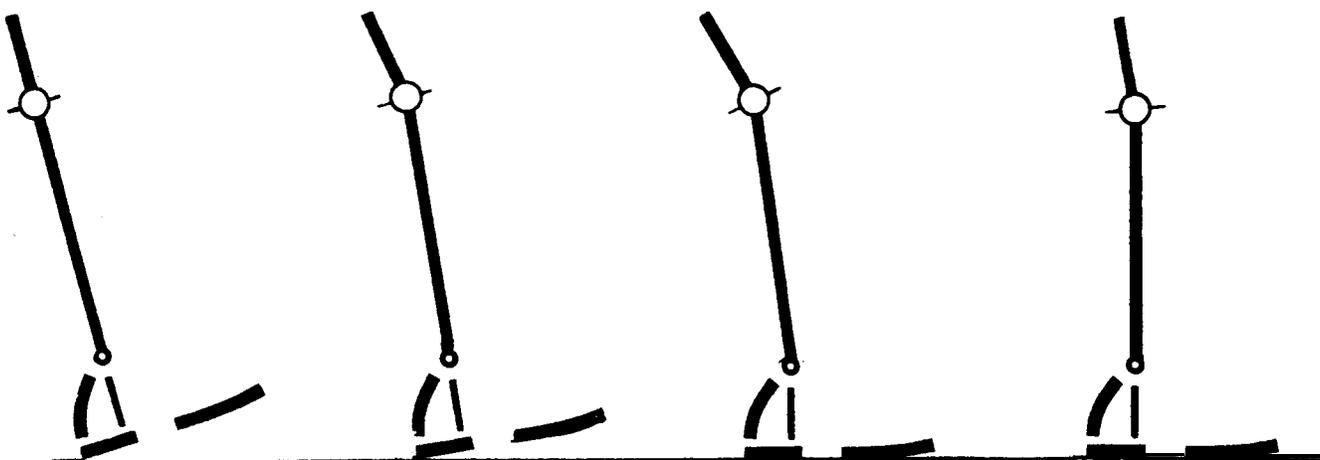


Figura 14

En el apoyo medio.

La rodilla está aproximadamente a 10 grados de flexión y **continúa** moviéndose hacia la extensión.

2. Análisis cinético

a) Fuerzas externas (fig. 15)

Inmediatamente después del contacto del talón.

El talón empieza a empujar hacia adelante contra el suelo. El peso corporal apoyado sobre la pierna empieza a aumentar rápidamente. La resultante de las fuerzas verticales y anteriores pasa por detrás de la rodilla, produciendo un momento de flexión de, aproximadamente, 10 ft.-lb.

Entre el pie apoyado **completamente** y el apoyo medio.

La magnitud de este momento **mecánico** que flexiona la rodilla alcanza un valor máximo de, aproximadamente, 30 ft.-lb.

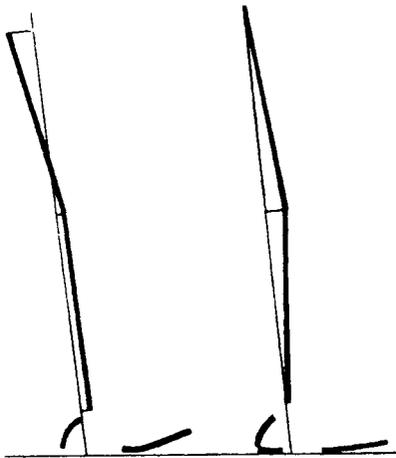


Figura 15

b) Fuerzas internas (fig. 16)

Al contacto del **talón**.

