
CAPÍTULO TRES:

BIOMECÁNICA DE LA MARCHA HUMANA

Ya se habló en el capítulo anterior de los diferentes músculos, tendones y articulaciones que conforman la pierna humana. También se mencionaron sus diferentes rangos de movimiento en el espacio. Ahora es importante saber cómo se comporta la pierna en conjunto con cada una de estas características durante la marcha humana normal y así poder construir un prototipo que sea capaz de comportarse de la misma forma. Para esto se necesita estudiar la biomecánica de la marcha humana que describe el comportamiento de los diferentes elementos que conforman la pierna humana en conjunto durante la marcha normal.

3.1 El Ciclo de la Marcha

En su libro *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*, el Dr. Pedro Vera Luna del Instituto de Biomecánica de Valencia describe la locomoción humana normal como “*una serie de movimientos alternantes, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad*” [5].

En su estudio, el ciclo de la marcha comienza cuando un pie hace contacto con el suelo y termina con el siguiente contacto del mismo pie; a la distancia entre estos dos puntos de contacto con el suelo se le llama un paso completo.

También divide al ciclo de la marcha en dos principales componentes: la fase de apoyo y la fase de balanceo (figura 3.1). Una pierna está en fase de apoyo cuando está en contacto con el suelo y después está en fase de balanceo cuando no contacta con el suelo.

Estas dos fases se van alternando de una pierna a la otra durante la marcha. En un paso completo, el apoyo sencillo se refiere al periodo cuando sólo una pierna está en contacto con el suelo.

El periodo de doble apoyo ocurre cuando ambos pies están en contacto con el suelo simultáneamente. La diferencia entre correr y caminar es la ausencia de un periodo de doble apoyo.

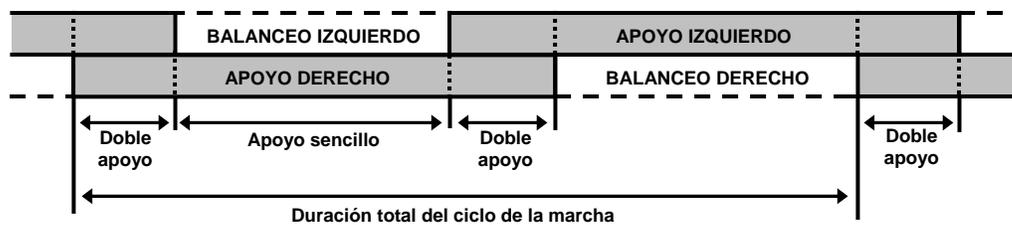


FIGURA 3.1- Representación de las principales componentes de la marcha. [5]

Para facilitar el estudio de la marcha humana, el libro divide la fase de apoyo y la fase de balanceo en grupos de intervalos [5].

La fase de apoyo está dividida en cinco intervalos:

- Contacto del talón.- Instante en que el talón toca el suelo.
- Apoyo plantar.- Contacto de la parte anterior del pie con el suelo.
- Apoyo medio.- Momento en que el trocánter mayor se encuentra alineado verticalmente con el centro del pie, visto desde el plano sagital.
- Elevación del talón.- Instante en el que el talón se eleva del suelo.
- Despegue del pie.- Momento en el que los dedos se elevan del suelo.

La fase de balanceo se divide en tres intervalos:

- Aceleración.- Se caracteriza por la rápida aceleración del extremo de la pierna inmediatamente después que los dedos dejan el suelo.
- Balanceo medio.- La pierna en movimiento rebasa a la pierna de apoyo como un péndulo.
- Desaceleración.- La pierna desacelera al acercarse al final del intervalo.

