

Examen de la marcha

Javier Daza Lesmes

La marcha, definida como el paso bípedo que utiliza la raza humana para desplazarse de un lugar a otro, con bajo esfuerzo y mínimo consumo energético, constituye un elemento característico que identifica a todo sujeto, pues permite revelar aspectos individuales de la personalidad, la autoestima, la condición de salud y las situaciones emocionales de cada persona. Requiere la integración compleja de diversos sistemas y compromete varios segmentos corporales. En consecuencia, las particularidades de la marcha de todo individuo, están influenciadas por la postura y la posibilidad de movimiento que ofrezca el sistema osteomuscular y las relaciones funcionales de los demás sistemas corporales. El estudio de la mecánica, su exploración y análisis, las limitaciones de la marcha según su origen y la interacción terapéutica han sido siempre temas de discusión e investigación de muchos investigadores en el mundo. La exploración de la marcha dentro del proceso de evaluación del movimiento corporal humano para determinar la condición de funcionamiento y discapacidad de un individuo, constituye una herramienta fundamental que revela las posibilidades motoras, la capacidad para llevar a cabo diferentes actividades cotidianas y, sobre todo, el nivel de interacción social dentro del marco de los factores contextuales de cada usuario.

Los profesionales del área de la rehabilitación que, dentro de su quehacer deben familiarizarse con el análisis observacional, la reeducación del patrón y el entrenamiento de la marcha como parte integral de la atención clínica, requieren el conocimiento y el dominio de la terminología y los principios mecánicos básicos de la marcha normal, para comprender y diferenciar mejor las limitaciones y las compensaciones de la marcha. Todo esto redundará en la mejoría de la calidad del análisis, el diagnóstico, el desarrollo de planes terapéuticos óptimos y la comunicación interdisciplinaria en beneficio de los usuarios.

A pesar de los adelantos tecnológicos de nuestros días, como los laboratorios de análisis de movimiento dotados con pistas de sistemas multicámara, las plataformas de fuerza, los electromiógrafos, los electrogoniómetros y los programas computarizados que brindan gran precisión para el diagnóstico y el entrenamiento de la marcha, éstos no siempre están a nuestro alcance. Por lo tanto, la adquisición de habilidades y experiencia en el análisis por la observación desde una óptica clínica, constituye una herramienta importante que permite al explorador identificar detalladamente las deficiencias funcionales corporales y las limitaciones específicas en la marcha para que, en una segunda fase de interacción terapéutica, el trabajo sea más fácil, integral y con énfasis en una fase o en un parámetro particular de la marcha.

En el presente capítulo, inicialmente se hace especial énfasis en el desarrollo, la terminología y los principios mecánicos básicos de la marcha normal, con el fin de facilitar la comprensión de la propuesta de exploración. Luego, se mencionan algunas de las limitaciones más frecuentes de la marcha. Este capítulo se aproxima a una propuesta de análisis del movimiento corporal humano, motivo de una próxima publicación.

Consideraciones del desarrollo de la marcha

El recién nacido ya presenta el reflejo primitivo de marcha que dura hasta, los dos primeros meses, aproximadamente, si se le coloca y sostiene en posición bípeda y, además, se inclina su cuerpo hacia adelante, moviliza las extremidades en un in-

tento por caminar. Esto significa que el potencial para la bipedestación y la marcha está presente desde muy temprana edad a nivel cortical y que, a medida que avanza el desarrollo de los sistemas corporales e incrementa las necesidades y las experiencias motoras, da lugar a movimientos voluntarios controlados e integrados como sucede en la marcha, lo cual, conduce a la generación de un patrón característico en cada persona que perdura por un amplio periodo de la vida, si no existen factores que logren alterarlo. Este proceso de consolidación o maduración del patrón de marcha tarda, en promedio, entre seis y ocho años.

Aunque existen diferencias entre diferentes niños, a continuación se describe de manera general el desarrollo de la marcha; inicialmente, el niño recién nacido sólo puede levantar y girar la cabeza por instantes en decúbito ventral; entre los tres y cuatro meses de vida puede levantar y sostener la cabeza y apoyarse sobre los antebrazos por largos periodos. Hacia los seis meses es capaz de sostenerse en decúbito ventral sobre una sola extremidad superior y rotar el tronco para intentar alcanzar un objeto con la otra mano; de esta forma, ya el transfiere peso de una extremidad superior a la otra. Posteriormente, intenta arrastrarse y gatear de tal forma que a los ocho meses transfiere carga en todas las direcciones entre sus cuatro extremidades y logra girar la cabeza con gran facilidad en posición cuadrúpeda; hacia los diez meses de edad, desde esta posición logra extender las rodillas en preparación para la posición bípeda. Una vez logra extender las caderas, rodillas y tronco podrá incorporarse, sosteniéndose de un mueble con ayuda de sus manos. Hacia los once meses logra la posición bípeda desde la posición sedente al inclinar su tronco hacia delante y apoyar sus manos; a los doce meses consigue ponerse de pie desde la posición de semiarrodillado. A los trece meses, camina con amplia base de sustentación y le es posible sostener un objeto con sus dos manos, debido a que no las requiere para conservar el equilibrio.

En síntesis, entre los diez y los dieciocho meses camina solo ya que es capaz de mantenerse erecto por sí mismo en contra de la fuerza de gravedad, inicialmente con los brazos en abducción. Durante este tiempo desarrolla las reacciones de equilibrio y reduce la base de soporte; inicialmente, su marcha es insegura, de pasos cortos y amplia base de sustentación; camina con los hombros abducidos y flexionados; levanta los pies excesivamente, no le es posible trasladar un objeto en las manos dado que las requiere para mantener el equilibrio; a medida que incrementa sus experiencias, desarrolla las reacciones de equilibrio, reduce la base de sustentación, los brazos se mueven rítmicamente a los lados del cuerpo y es capaz de trasladar cosas en sus manos. Su marcha se torna segura y más prolongada, es decir, puede recorrer distancias cada vez más amplias. A los tres años de edad el niño salta con sus dos pies; a los cuatro, puede conservar un apoyo monopodal (pata de gallina); a los siete autodetermina el patrón de marcha; en la edad joven y en la adulta con entrenamiento mejora el equilibrio y la precisión.

El ciclo de la marcha y sus divisiones

Dada la alta complejidad que se presenta para el análisis de la marcha, esta actividad humana se ha descrito generalmente en términos temporales de periodos y fases, para facilitar la descripción y el estudio de los eventos que se derivan en cada uno de ellos. El conocimiento de la terminología básica es ne-

cesaria para comprender y analizar los diferentes movimientos generados durante la marcha e identificar sus posibles limitaciones (1, 2, 3, 4).

La marcha, como actividad rítmica y cíclica que compromete todo el cuerpo y, en especial las dos extremidades inferiores, comprende un inicio y un final para cada ciclo. En este sentido, un ciclo de marcha se define como el periodo en el que se presentan acciones sucesivas, alternas y uniformes; se inicia en un evento específico hasta que se repite en el pie ipsilateral generalmente, se utiliza el contacto inicial para su descripción de inicio y culminación. Por ejemplo, el ciclo de marcha derecho es el tiempo que transcurre entre el contacto inicial del pie derecho y el siguiente contacto inicial del mismo pie. Tradicionalmente, el ciclo de marcha se ha dividido en dos periodos, de soporte y de balanceo; el primero se refiere al tiempo que transcurre mientras que el pie permanece en contacto con el piso, permite que la carga o el peso del cuerpo se transfiera de una extremidad a la otra y se avance sobre el pie de soporte; en condiciones normales constituye cerca del 62% del ciclo total. El segundo es el tiempo durante el cual la extremidad inferior permanece en el aire y avanza hacia adelante, el pie pierde contacto con el piso y se presenta una serie de mecanismos para ajustar la longitud de la extremidad inferior que avanza; representa el 38% restante del ciclo (tabla 11-1).