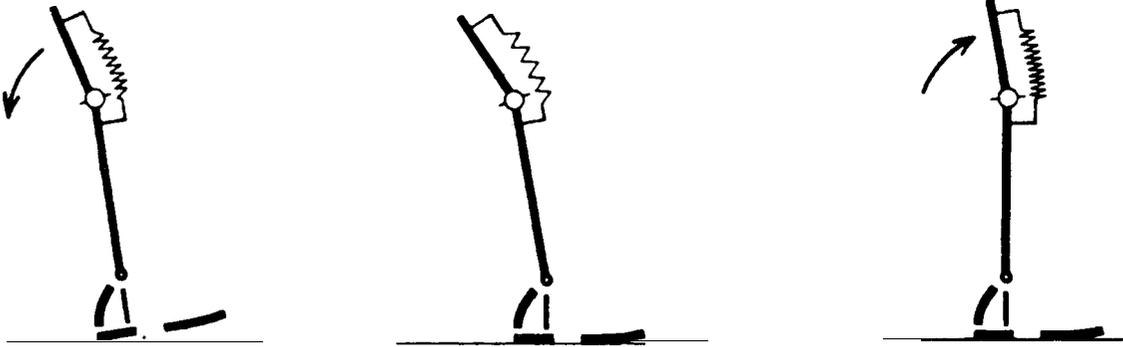
Inmediatamente después **que** el pie está plano en el **sue**lo.

Entre el pie plano en el suelo y el apoyo medio.

El cuádriceps se va alargando por una **contracción excéntrica** para controlar la **articulación** de la rodilla, conforme se mueve de una **extensión completa** a una **posición** de 15 ó 20 grados de flexión.

La naturaleza de la actividad del cuádriceps cambia de una **contracción excéntrica** (alargamiento) a una **contracción concéntrica** (acortamiento).

El cuádriceps **actúa** extendiendo el muslo en la pierna, la rodilla flexionada se mueve en la **dirección** de la **extensión**, como resultado de una **contracción concéntrica** del cuádriceps y de una **aceleración** hacia delante del centro de gravedad, producido por el despegue del miembro opuesto.



Contracción **excéntrica** justo después del contacto del talón (Alargamiento).

Contracción **concéntrica** inmediatamente después del pie plano sobre el suelo (Acortamiento).

El **cuádriceps** es **esencialmente** inactivo en la fase media de apoyo.

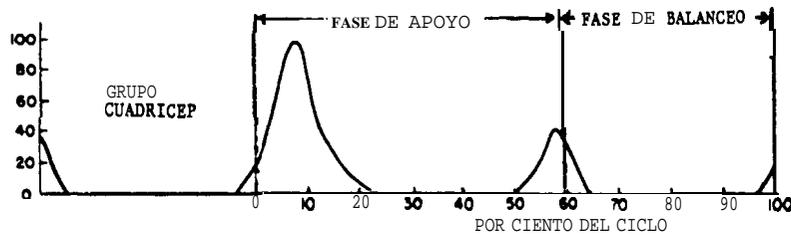


Figura 16

C. Cadera

1. Análisis cinemático (fig. 17)

Al contacto del talón.

La cadera está aproximadamente a 30 grados de flexión.

Inmediatamente después del contacto del talón.

La articulación de la cadera empieza a moverse en extensión.

En la posición del pie plano en el suelo.

El ángulo de flexión ha disminuido alrededor de 20 grados.

Entre el pie plano y el apoyo medio.

La articulación de la cadera se mueve de, aproximadamente 20 grados de flexión, a posición neutral.

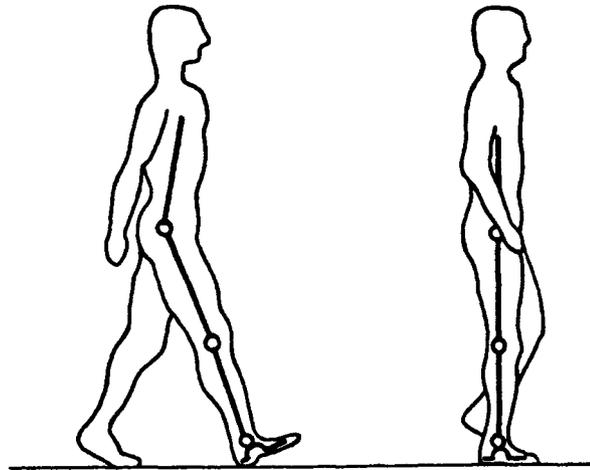


Figura 17

2. Análisis cinético

a) Fuerzas externas (fig. 18)

Al contacto del **talón**.

Las fuerzas externas generadas mueven la cadera en flexión.

Inmediatamente después que el pie está plano en el **suelo**.

Actúa un momento de fuerza en la articulación, en **dirección** de flexión.

Cuando se alcanza el apoyo medio.