Para este proyecto es importante saber el tiempo que toman cada una de las fases del ciclo de la marcha, de esta manera se tiene una idea general para corroborar con el prototipo. La cantidad relativa de tiempo gastado durante cada fase del ciclo de la marcha según el Instituto de Biomecánica de Valencia, a una velocidad normal de 100 a 115 pasos por minuto es (figura 3.2):

- Fase de apoyo: 60% del ciclo
- Fase de balanceo: 40% del ciclo
- Doble apoyo: 20% del ciclo

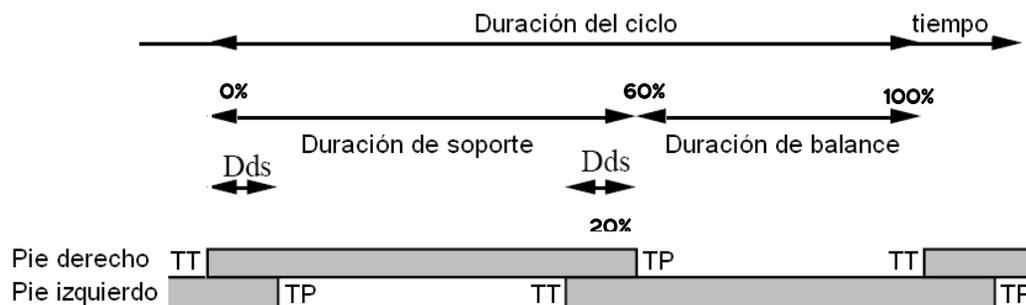


FIGURA 3.2- Estructura Temporal del Ciclo de la Marcha Humana. Dds.- Doble duración de soporte. TT.- Toque de talón. TP.- Toque de punta. [5]

3.2 Análisis Cinemático de la Marcha Humana en el Plano Sagital

Se pretende que el prototipo de prótesis de pierna humana sea capaz de recrear todos los movimientos generados en la marcha humana normal. Para esto es necesario conocer a fondo qué es lo que pasa con cada uno de los segmentos de la pierna al caminar.

En su libro *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*, el Dr. Pedro Vera Luna presenta un análisis cinemático muy completo de la marcha humana normal. “El análisis cinemático describe los movimientos del cuerpo en conjunto y los movimientos relativos de las partes del cuerpo durante las diferentes fases de la marcha.”.

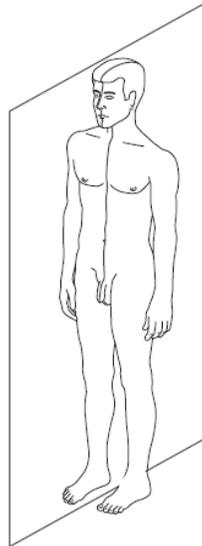


FIGURA 3.3- Plano sagital del cuerpo humano. [4]

El análisis está dividido en tres intervalos, en los cuales se describe como actúan el tobillo, rodilla y cadera en el plano sagital (figura 3.3) para cada una de las fases.

- Intervalo I.-

Movimiento de las articulaciones en el plano sagital entre el contacto del talón con el suelo y el punto de apoyo medio.

A. El Tobillo

Momento de contacto del talón con el suelo.	La articulación del tobillo está en posición neutra (0°). Justo entre la dorsiflexión y la flexión plantar.
Simultáneamente con el contacto del talón.	La articulación del tobillo empieza a moverse en dirección de la flexión plantar.
Momento en que la planta del pie hace contacto con el suelo.	La articulación del tobillo se mueve 15° de la posición neutra a la flexión plantar.
En la fase media.	La articulación del tobillo pasa rápidamente a aproximadamente 5° de dorsiflexión.

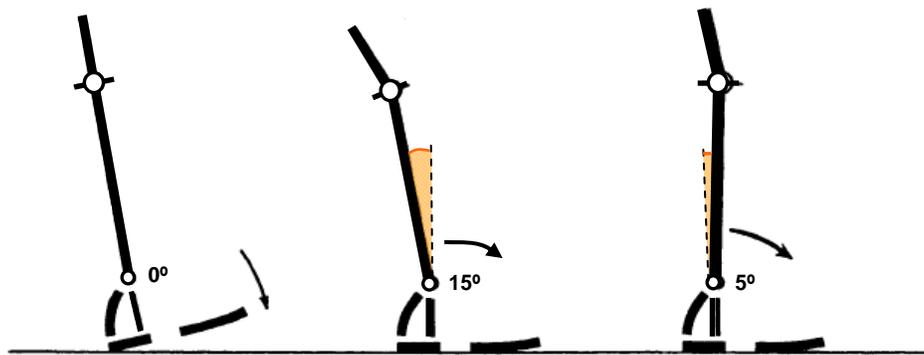


FIGURA 3.4- Estudio cinemático del tobillo en el Intervalo I de la marcha. [5]