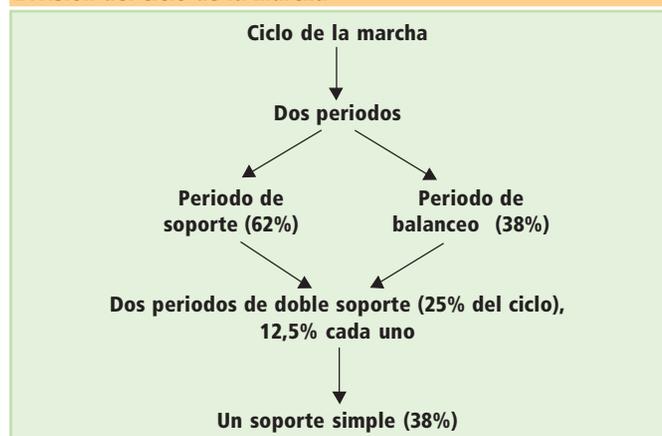
Es fácil identificar que, por instantes, los dos pies se encuentran en contacto con el piso; este evento se denomina periodo de doble soporte y se presenta en dos ocasiones durante el ciclo de la marcha, al iniciar y al culminar la fase de soporte. Constituye el 25% del ciclo, es decir que cada periodo de doble soporte representa el 12,5% (figura 11-1). En una inspección rápida y poco detallada, podría decirse que aparecen tres dobles soportes durante el ciclo de marcha, pero ese tercero constituye el primer doble soporte del siguiente ciclo. El doble soporte es inversamente proporcional a la velocidad de la marcha; esto significa que, cuando se aumenta la velocidad, los periodos de doble soporte se reducen de tal forma que durante la carrera llega a desaparecer el doble soporte.

Fases del ciclo de la marcha durante el periodo de soporte

El ciclo de la marcha se describe en términos de ocho fases, en el cual el periodo de soporte, comprende cinco fases y el balanceo, las tres restantes (3, 4, 5). Entre las fases del periodo

TABLA 11-1

División del ciclo de la marcha



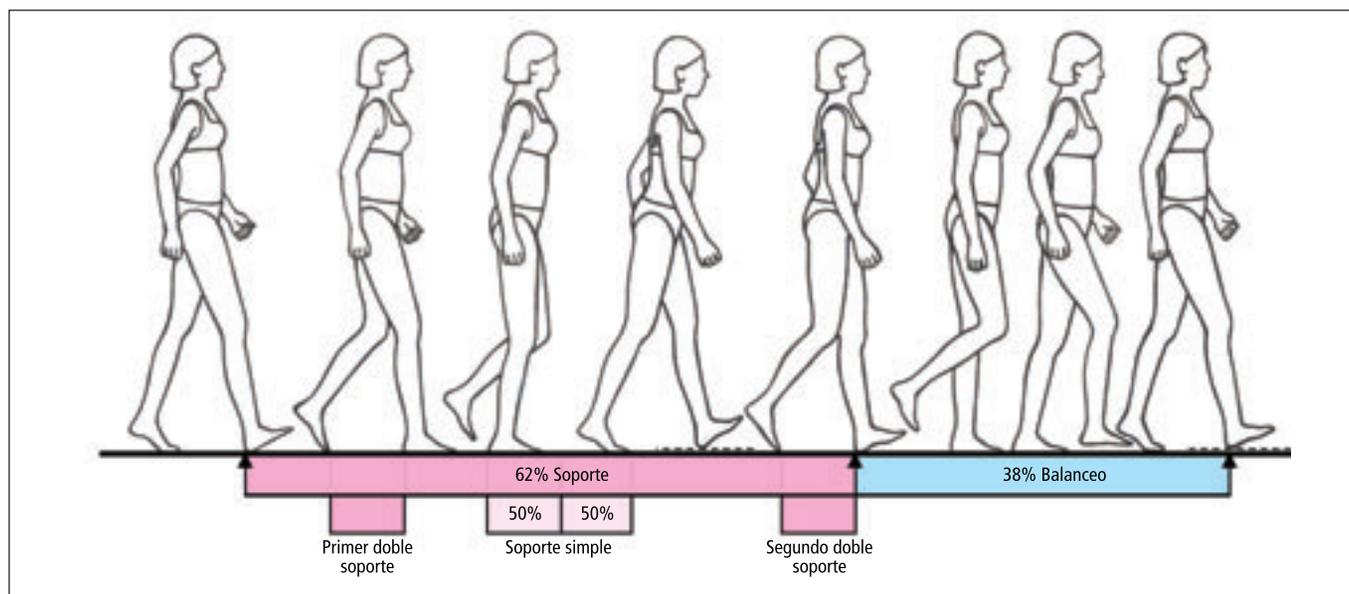


Figura 11-1 El ciclo de la marcha está compuesto por el periodo de soporte (62%) y el de balanceo (38%), con dos periodos de doble soporte que corresponden al 25% del ciclo. Del mismo modo, durante el ciclo de marcha es evidente la presencia de un periodo de soporte simple; corresponde al tiempo en el que un solo pie está en contacto con el piso y es el equivalente, al periodo de balanceo de la extremidad contralateral. En consecuencia, el periodo de soporte simple representa el 38% del ciclo de la marcha y del periodo de soporte de la extremidad en análisis.

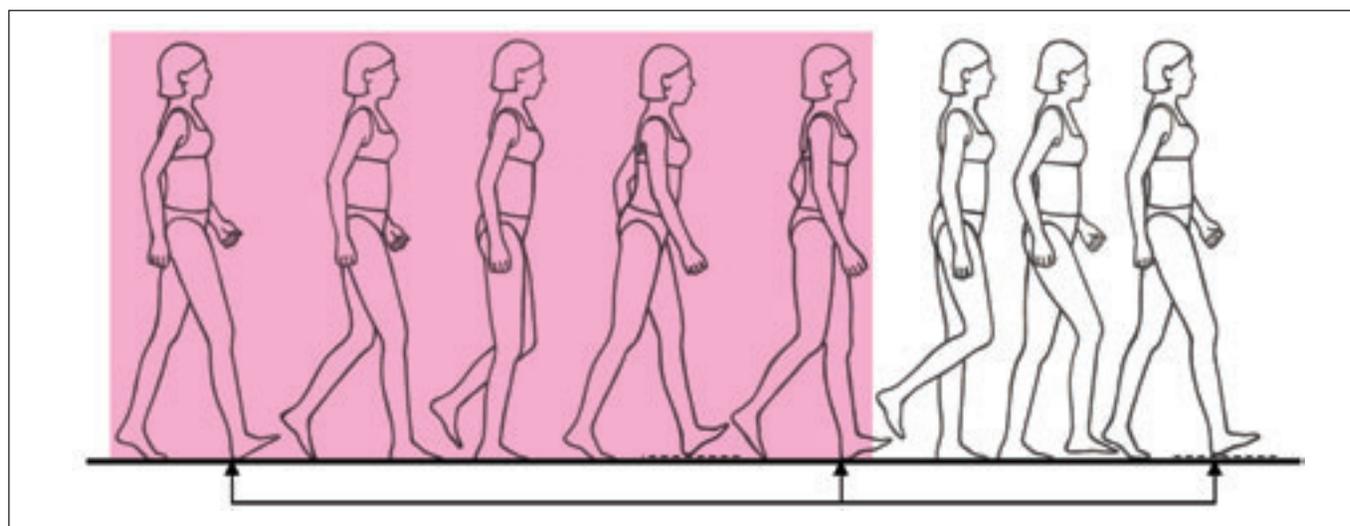


Figura 11-2 Fases del ciclo de la marcha durante el periodo de soporte.

de soporte se encuentra el contacto inicial, la respuesta a la carga, el soporte medio, el soporte terminal y el prebalanceo (figura 11-2). Estas se definen así:

1. Contacto inicial: es el instante en el cual el pie que se adelanta hace contacto con el piso; de este modo, la extremidad cierra la cadena cinética, pues el pie constituye el punto fijo de soporte para que el resto del cuerpo comience a desplazarse hacia delante. Normalmente la región de impacto es el talón; por esta razón, se le considera la fase para registrar el inicio y la culminación de un ciclo de marcha. En la terminología antigua se conocía como "golpe de talón". Cuando hay limitaciones en esta actividad, es posible encontrar que el contacto inicial se realice con cualquiera otra región del pie.
2. Respuesta a la carga: es el intervalo en el que el pie hace contacto total con el piso y el peso corporal es soportado totalmente por esta extremidad. Representa cerca del 10% inicial del ciclo de la marcha (tabla 11-2) y durante su desarrollo se presenta el primer doble soporte.
3. Soporte medio: se inicia cuando la extremidad contralateral pierde contacto con el piso y el peso del cuerpo se trasfiere a lo largo del pie hasta que se alinea con la cabeza de los metatarsianos (antepié). El pie, como punto fijo, permite que el peso corporal se desplace progresivamente hacia adelante gracias a la rotación de la tibia sobre el pie estático. Representa del 10% al 30% del ciclo (tabla 11-2) y coincide con el primer 50% del soporte simple.
4. Soporte terminal: una vez el peso corporal se encuentra alineado con la cabeza de los metatarsianos, el talón se levanta para desplazar el peso hacia los dedos y transferir la carga al pie contralateral, el cual, entra en contacto con el piso. Este intervalo se conoce como soporte terminal; dura

TABLA 11-2

Duración y distribución porcentual del periodo de soporte**Periodo de soporte (62% del ciclo de la marcha)**

- ❖ Contacto inicial
- ❖ Respuesta a la carga: 10%
- ❖ Soporte medio: 20% (del 10% al 30%)
- ❖ Soporte terminal: 20% (del 30% al 50%)
- ❖ Prebalanceo: 12% (del 50% al 62%)

del 30% al 50% del ciclo de marcha (tabla 11-2) y representa el otro 50% del soporte simple.

5. Prebalanceo: es la fase de transición entre el periodo de soporte y el periodo de balanceo. Se inicia cuando el pie contralateral entra en contacto con el piso y termina cuando el pie ipsilateral (dedos) despegas del piso. Durante el prebalanceo, el peso corporal es transferido totalmente de una extremidad a la otra; la ipsilateral se descarga por completo mientras la contralateral recibe la carga. Representa del 50% al 62% del periodo de soporte (tabla 11-2); de forma simultánea al comenzar, se presenta el segundo doble soporte.

Fases del ciclo de la marcha durante el periodo de balanceo

El periodo de balanceo comprende tres fases diferentes (3, 4, 5, 6): balanceo inicial, medio y terminal (figura 11-3). A continuación, se define cada una de ellas.

1. Balanceo inicial (aceleración): comienza cuando los dedos del pie abandonan el piso y termina cuando la rodilla alcanza la flexión máxima durante la marcha (60°), el muslo se encuentra directamente debajo del cuerpo y paralelo a la extremidad inferior contralateral que, en este instante, soporta el peso corporal. Ocupa del 62% al 75% del ciclo de la marcha (tabla 11-3).
2. Balanceo medio: se inicia con la flexión máxima de la rodilla y culmina cuando la tibia se dispone en posición perpendicular con el piso, es decir, se orienta verticalmente. Dura del 75% al 85% del ciclo de la marcha (tabla 11-3).

TABLA 11-3

Duración y distribución porcentual del periodo de balanceo**Periodo de balanceo (38% del ciclo de la marcha)**

- ❖ Balanceo inicial: 13% (del 62% al 75%)
- ❖ Balanceo medio: 10% (del 75% al 85%)
- ❖ Balanceo terminal: 15% (del 85% al 100%)

3. Balanceo terminal (desaceleración): se inicia en la posición vertical de la tibia, continúa a medida que la rodilla se extiende completamente y termina cuando el talón hace contacto con el piso (contacto inicial). Representa el último 15% del ciclo de la marcha (del 85% al 100%), tabla 11-3.

Parámetros temporales vs. parámetros espaciales

El examen de la marcha debe permitir la cuantificación de parámetros temporales y espaciales que proporciona una descripción básica de la marcha de una persona. Sus resultados facilitan la relación con los datos obtenidos durante el proceso de evaluación del movimiento corporal humano y la identificación de deficiencias corporales que inciden en la marcha, y de limitaciones en esta actividad. Así mismo, hace evidente la restricción en la participación de acuerdo con los factores de entorno a que se enfrenta cada persona en particular. Las asimetrías encontradas en las variables de tiempo y distancia facilitan el diagnóstico, la fijación de objetivos y la planificación del proyecto terapéutico. Las deficiencias funcionales en la movilidad articular, la debilidad muscular, el dolor y la fatiga, entre otras, y las deficiencias estructurales del sistema musculoesquelético, las deformidades articulares, las desigualdades en la longitud de las extremidades inferiores, las diferentes alturas de amputación, y los diversos tipos de limitaciones en la marcha son algunos de los factores que alteran significativamente los parámetros temporales y espaciales.

Entre los parámetros relacionados con el tiempo, o temporales, que pueden valorarse con relativa facilidad en el examen por observación, encontramos:

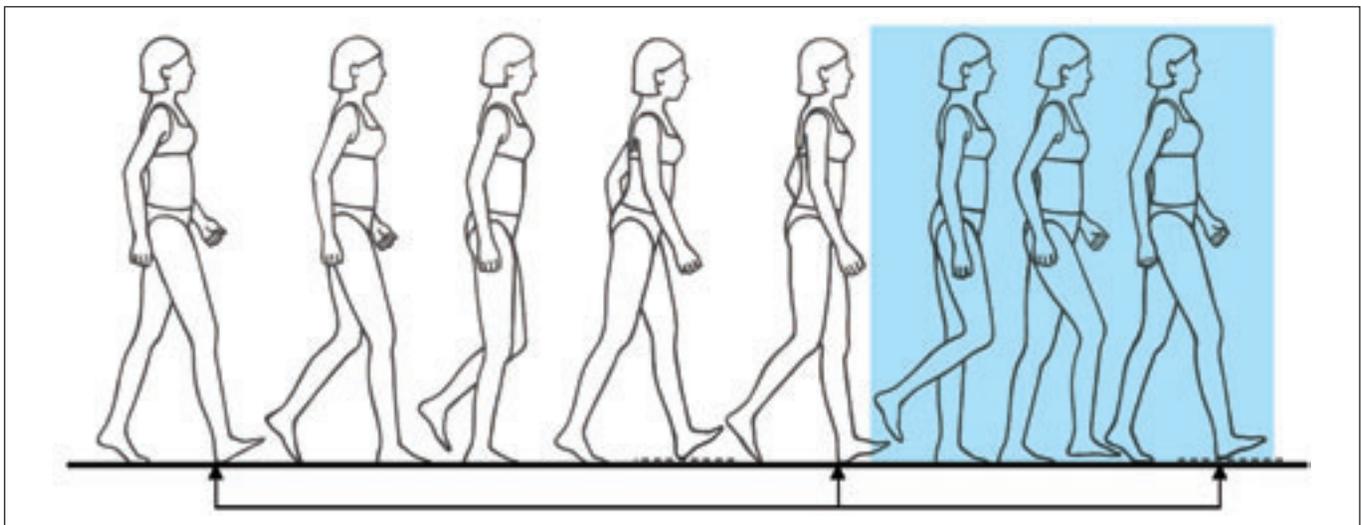


Figura 11-3 Fases del ciclo de la marcha durante el periodo de balanceo.

1. el ciclo de la marcha,
2. el periodo de paso,
3. el periodo de soporte,
4. el periodo de balanceo,
5. la frecuencia o cadencia,
6. la velocidad y
7. la aceleración lineal.