La resultante de la **reacción** del suelo pasa por detrás del centro de la cadera y la fuerza **mecánica** actúa extendiendo la rodilla.

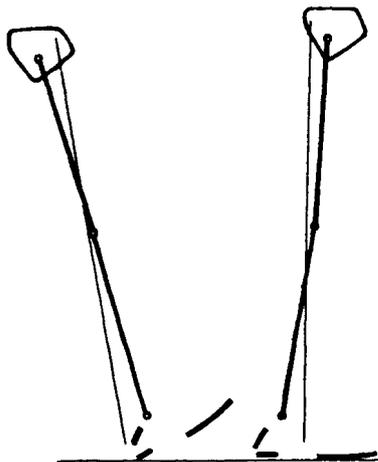


Figura 18

b) Fuerzas internas (fig. 19)

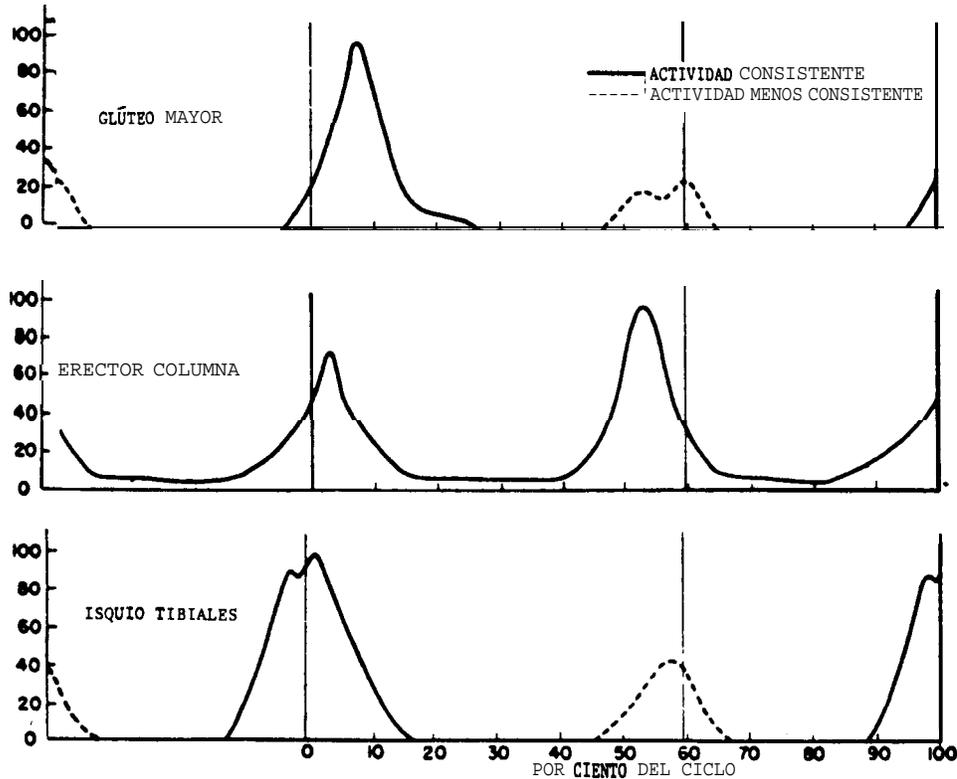


Figura 19

La acción del glúteo mayor y de los isquio-tibiales resisten el movimiento de fuerzas que tiende a flexionar la cadera después del contacto del talón. Los erectores de la columna también están activos para resistir la tendencia del tronco hacia una flexión hacia adelante.

II. Movimiento en el plano sagital entre apoyo medio y despegue del pie

A. Tobillo

1. Análisis cinemático (fig. 20)

En el apoyo medio.

La dorsiflexión aumenta rápidamente desde una posición de unos 5 grados de dorsiflexión en el apoyo medio.

Al despegue del talón cuando el tacón del zapato deja el suelo.

La articulación del tobillo está aproximadamente en 15 grados de dorsiflexión.

En el intervalo de elevación del talón y el despegue del pie.

La relación angular entre la tibia y el pie son casi completamente opuestas. De 15 grados de dorsiflexión al despegue del talón, el tobillo se mueve hasta unos 35 grados, con lo que al despegue del pie la articulación está en unos 20 grados de flexión plantar.