B. La Rodilla

Inmediatamente antes del contacto del talón con el suelo.	La articulación de la rodilla se encuentra en completa extensión.
Simultáneamente con el contacto del talón con el suelo.	La articulación de la rodilla comienza a flexionarse y continúa hasta que la planta del pie esté plana en el suelo.
Inmediatamente después de haber alcanzado la posición plana del pie.	La rodilla tiene aproximadamente un ángulo de 20° de flexión y comienza a extenderse.
En el apoyo medio.	La rodilla tiene aproximadamente un ángulo de 10° de flexión y continúa extendiéndose.

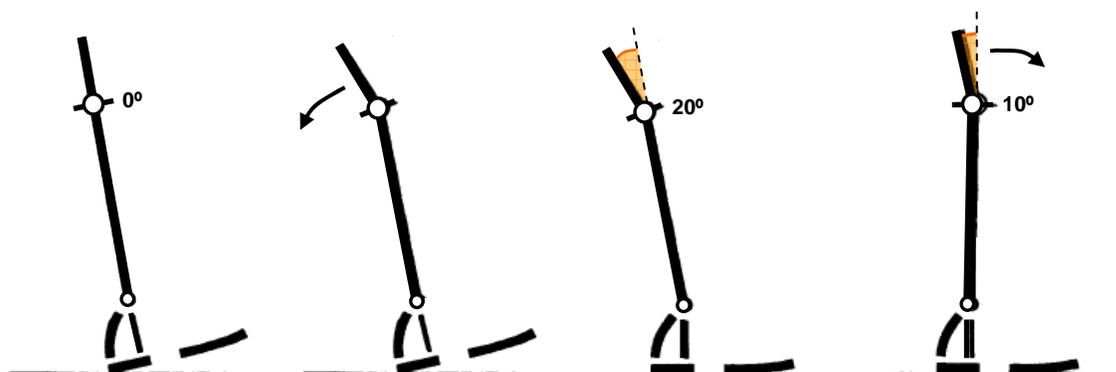


FIGURA 3.5- Estudio cinemático de la rodilla en el Intervalo I de la marcha. [5]

C. La Cadera

Simultáneamente con el contacto del talón con el suelo.	La cadera está aproximadamente a 30° de flexión.
Inmediatamente después del contacto del talón con el suelo.	La articulación de la cadera comienza a extenderse.
En la posición del pie plano en el suelo.	El ángulo de flexión disminuye alrededor de 20°.
Entre el pie plano y el apoyo medio.	La articulación de la cadera se mueve a su posición neutral (0°).

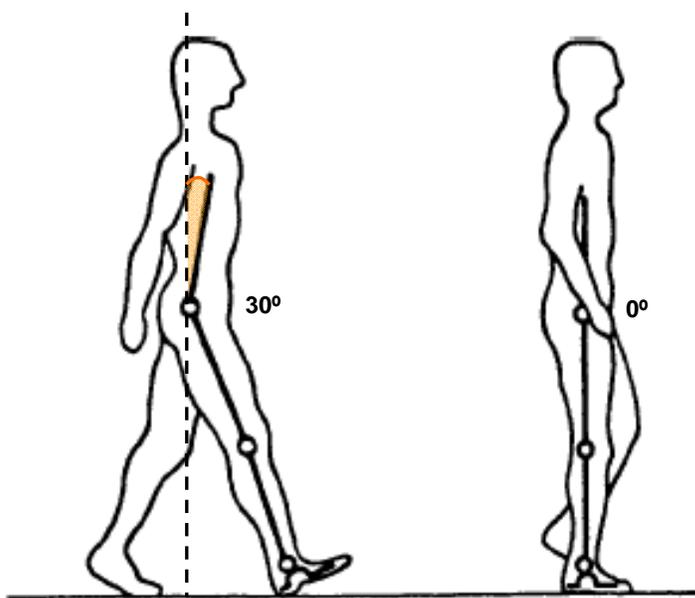


FIGURA 3.6- Estudio cinemático de la cadera en el Intervalo I de la marcha. [5]

- Intervalo II.-

Movimiento de las articulaciones en el plano sagital entre el apoyo medio y despegue del pie del suelo.