A continuación se describen estos términos aunque algunos de ellos ya se definieron en párrafos anteriores:

1. **Ciclo de la marcha:** lapso de tiempo en el que el transcurren dos eventos idénticos sucesivos del mismo pie; generalmente, se selecciona el contacto inicial para su descripción de inicio y culminación. En este sentido, se registra el ciclo de marcha de la extremidad inferior derecha e izquierda para establecer la comparación que permita identificar asimetrías.
2. **Periodo de paso:** referido al intervalo de tiempo entre el contacto inicial de un pie y el mismo evento del pie contralateral. Por ejemplo, el tiempo que transcurre entre el contacto inicial del pie derecho y el contacto inicial del pie izquierdo se refiere como el periodo de paso de la extremidad inferior izquierda; en este caso es la que avanza. Por consiguiente, el registro comprende la medición de las dos extremidades. Cuando existe dolor en una extremidad inferior, la persona reduce considerablemente el tiempo de apoyo.
3. **Periodo de soporte:** es el tiempo que pasa entre el instante en que el pie hace contacto con el piso (talón), hasta el momento del despegue de los dedos del mismo. En este periodo el centro de gravedad del usuario, ubicado teóricamente a la altura de la primera o segunda vértebra sacra, por delante del cuerpo vertebral, debido al número de factores que influyen y hace fluctuar su ubicación entre las personas, describe un arco de circunferencia cuyo radio es el eje longitudinal de la extremidad inferior en apoyo. De forma similar a los parámetros anteriores, requiere el registro bilateral.
4. **Periodo de balanceo:** es el tiempo transcurrido entre el instante del despegue de los dedos del pie que pierden por completo la relación con el piso, hasta el punto del contacto del talón con el suelo. También exige el registro de las dos extremidades. Durante este periodo se invierte la cadena cinética, es decir, pasa de ser cerrada (periodo anterior) a abierta pues el punto fijo lo constituye la articulación coxofemoral y el móvil, el pie.
5. **Frecuencia o cadencia:** este parámetro hace referencia al número de pasos por unidad de tiempo que, generalmente, se fija en un minuto. La frecuencia determina el ritmo y la rapidez de marcha que autoselecciona toda persona cuando camina naturalmente. Varía de acuerdo con la longitud de las extremidades, el peso corporal y la habilidad para caminar y, disminuye con el proceso de envejecimiento. Ante la presencia de deficiencias neuromusculares y osteoarticulares se altera la frecuencia. Del mismo modo, el incremento de la cadencia conlleva el aumento del ancho de paso y la disminución del ángulo de paso. Normalmente, se encuentra entre los 90 y los 140 pasos por minuto (7).
6. **Velocidad:** es la relación de la distancia recorrida en la dirección de la marcha por unidad de tiempo ($\text{velocidad} = \text{distancia} / \text{tiempo}$), se expresa en m/s. Constituye una variable que indica la habilidad para caminar. Establece una relación con la cadencia y la longitud del paso largo. La velocidad y la cadencia natural o libre son variables autoseleccionadas que toda persona adopta para proveer la máxima eficiencia energética.

La velocidad de la marcha en personas saludables se puede incrementar hasta en 44% (5,8); sin embargo, las personas con limitaciones en esta actividad al incrementar la velocidad evidencian problemas en los mecanismos de amortiguación.

7. **Aceleración:** es el cambio en la velocidad ($\text{aceleración} = (\text{velocidad}_2 - \text{velocidad}_1) / (\text{tiempo}_2 - \text{tiempo}_1)$ o $a = \Delta v / \Delta t$), se expresa en m (m/s²).

Estos parámetros se obtienen con gran precisión en los laboratorios de análisis de movimiento, por medio de microswitches adaptados en plantillas que envían la información a un computador que se encarga de hacer los cálculos; sin embargo, es posible calcularlos con tecnología de bajo costo como se describe más adelante.

Entre los parámetros espaciales que se deben explorar bilateralmente, encontramos:

1. la longitud de paso largo o zancada,
2. la longitud de paso,
3. el ancho de paso y
4. el ángulo de paso.

1. **Longitud de paso largo o zancada:** es la distancia lineal en metros entre dos eventos iguales y sucesivos de la misma extremidad (figura 11-4). En ocasiones, se confunde con el ciclo de marcha pero es determinante aclarar que uno es un parámetro espacial, mientras que el otro es temporal, aunque sus definiciones parezcan similares. Generalmente, para su medición se selecciona el contacto inicial de una extremidad hasta el próximo contacto inicial de la misma extremidad. Esto en ningún momento significa que no se puedan seleccionar otros eventos iguales para su medición y registro; por ejemplo, la pérdida de contacto de los dedos de un pie con el piso hasta el próximo despegue de ese mismo pie.

La longitud de paso largo o zancada incluye un paso corto derecho e izquierdo, es decir, dos pasos cortos. Esto no significa que siempre el valor de la longitud de un paso largo sea el doble del valor de un paso corto, debido a la asimetría que pueda existir entre el paso corto derecho e izquierdo.

2. **Longitud de paso o paso corto:** es la distancia lineal en metros desde un evento específico, que, generalmente, es el contacto inicial de una extremidad hasta el mismo evento de la extremidad opuesta (figura 11-4). La comparación de los registros que permite la medición, tanto del paso corto derecho como el izquierdo, proporciona información de la simetría de la marcha.
3. **Ancho de paso:** está dado por la distancia lineal en centímetros entre dos puntos iguales de los pies (por ejemplo; los talones) figura 11-5. Es una variable directamente relacionada con la estabilidad y el equilibrio; esto significa que con un ancho amplio de paso la persona incrementa su estabilidad y equilibrio. Los usuarios con deficiencias de origen neurológico o de oído interno, entre otros, tienden a incrementar su base de sustentación para mejorar la estabilidad. Los niños que inician la marcha y las personas mayores caminan con un ancho de paso mayor.
4. **Ángulo de paso:** se refiere a la orientación del pie durante el apoyo (figura 11-5). El eje longitudinal de cada pie forma un ángulo con la línea de progresión (línea de dirección de la marcha); normalmente, está entre los 5° y los 8°. Una deficiencia de torsión de origen pélvico, femoral, tibial o podal de la extremidad inferior puede generar el incremento del ángulo de paso o su inversión (hacia adentro), en cuyo caso se registra como negativo.

Los parámetros temporales y los espaciales son variables que se pueden ver alteradas por factores como la estatura, la edad, el sexo, la forma, la posición y la función de las estructuras neuromusculares y osteoarticulares, y el dolor, entre otros; Además, el calzado, la indumentaria, los aspectos culturales, la moda, la condición emocional y mental son facto-