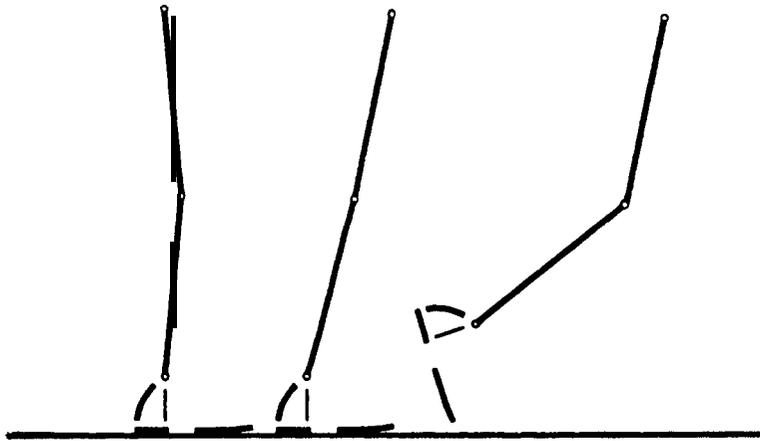


Figura 20

2. Análisis cinético

a) Fuerzas externas (fig. 21)

Después del apoyo medio.

La pierna continúa rotando hacia adelante sobre el pie fijo. Como la pierna rota hacia adelante, el momento de fuerza, actuando en una dirección de dorsiflexión, aumenta considerablemente debido a la mudanza hacia adelante del punto de apoyo entre el pie y el suelo, conforme el talón se eleva. Ello aumenta la distancia perpendicular entre la articulación del tobillo y la fuerza resultante de reacción del suelo.

En el momento del despegue del talón.

Se alcanza el máximo momento de dorsiflexión.

En el despegue de los dedos.

El momento de dorsiflexión cae bruscamente a cero.

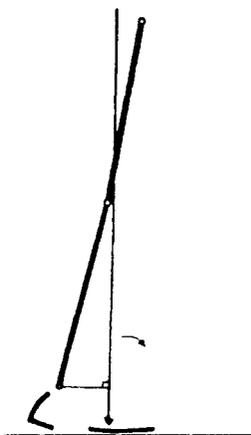


Figura 21

b) Fuerzas internas (fig. 22)

El momento de fuerza mecánica que se genera, tratando de dorsiflexionar el tobillo, encuentra resistencia desde el apoyo medio hacia adelante, por una **contracción excéntrica** de los músculos de la pantorrilla. Casi al mismo tiempo que se desarrolla la máxima **reacción en dirección** a la dorsiflexión, los flexores plantares del tobillo presentan su máxima actividad eléctrica. Esta máxima actividad muscular, salvando el momento de dorsiflexión, constituye el despegue del pie. Esto es una respuesta secuencial de los flexores plantares durante el despegue del suelo. Los músculos que se insertan en la parte posterior del pie muestran un aumento de la actividad eléctrica antes que los músculos que se insertan en la parte anterior del pie. Para cuando se despegan los dedos, los flexores plantares se inactivan.

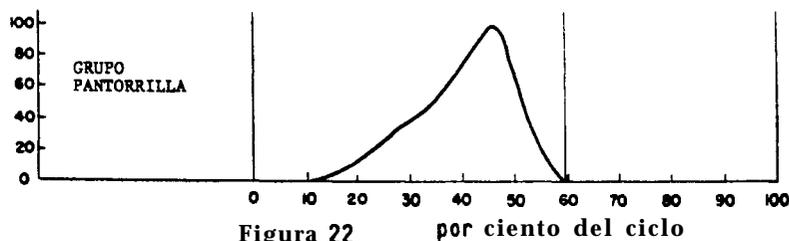


Figura 22

B. Rodilla

1. Análisis cinemático (fig. 23)

En el apoyo medio.

La articulación de la rodilla está en unos 10 grados de flexión, moviéndose hacia la extensión.

Inmediatamente antes de que el talón pierda contacto con el suelo.

La rodilla tiene 4 grados de extensión completa.

Entre el despegue del talón y el de los dedos.

La articulación de la rodilla se mueve de casi una completa extensión a unos 40 grados de flexión.