A. El Tobillo

En el apoyo medio	La articulación del tobillo pasa rápidamente a aproximadamente 5° de dorsiflexión.
En el momento que el talón se despega del suelo.	La articulación del tobillo está aproximadamente a 15° de dorsiflexión.
En el intervalo de elevación del talón y el despegue del pie.	El tobillo se mueve rápidamente 35°, con lo que al despegar el pie del suelo la articulación está aproximadamente en 20° de flexión plantar.

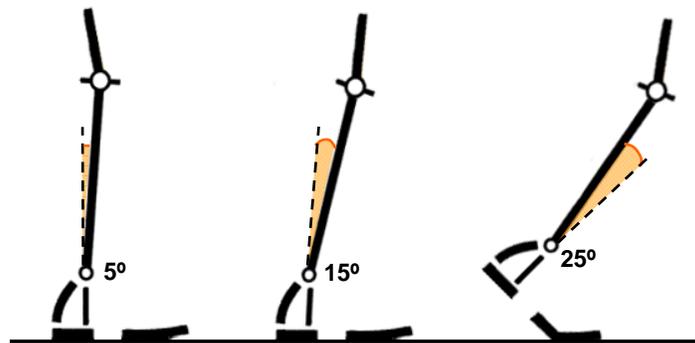


FIGURA 3.7- Estudio cinemático del tobillo en el Intervalo II de la marcha. [5]

B. La Rodilla

En el apoyo medio.	La rodilla tiene aproximadamente un ángulo de 10° de flexión y continúa extendiéndose.
Inmediatamente antes de que el talón pierda contacto con el suelo.	La rodilla esta a 4° de la extensión completa.
Entre el despegue del talón y el de los dedos.	La articulación de la rodilla se mueve de una extensión casi completa a 40° de flexión.

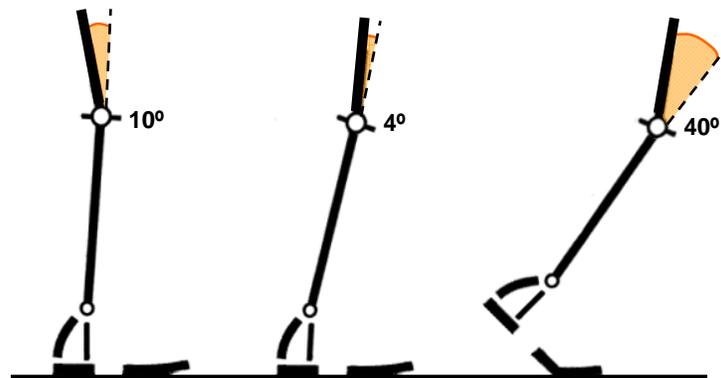


FIGURA 3.8- Estudio cinemático de la rodilla en el Intervalo II de la marcha. [5]

C. La Cadera

En el apoyo medio.	La articulación de la cadera se encuentra en posición neutra (0°) y comienza a moverse hacia la extensión.
Inmediatamente después del despegue del talón.	La cadera alcanza un máximo de hiperextensión de 20° .
En el momento de despegue de los dedos del suelo.	La cadera está cerca de una posición neutral y se mueve en dirección de la flexión.