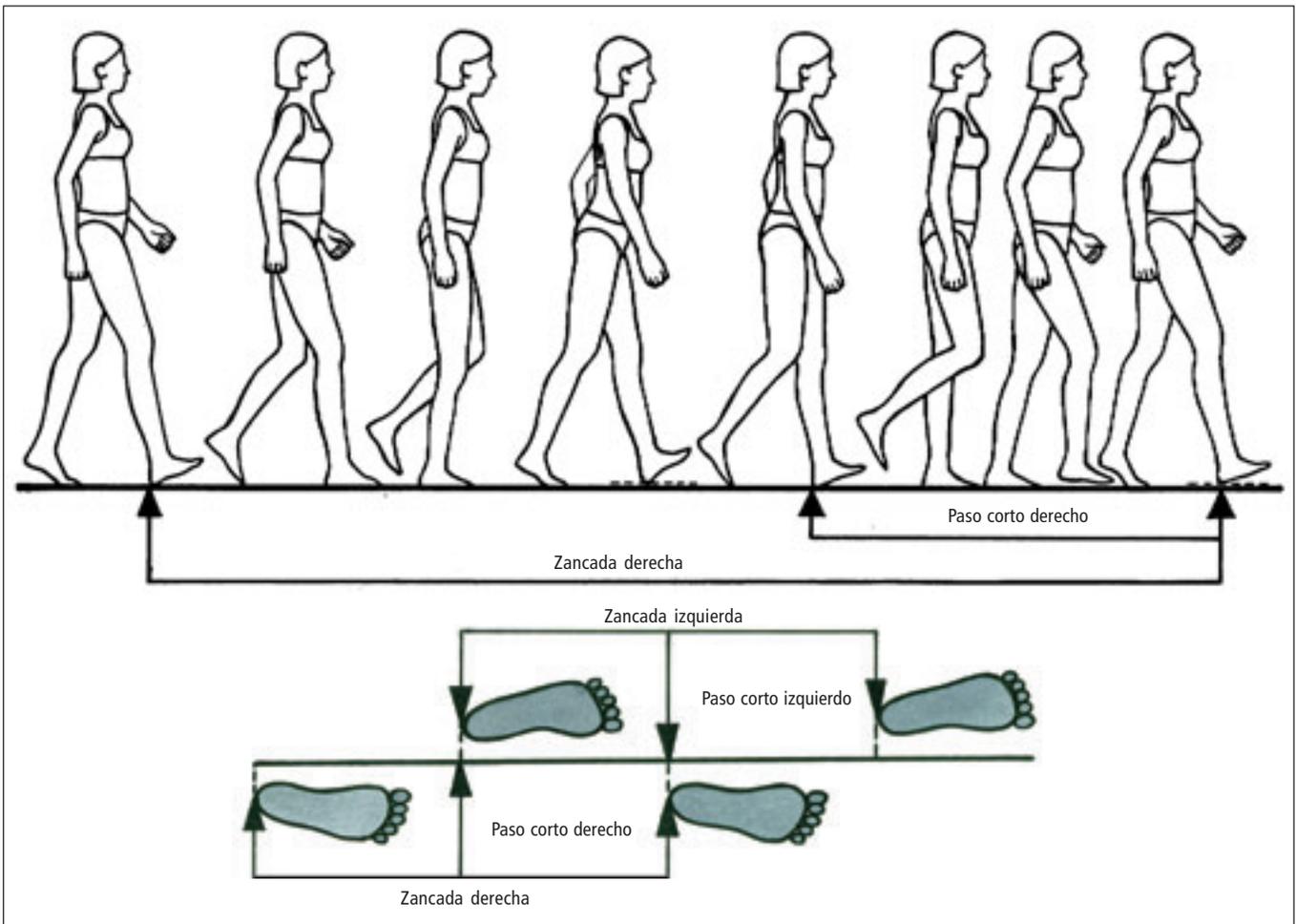


Figura 11-4 Longitudes de paso largo o zancada y paso corto.

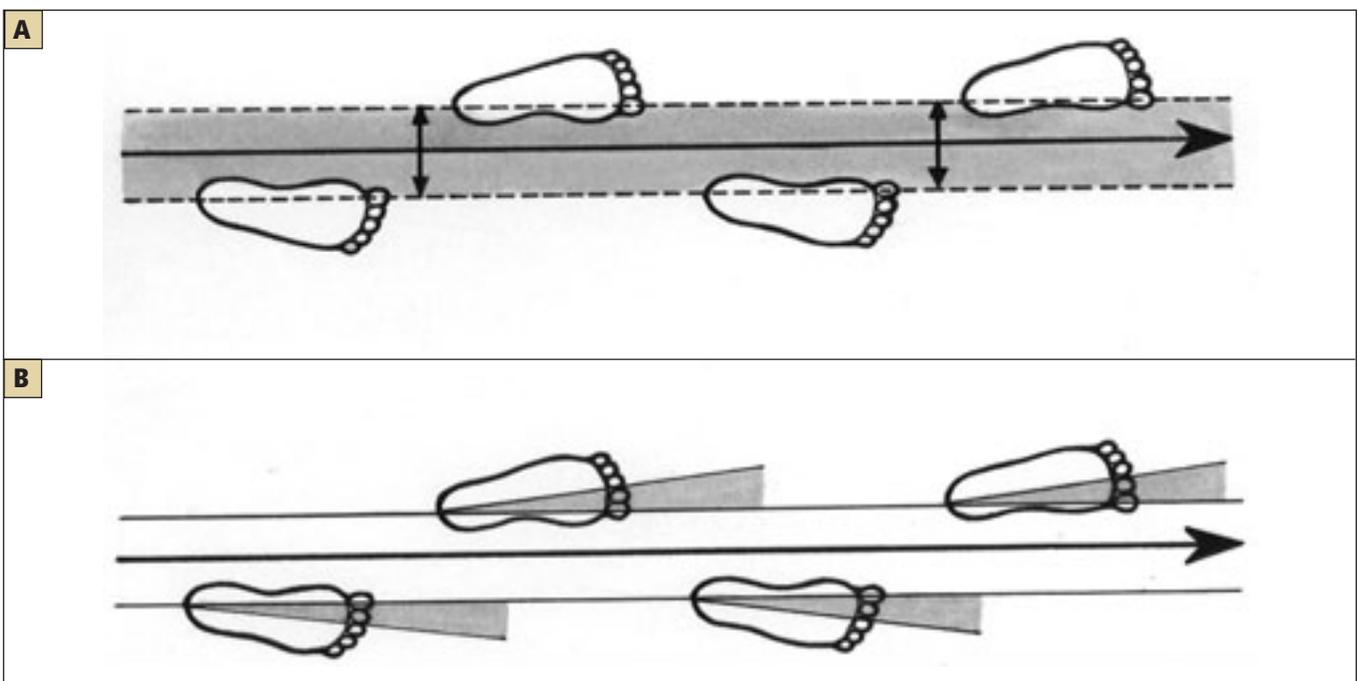


Figura 11-5 A. Ancho de paso. B. Ángulo de paso. El ancho y el ángulo de paso constituyen dos variables importantes de valoración; el centro del retropié es un punto de referencia que facilita la medición.

res que repercuten en los parámetros temporoespaciales de la marcha.

Tareas funcionales de la marcha

Para facilitar el estudio y el examen de la marcha, muchos autores la han descrito en términos de tareas funcionales; los profesionales del Centro Médico del Rancho los Amigos en California (5) y Ed Ayyappa (9) destacan que un ciclo completo de marcha puede ser visto en términos de tres tareas funcionales (tabla 11-4), relacionadas directamente con las ocho fases de la marcha. El estudio de estas tareas funcionales facilita el diagnóstico de la marcha, el pronóstico y el plan terapéutico; este último con énfasis en la recuperación de las tareas más comprometidas.

La primera tarea funcional es la *aceptación del peso*; coincide con las dos primeras fases del periodo de soporte, el contacto inicial y la respuesta a la carga (tabla 11-4), en las que el peso corporal se transfiere de una extremidad a la otra, de tal forma que la extremidad receptora de la carga pasa de una cadena cinética abierta (viene de balanceo) a una cerrada (pasa a soporte); esto requiere garantizar la amortiguación de la carga y la estabilidad para prevenir el colapso articular y con él, la pérdida de equilibrio. Así, se asegura la libre continuidad y la progresividad de la marcha; si, efectivamente, se cumple con la primera tarea funcional, es de afirmar que presenta una cadena cinética cerrada estable.

La segunda tarea funcional es el *soporte en una sola extremidad*. Se relaciona con las siguientes dos fases, el soporte medio y el terminal. Como su nombre lo indica, el peso corporal recae totalmente en la extremidad de apoyo que demanda gran estabilidad, mientras la extremidad contralateral se encuentra en balanceo.

La tercera tarea funcional se refiere al *avance de la extremidad*; está asociada a las cuatro fases restantes, prebalanceo, y balanceo inicial, medio y terminal. Esta tarea funcional garantiza que el pie despegue del piso y, la extremidad y el tronco avancen hacia adelante. Comprende dos momentos cruciales: uno de aceleración en la primera parte (prebalanceo y balanceo inicial) y

otro de desaceleración al final de la segunda parte (balanceo terminal), como preparación al siguiente contacto inicial, para que no sea tan brusco. En consecuencia, se asegura la progresión y la libre continuidad de los movimientos presentes durante la marcha.