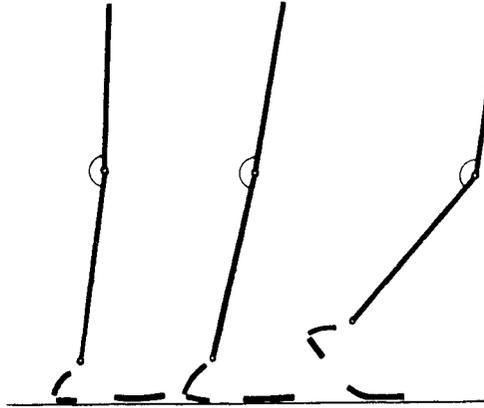


Figura 23

2. Análisis cinético

a) Fuerzas externas (fig. 24)

En el apoyo medio.

La resultante de las fuerzas de reacción del suelo, pasan detrás de la articulación de la rodilla y generan un momento de flexión.

Entre el apoyo medio y el despegue del talón.

Como el cuerpo se mueve hacia adelante sobre la pierna en que se apoya, la fuerza resultante también se mueve hacia adelante, reduciendo la magnitud del momento de flexión.

En el despegue del talón.

La fuerza resultante continúa moviéndose hacia delante de la articulación de la rodilla y actúa extendiéndola. La máxima actividad de los flexores plantares del tobillo ocurre en el momento en que la fuerza resultante pasa por delante de la articulación de la rodilla.

Después del despegue del talón.

La resultante de la reacción del suelo, una vez más, pasa por detrás de la rodilla, tendiendo a flexionarla de nuevo.

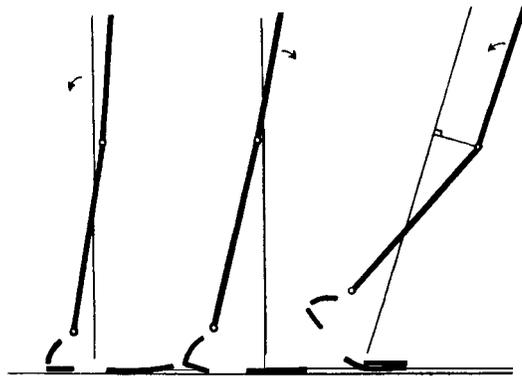


Figura 24

Durante el despegue del suelo, el punto de reacción entre el pie y el suelo pasa enfrente de las articulaciones metatarso-falángicas. En el momento en que la reacción del suelo pasa enfrente de las articulaciones metatarsofalángicas la rodilla empieza a flexionarse y las fuerzas resultantes pasan de nuevo detrás de la articulación de la rodilla. La magnitud del momento de flexión actuando en la rodilla, continúa aumentando hasta alcanzar el apoyo doble y el peso del cuerpo empieza a desplazarse a la extremidad opuesta, reduciendo el momento de flexión de la rodilla.

b) Fuerzas internas

Cuando la reacción del suelo pasa por delante de la rodilla, como se indica en la parte izquierda de la figura 25, se genera un momento de fuerza en extensión y no se necesita ninguna reacción de **los músculos** extensores de la rodilla para controlar su estabilidad. El gastronemio, además de su acción en el tobillo, probablemente ayuda a evitar la hiperextensión de la rodilla. Entre la **elevación** del talón y el despegue del pie la reacción del suelo produce un momento de flexión en la rodilla. La acción del **cuádriceps** hacia el final de la fase de apoyo ayuda a controlar la potencia y cantidad de flexión de la rodilla.

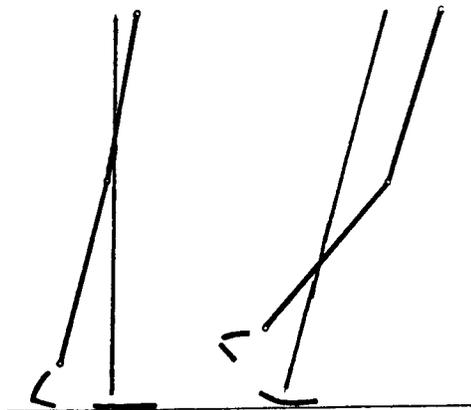


Figura 25

C. Cadera

1. Análisis cinemático (fig. 26)

Apoyo medio.