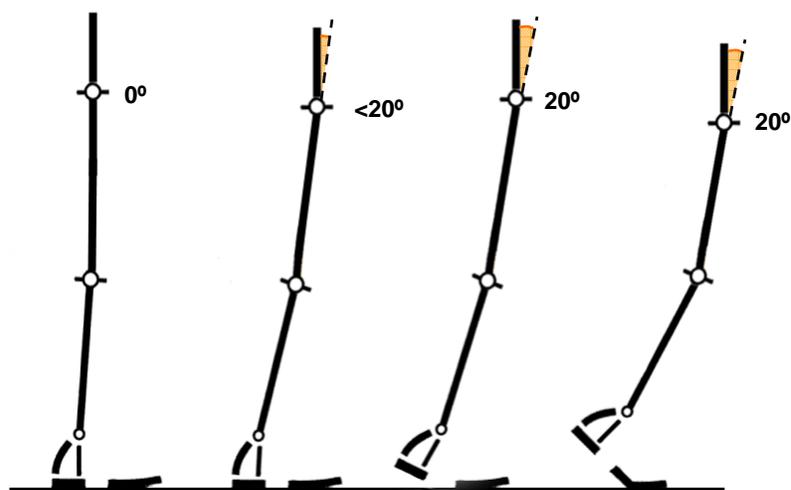


FIGURA 3.9- Estudio cinemático de la cadera en el Intervalo II de la marcha. [5]

- Intervalo III.-

Describe el movimiento de las articulaciones en el plano sagital en la etapa de balanceo.

A. El Tobillo

Durante la etapa de balanceo.	El pie se mueve de su posición inicial de flexión plantar al desprenderse del suelo a una posición esencialmente neutra (0°) que se mantiene durante toda la etapa de balanceo.
-------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

B. La Rodilla

Entre el despegue del pie y la parte media de la etapa de balanceo.	La rodilla se flexiona de una posición inicial de aproximadamente 40° a un ángulo de máxima flexión de aproximadamente 65°.
Entre la parte media de la etapa de balanceo y el contacto del talón.	La rodilla se extiende casi completamente hasta el último instante de la etapa de balanceo.

C. La Cadera

Durante la etapa de balanceo.	Partiendo de una posición neutral, la articulación de la cadera se flexiona aproximadamente 30° y se mantiene en esa posición.
-------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

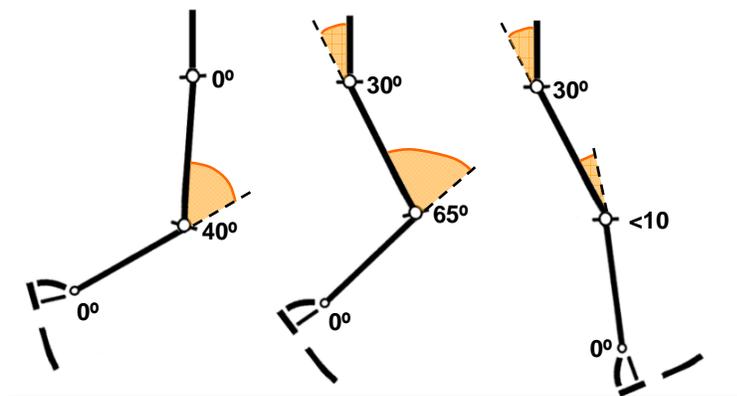


FIGURA 3.10- Estudio cinemático de las articulaciones en el Intervalo III de la marcha. [5]

3.3 Resumen

En este capítulo se habla sobre la biomecánica de la marcha humana. Se hizo énfasis en el análisis del ciclo de la marcha visto desde el plano sagital ya que el prototipo a construirse únicamente se podrá desplazar en este mismo plano. En el análisis se incluyen los diferentes ángulos que se van formando a lo largo de la marcha entre los segmentos de la pierna, esto nos proporciona datos muy importantes para utilizar más adelante en la programación del control del prototipo para generar un ciclo de marcha similar al de la pierna real.

Los productores de prótesis a lo largo del tiempo han hecho ya extensos estudios sobre la biomecánica de la marcha humana para poder fabricar prótesis cada vez más funcionales, por esto en el siguiente capítulo se estudiarán las diferentes prótesis existentes en el mercado. Así se tendrá una referencia de las características que debe tener el prototipo en cuanto a movimiento y se compararán las ventajas y desventajas que tendrá con respecto a estas prótesis.