Desplazamientos del centro de gravedad durante la marcha

Aunque la ubicación del centro de gravedad varía en cada persona de acuerdo con sus características antropométricas, se calcula que en el adulto se encuentra localizado por delante del cuerpo vertebral, a la altura de la primera o la segunda vértebra sacra, aproximadamente. Dada la continuidad de los movimientos asociados que se presentan durante la marcha, el centro de gravedad, además de seguir la progresión de la misma, sufre desplazamientos alternados a derecha e izquierda y de arriba a abajo, lo cual garantiza que caiga directamente sobre la base de soporte o el área del pie de apoyo, de acuerdo con la fase en que se encuentre. Estos desplazamientos horizontales y verticales del centro de gravedad se relacionan directamente con el consumo energético de la persona; en otras palabras, si el centro de gravedad presenta desplazamientos exagerados y bruscos, ya sea en sentido vertical, horizontal o en ambos, más allá de la excursión máxima normal que es en promedio de tres a cinco centímetros, esto ocasiona un incremento proporcional del gasto energético. Es necesario resaltar que el consumo de energía en la marcha normal es mínimo, por lo cual cualquier irregularidad en los desplazamientos del centro de gravedad tendrá repercusiones en la eficiencia de la marcha. Por ejemplo, una marcha con amplio ancho de paso o con movimientos exagerados genera mayores desplazamientos laterales del centro de gravedad y una menor eficiencia de la misma.

Saunders (10), Inman y Eberhart (11) fueron los primeros en describir los mecanismos determinantes para el control de los desplazamientos del centro de gravedad durante la marcha normal, los cuales aseguran que estos desplazamientos no superan los cinco centímetros. Por razones estrictamente pedagógicas y didácticas, a continuación se describen estos mecanismos no en el orden de aparición durante la marcha sino con base en la función que desempeñan en momentos específicos durante la misma.

Mecanismo de control para que el centro de gravedad no se deprima demasiado

La pregunta que surge hace referencia a: ¿en qué momento durante la marcha el centro de gravedad corporal tiende a deprimirse? La respuesta conduce a interpretar el mecanismo de control que trabaja para evitar un descenso mayor al fisiológico. En el análisis del recorrido del centro de gravedad durante la marcha, se destaca la descripción de una curva sinusoidal suave, tanto en sentido vertical (figura 11-6) como en sentido horizontal (figura 11-7). En primera instancia, el análisis del recorrido vertical permite valorar que durante el doble soporte el centro de gravedad tiende a descender; la rotación pélvica es uno de los mecanismos de control específicos para prevenir un descenso mayor.

TABLA 11-4

Dada la relación directa de las tres tareas funcionales con las fases de la marcha, su estudio facilita el diagnóstico, el pronóstico y el plan terapéutico encaminado a reeducar o mejorar el patrón de la marcha

Tareas funcionales de la marcha

1. Aceptación del peso
❖ Contacto inicial
❖ Respuesta a la carga
2. Soporte en una sola extremidad
❖ Soporte medio
❖ Soporte terminal
3. Avance de la extremidad
❖ Prebalanceo
❖ Balanceo inicial
❖ Balanceo medio
❖ Balanceo terminal

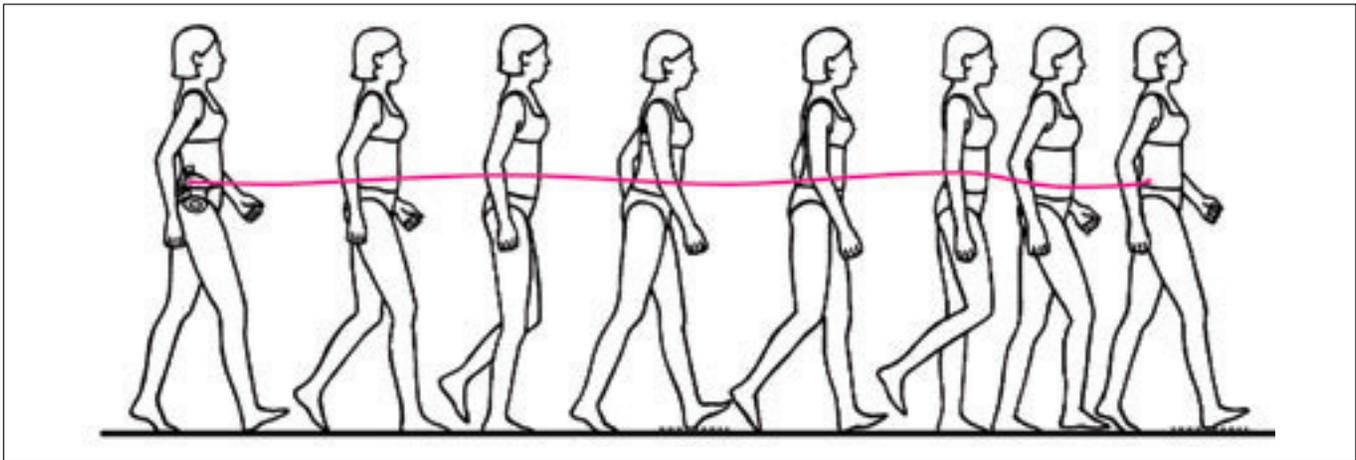


Figura 11-6 El recorrido del centro de gravedad en sentido vertical describe una leve onda sinusoidal.

Como anillo óseo, la pelvis rota un total de 8° , 4° hacia adelante y 4° hacia atrás (10, 11) (figura 11-8), para acompañar los respectivos movimientos de las extremidades inferiores, lo que permite producir un alargamiento relativo de las extremidades, tanto de la extremidad que avanza como de la que permanece retrasada y, con él, prevenir un descenso excesivo del centro de gravedad corporal. Así se consigue que el peso del cuerpo en cada paso caiga de manera brusca y el centro de gravedad, se desplace violentamente hacia abajo. Si, por un instante se piensa en una marcha que no presenta rotación pélvica como, por ejemplo, la de un soldado de plomo, se deduce con facilidad que durante su andar existe una pérdida y una recuperación bruscas y permanentes del centro de gravedad, pues, cuando avanza una extremidad, existe una distancia considerable entre el pie y el suelo que se compensa dejando ir el cuerpo hacia delante para inmediatamente avanzar la otra extremidad, con un alto riesgo de perder el equilibrio por la velocidad que se alcanza a medida que se avanza.

Todo lo anterior permite explicar que el tórax debe girar en dirección contraria a la pelvis, como normalmente sucede, para conservar el equilibrio y ayudar a regular la rapidez de la marcha. La rotación pélvica previene una depresión del centro de gravedad de aproximadamente 0,95 cm (9,5 mm) (9).

Mecanismos de control para que el centro de gravedad no se eleve demasiado

En sentido contrario del mecanismo anterior, la pregunta que surge hace referencia a: ¿en qué momento durante la marcha el centro de gravedad corporal tiende a alcanzar su máxima altura? La respuesta se deduce del análisis del recorrido del centro de gravedad en el plano frontal y sagital; donde se evidencia que cuando el peso se transfiere de una extremidad a la

otra, el centro de gravedad alcanza su punto más alto a medida que el peso corporal cruza sobre la extremidad apoyada, es decir que durante el soporte simple normalmente asciende. Por lo tanto, existen dos mecanismos relevantes para prevenir un ascenso mayor al fisiológico durante el soporte simple: el descenso pélvico (figura 11-9) y la flexión de la rodilla (10, 11).

El discreto descenso de la pelvis del lado sin apoyo (en balanceo), 5° con respecto a la horizontal, conocido universalmente, como Trendelenburg positivo fisiológico de la marcha, empuja hacia abajo el centro de gravedad, aproximadamente, 0,5 cm (5 mm). De esta forma, se constituye en un mecanismo relevante para controlar un excesivo ascenso del centro de gravedad.