Desde una **posición** de 0 grados en el apoyo medio, la cadera **continúa** moviéndose hacia la extensión.

Cuando el talón deja el **sue**
lo.

La cadera está en una actitud de 10 a 15 grados de hiperextensión.

Inmediatamente después del despegue del talón.

La cadera alcanza un máximo de **hi**-
perextensión de unos 20 grados.

Cuando los dedos despegan del suelo.

La cadera está cerca de una **posición** neutral y se mueve en **dirección** de flexión.

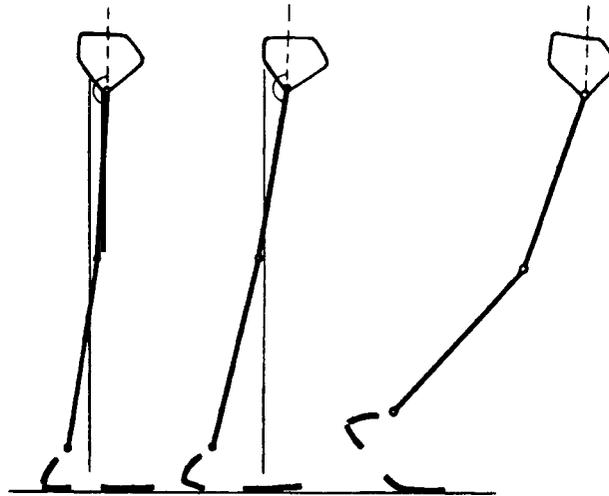


Figura 26

2. Análisis cinético

a) Fuerzas externas (fig. 27)

En el apoyo medio, la resultante de las fuerzas de **reacción** del suelo pasa por detrás de la **articulación** de la cadera, produciendo un momento de **extensión**. La magnitud de este momento de **extensión** **continúa** aumentando hasta que se llega a la fase de doble apoyo

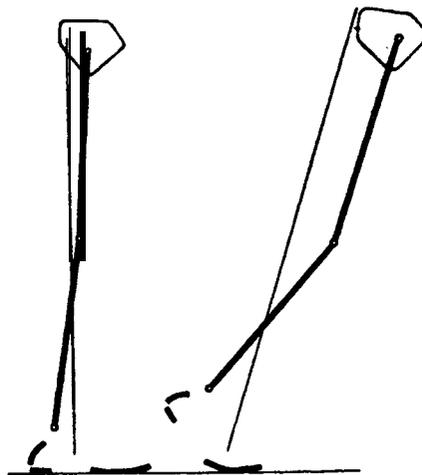


Figura 27

y el peso del cuerpo es trasladado, **al menos parcialmente, a la** extremidad opuesta. Inmediatamente antes del doble apoyo, la magnitud del momento de extensión actuando sobre la cadera de la extremidad que soporta el cuerpo alcanza su máximo, y entonces disminuye rápidamente, una vez que empieza **la** fase de doble apoyo.

b) Fuerzas internas

El iliopsoas y el aductor largo generan un momento de fuerza de flexión en la cadera durante el intervalo de despegue. Esta acción resiste la tendencia del movimiento hacia delante del cuerpo para hiperextender la cadera y produce flexión de la misma. El movimiento hacia delante del fémur inicia la flexión de la rodilla, mientras que la rodilla es llevada hacia adelante y el pie **está** todavía en contacto con el suelo.

III. Movimiento en el plano sagital durante la fase de **balanceo** (fig. 28)

A. Tobillo

Entre la **elevación** del pie y el punto medio del balanceo, el pie se mueve de una posición inicial de flexión plantar al desprenderse del suelo a una posición esencialmente neutral, que se mantiene por el resto de la fase de balanceo. La causa del movimiento inicial de la posición neutral del pie es por acción de los **músculos tibiales** anteriores.

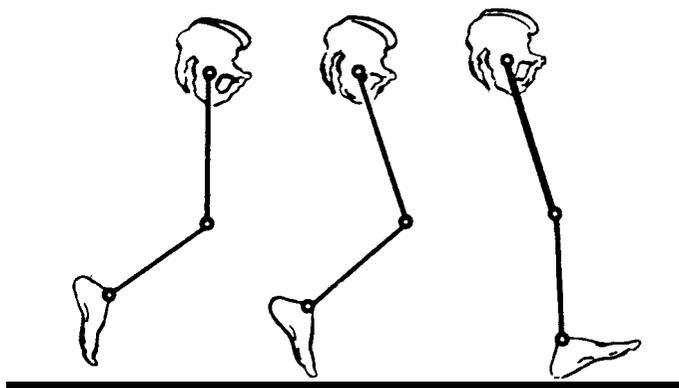


Figura 28

B. Rodilla

Entre el despegue del pie y la parte media del balanceo.

La rodilla se flexiona de una **posición** inicial aproximada de 40 grados a un ángulo de máxima **flexión**, de aproximadamente 65 grados. La acción del **cuádriceps** ayuda a prevenir una **elevación** excesiva del **tacón** y también contribuye a una **aceleración** hacia delante de la pierna.

Entre la fase media de balanceo y el contacto del talón.

La rodilla se extiende hasta la extensión completa en el último instante de la fase de balanceo. La acción de los músculos **isquio-tibiales** durante la última parte de este intervalo, ayuda a **desacelerar** el balanceo de la pierna hacia adelante y ayuda a controlar la posición del pie, conforme se acerca al suelo.

C. Cadera

Entre el despegue del pie y la fase media de balanceo.

La **articulación** de la cadera, partiendo de una posición neutral, flexiona aproximadamente 30 grados, al alcanzar la fase media de balanceo. Los músculos flexores de la cadera están activos durante la **iniciación** de ese intervalo.

Entre la fase media de balanceo y el contacto del talón.

El ángulo de la cadera no cambia mucho. Durante la **última** parte de este intervalo, los músculos extensores de la cadera (principalmente los isquio-tibiales) están activos para controlar el movimiento de la extremidad hacia adelante.

IV. Movimiento en el plano frontal

Los movimientos angulares de la pierna, vistos en el plano frontal, son mucho más pequeños que los observados en el plano sagital.

Al contacto del talón, el pie está en ligera inversión. Inmediatamente después del contacto del talón, la reacción del suelo pasa ligeramente lateral al eje subtalar y el pie rota en ligera eversión cuando la parte anterior del pie **contacta** el suelo. Durante el intervalo de la fase media de apoyo, la parte posterior del pie se mueve desde una posición de 5 grados de eversión a una posición de ligera inversión, que **continúa** durante el despegue del suelo. La inversión de la parte posterior del pie resulta de la acción combinada del **tríceps** sural y la **rotación** externa de la tibia con respecto al pie, durante el intervalo de despegue.

El movimiento de la rodilla en el plano frontal es mínimo durante la fase de apoyo. Hay cierta tendencia hacia una ligera **abducción** de la tibia al contacto del talón, pero inmediatamente después la reacción del suelo tiende a producir **adducción** de la tibia.

Durante la primera parte de la fase de apoyo, la pelvis cae unos 5 grados de la horizontal en el lado opuesto, conforme esta pierna empieza su fase de balanceo (fig. 29).

La **caída** de la pelvis está limitada por la acción de los **músculos** abductores de la cadera de la pierna en fase de apoyo (fig. 30).

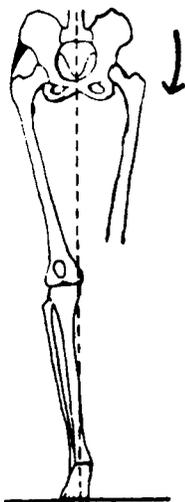


figura 29

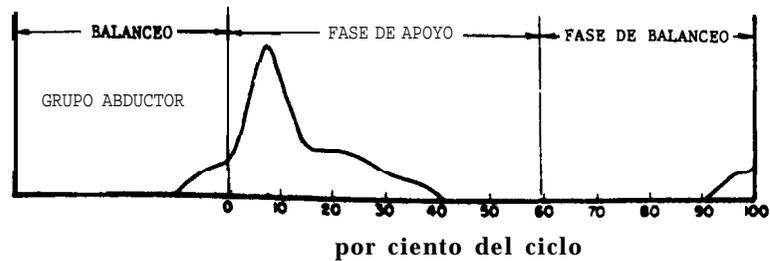


Figura 30