Tan pronto como el pie de la extremidad que avanza hace contacto con el piso, la rodilla está próxima a la extensión completa; posteriormente, en la respuesta a la carga la rodilla se flexiona 15° aproximadamente; luego, se extiende y mantiene 5° de flexión en el soporte medio para terminar extendida en el soporte terminal y volver a flexionarse (35°) en el prebalanceo. Esta flexión de rodilla, presente en la parte media del periodo de soporte, determina un descenso del centro de gravedad de un centímetro aproximadamente, por lo que se constituye en un mecanismo eficiente para conservar energía. Además, toma mayor relevancia este mecanismo por el efecto de amortiguación y absorción de las cargas de impacto en el momento en que una extremidad transfiere el peso corporal a la otra.

Mecanismos de control para que el centro de gravedad no se desplace demasiado lateralmente

Gracias al genu valgo fisiológico (figura 11-10), la base de sustentación se hace menor en comparación con el hecho en el que las extremidades inferiores se extendieran totalmente rectas desde la pelvis. En este caso, no solamente ampliaría la

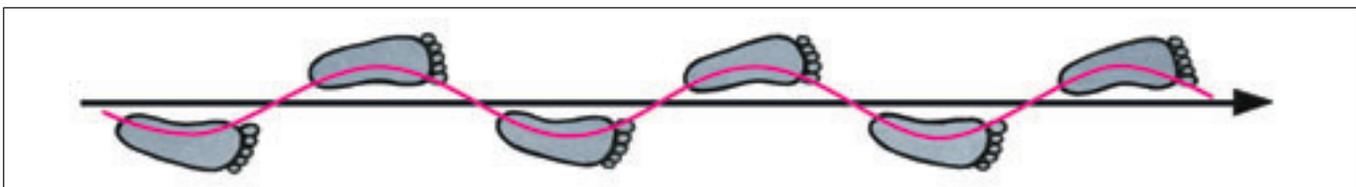


Figura 11-7 El recorrido del centro de gravedad en sentido horizontal describe también una onda sinusoidal.

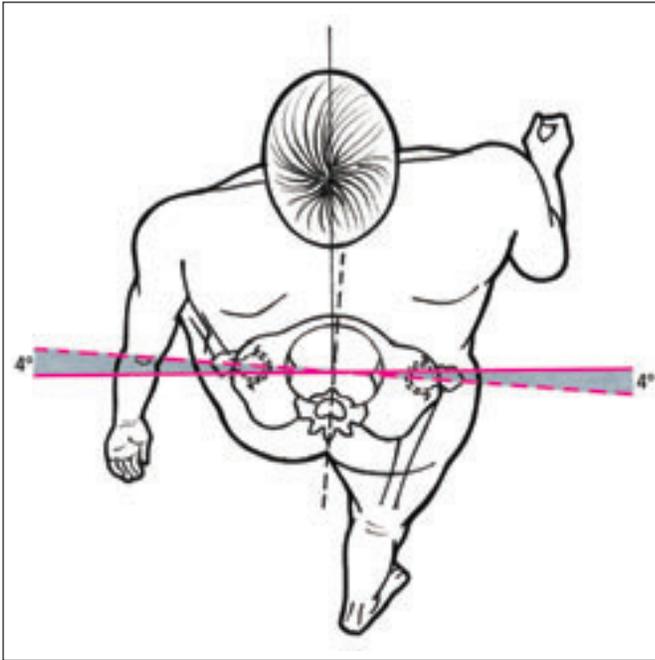


Figura 11-8 La rotación pélvica constituye un mecanismo específico de control para que el centro de gravedad no caiga demasiado durante el doble soporte, pues permite alargar relativamente tanto la extremidad que avanza como la que retrocede.

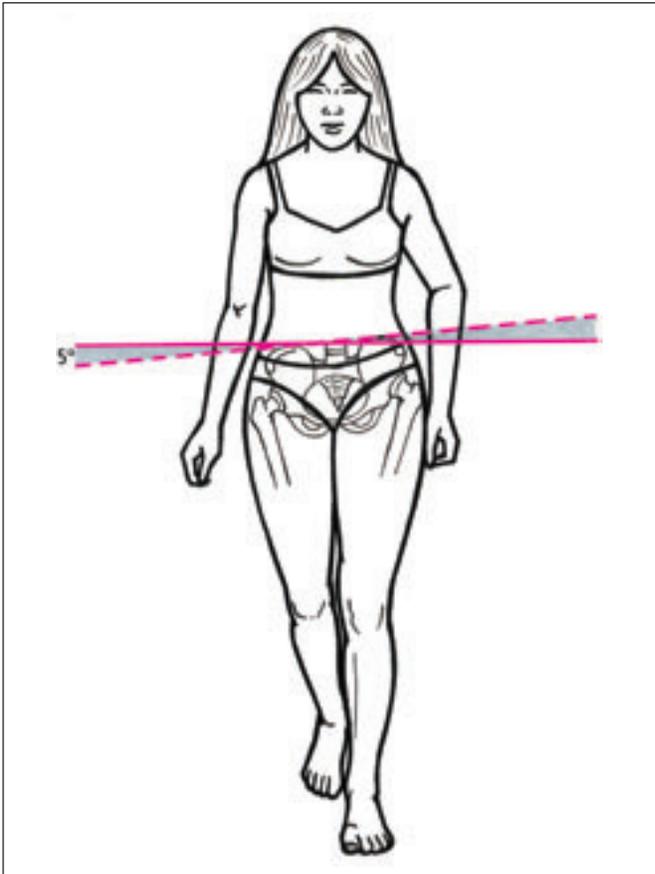


Figura 11-9 Descenso de 5° de la pelvis del lado sin apoyo, en el plano frontal. Este mecanismo de estabilización pélvica es controlado por los músculos abductores del lado de apoyo.

base de sustentación sino, también, ocasionaría un desplazamiento brusco del centro de gravedad a derecha e izquierda, a medida que se transfiriera el peso corporal de una pierna a la otra durante la marcha. Esto, a su vez, acarrearía altas demandas musculares y de equilibrio.

Normalmente, el peso corporal se transfiere de una extremidad a otra y el centro de gravedad se ubica directamente sobre la base de sustentación del pie de apoyo. Debido al *genu valgo* fisiológico presente en la mayoría de las personas, y que aún es mayor en las mujeres por el ancho de la pelvis, este hecho garantiza la caída vertical de la tibia con respecto al suelo y permite un ligero movimiento lateral de la pelvis para que el centro de gravedad solamente se desplace 2,5 cm a cada lado (11). Es claro que aunque con una amplia base de sustentación, la persona en postura bípeda y durante la marcha incrementa significativamente su estabilidad pero a un costo alto de la eficiencia energética. La medición del ancho de paso de forma bilateral le permite al clínico conocer en cierta medida la eficiencia de la marcha.

Mecanismos de control para hacer más horizontal la trayectoria del centro de gravedad

Aunque los mecanismos de control descritos anteriormente repercuten en el desplazamiento del centro de gravedad, existen otros mecanismos que hacen más horizontal su trayec-

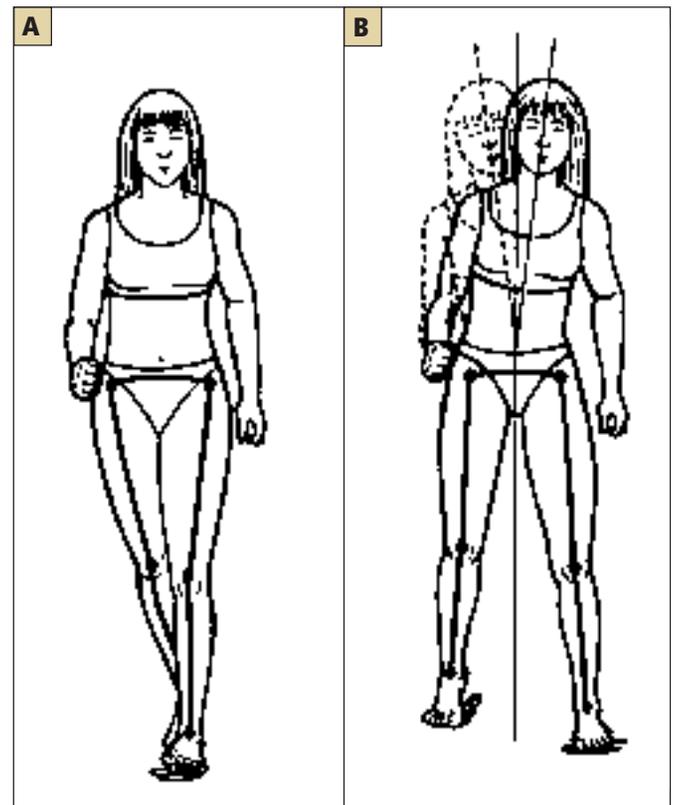


Figura 11-10 A. El *genu valgo* fisiológico garantiza una pequeña base de sustentación y, con ello, un ligero desplazamiento del centro de gravedad (2,5 cm) para que se ubique directamente sobre uno u otro pie, sin un desplazamiento lateral mayor. B. Una amplia base de sustentación genera un desplazamiento brusco y mayor del centro de gravedad a medida que se transfiriera el peso corporal de una extremidad a la otra.

toria, es decir, atenúan los picos de la onda sinusoidal que describe su desplazamiento. Entre estos encontramos: 1) el movimiento de la rodilla, el tobillo y el pie; y 2) aplanamiento de la bóveda plantar (11). El primer mecanismo, hace referencia a los movimientos coordinados, sincrónicos y conjuntos de la rodilla, el tobillo y el pie que se suceden durante el periodo de soporte de la marcha y previenen cambios abruptos del centro de gravedad en sentido vertical (figura 11-11). Durante el contacto inicial, la rodilla se encuentra extendida y el tobillo y el pie en neutro, de tal forma, que el eje articular del tobillo se eleva en comparación con la posición en que se encuentra cuando el pie está en completo contacto con el piso. En respuesta a la carga, la rodilla comienza a flexionarse mientras el tobillo se flexiona en dirección plantar (su eje desciende) y la planta del pie hace contacto completamente con el piso. En el soporte medio la rodilla vuelve a extenderse pero mantiene una ligera flexión de 5° aproximadamente, mientras el tobillo se flexiona en dirección dorsal (la tibia se aproxima al pie). En el soporte terminal, la rodilla se extiende por completo, el tobillo incrementa el grado de dorsiflexión y el talón se eleva del piso, lo cual hace ascender nuevamente el eje del tobillo. En el prebalanceo, cuando el pie gira sobre la cabeza de los metatarsianos, el tobillo se eleva aún más a medida que la rodilla se flexiona.

El segundo mecanismo hace referencia al aplanamiento discreto de los arcos longitudinales y el transversal del pie en la parte media del periodo de soporte (respuesta a la carga y soporte medio) que, en conjunto con el anterior, juega un papel importante en hacer más horizontal la ruta del centro de gravedad.

Mecanismos de mecedora: pie y tobillo

Otro mecanismo importante en el estudio de la marcha normal es la función del talón, el tobillo y el antepié descrita por Perry (12). Señala tres mecanismos de mecedora los cuales facilitan la obtención de información valiosa durante el examen, la competencia para el diagnóstico, la comunicación interdisciplinaria de las deficiencias y la limitación en la actividad que pue-

den existir e identificarse en la marcha. El primer mecanismo de mecedora es el del talón, que se encuentra presente durante el contacto inicial, cuando comienza la transferencia del peso corporal de una extremidad a la otra. La tuberosidad del calcáneo durante un instante sirve de fulcro o eje para que el pie y la pierna se muevan hacia adelante, el primero en dirección del piso para ampliar la base momentánea de soporte y la segunda en busca de seguir el avance secuencial del peso corporal para preservar la progresión de la marcha.

El segundo mecanismo de mecedora es el del tobillo; una vez el pie se apoya completamente en el piso, el eje mecánico del complejo articular del tobillo permite el desplazamiento corporal hacia adelante. Corresponde con las fases de respuesta a la carga y soporte medio. Finalmente, el tercer mecanismo de mecedora es el del antepié, presente durante el soporte terminal cuando el peso corporal se alinea con las cabezas de los metatarsianos, el talón se levanta y toma como eje a las articulaciones metatarsofalángicas que aseguran la transferencia de peso hacia los dedos y a la otra extremidad.

Movimiento articular de las extremidades inferiores durante la marcha

Otro elemento significativo en el estudio de la marcha es la movilidad articular, la cual se mide por diferentes métodos según la capacidad tecnológica con la que se cuente; entre ellos están: los electrogoniómetros que usan transductores electrónicos en contacto corporal, los programas especializados de análisis de movimiento, los sistemas de multicámaras adaptadas a un computador que garantiza el análisis en tres dimensiones, la fotografía con flash estroboscópico y la videografía simple, todos los anteriores a través de marcadores reflectores ubicados en puntos óseos específicos como el trocánter mayor, el cóndilo femoral lateral y el maléolo peroneo, entre otros.

El análisis por observación se utiliza muy frecuentemente en el ámbito clínico por su bajo costo y la facilidad de ejecu-

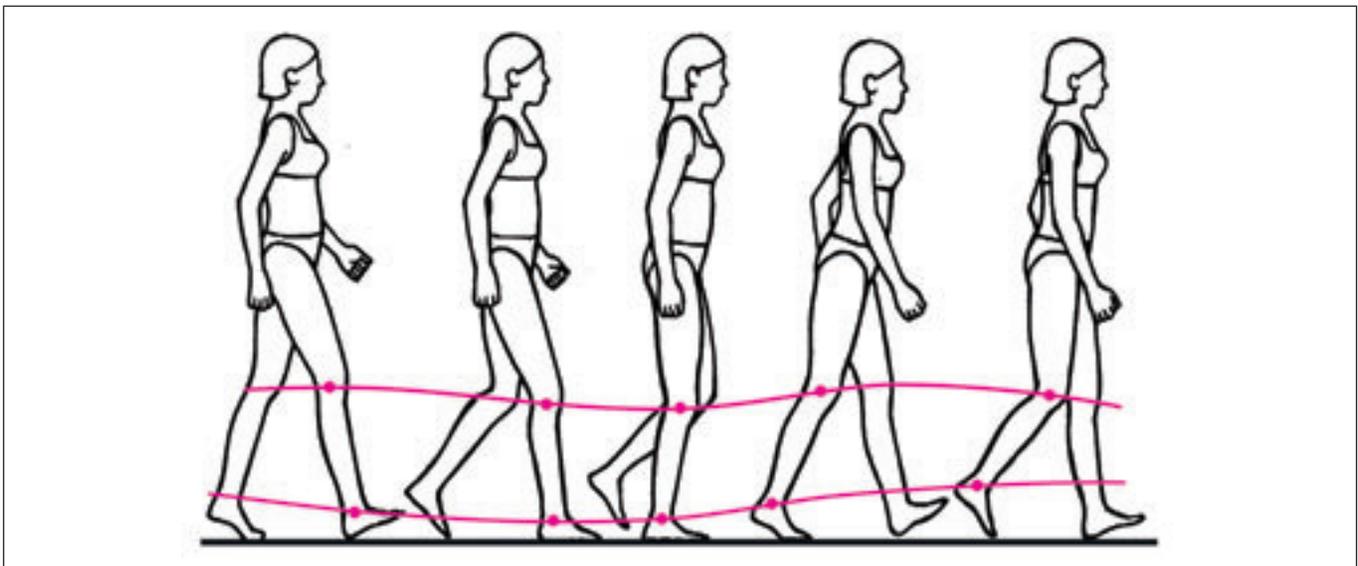


Figura 11-11 Movimientos coordinados, sincrónicos y conjuntos de la rodilla, el tobillo y el pie que se suceden durante el periodo de soporte de la marcha y hacen más horizontal la trayectoria del centro de gravedad corporal debido a que, en conjunto, acortan relativamente la extremidad.