
Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura

Gait: description, methods, assessment tools and normality parameters reported in the literature.

Adriana Isabel Agudelo Mendoza¹, Tatiana Julieth Briñez Santamaria², Vanessa Guarín Urrego³, Juan Pablo Ruiz Restrepo⁴, Marly Carolina Zapata García⁵

1. Fisioterapeuta, Centro de Rehabilitación Neurológica – Neurovida

2. Fisioterapeuta, Grupo Empresarial JJ-JMG, Departamento HSEQ – Salud Ocupacional

3. Fisioterapeuta, Clínica CES – Gestora FUNDEM

4. Fisioterapeuta, Comité de Rehabilitación

5. Fisioterapeuta, Universidad CES – UAM

Resumen

El análisis de la marcha, como patrón del movimiento corporal humano, hace parte fundamental de la evaluación del individuo por la correlación que sus modificaciones pueden tener con alteraciones en los diferentes sistemas corporales. A través del tiempo, han sido realizadas múltiples investigaciones con el objetivo de determinar los parámetros de normalidad en los diferentes parámetros que la conforman, o determinar las características particulares del patrón de marcha en patologías específicas o en grupos poblacionales determinados. Su evaluación ha sido realizada a través de la implementación de diferentes métodos y herramientas que permiten la obtención parcial o total de los parámetros de la misma, siendo estos de gran interés en el ámbito clínico e investigativo, debido a que permiten diagnosticar alteraciones, realizar un control y seguimiento de los pacientes, valorar la efectividad de determinado tratamiento, o ser punto de referencia para el diseño en la ingeniería biomédica.

Palabras clave: Evaluación, diagnóstico, análisis, movimiento, marcha.

Abstract

The gait analysis, and pattern of human body movement, makes a fundamental part of the assessment of the individual by correlating their changes may have alterations in the different body systems. Over time, many investigations have been conducted in order to determine the parameters of normality in the various parameters that shape or determine the particular characteristics of gait pattern in specific diseases or specific population groups. His evaluation was carried out through the implementation of different methods and tools that enable the partial or total acquisition of the parameters of the same, these being of great interest in the clinical and research, because they allow to diagnose disorders, conduct a control and monitoring of patients, assessing the effectiveness of certain treatment, or be a reference point for design in biomedical engineering.

Key words: Evaluation, diagnosis, analysis, movement, gait.

Introducción

El movimiento corporal humano constituido por patrones y factores motrices, es considerado como un elemento esencial de la salud y el bienestar (1), resultado de la interacción de los diferentes dominios y sistemas corporales, que le permitirá al hombre un alto grado

de funcionalidad e independencia para la realización de sus actividades de la vida diaria y las actividades básicas cotidianas. Como un componente esencial del movimiento, la marcha, constituye un patrón fundamental de gran complejidad (2), que estará relacionado con la capacidad de desplazamiento en el espacio, y por ende con la capacidad de interacción del hombre en el ambiente, siendo su alteración capaz de generar una

discapacidad temporal o permanente (2).

La exploración de la marcha dentro del proceso de evaluación del movimiento corporal humano, constituye una herramienta fundamental que revela las posibilidades motoras, la capacidad para llevar a cabo diferentes actividades cotidianas y el nivel de interacción social dentro del marco de los factores contextuales de cada individuo(3).

El análisis cualitativo y cuantitativo de las características y parámetros de la marcha ha despertado a través del tiempo un gran interés entre investigadores y clínicos, debido a que las alteraciones en los parámetros que la conforman han sido asociadas con factores antropométricos, procesos o cambios normales relacionados con el proceso de envejecimiento, o como consecuencia de alteraciones biomecánicas a causa de diferentes patologías, además de estar relacionadas con las alteraciones de otras estructuras corporales, que pueden generar desequilibrio musculares y ocasionar la alteración de la disposición corporal.

Marcha: Descripción y Generalidades

La marcha es definida como “el paso bípedo que utiliza la raza humana para desplazarse de un lugar a otro, con bajo esfuerzo y un mínimo consumo energético” (3); es la capacidad de locomoción en bípedo que nos hace diferente del resto de especies animales, (4,5) con una serie de movimientos alternos y rítmicos de las extremidades y del tronco, que determinan el desplazamiento hacia adelante del centro de gravedad (6). Ésta se caracteriza por el contacto permanente del individuo con el suelo, con ambos o al menos uno de sus pies (7), además de requerir la integración de los sistemas y comprometer varios segmentos corporales.

El patrón de marcha está relacionado con múltiples factores: extrínsecos (terreno, tipo de calzado, vestido, transporte de carga); intrínsecos (edad, sexo); físicos, (medidas antropométricas); psicológicos relacionados con la personalidad y las emociones del individuo; fisiológicos (periodo de gestación, proceso normal de envejecimiento); patológicos como traumatismos, patologías neurológicas, músculo esqueléticas o trastornos psiquiátricos; Por lo tanto la influencia de éstos factores podrían modificar el patrón de marcha generando alteraciones transitorias o permanentes, locales o generales. La alteración de la marcha en el

adulto mayor, se considera un predictor de deterioro funcional y está relacionada con el aumento de la morbilidad, un mayor riesgo de caídas, limitación psicológica por temor y un factor de riesgo de institucionalización (7),(8). Debido a la diversidad de factores que pueden interferir con la capacidad para caminar, es necesario que el profesional realice una evaluación completa del individuo, así como de las características del entorno que le rodea, para ofrecer las mejores soluciones con el fin de mantener o mejorar el patrón de marcha(3,7). Las alteraciones de éste patrón de movimiento, deben ser evaluadas sobre la base de un examen clínico exhaustivo, que debe realizarse de acuerdo con el modelo de la CIF, incluyendo: deficiencias, actividades y participación y los factores ambientales, así como la percepción del individuo, sus expectativas, preocupaciones, y el impacto de su condición en la calidad de vida (9). Para la evaluación pueden utilizarse métodos cualitativos como la observación del patrón de marcha en pasarela, o elementos instrumentales para la obtención de datos cuantitativos, considerado un método más objetivo que permite una valoración más completa, evitando datos subjetivos y posibles errores producto de la evaluación cualitativa observacional. Para el análisis de la marcha se utilizan métodos clínicos e instrumentales, por la importancia de un diagnóstico exacto, necesario para el planteamiento adecuado del plan de intervención, el seguimiento de los pacientes y de la progresión de las alteraciones de la marcha a través del tiempo (9), además de convertirse en un método más confiable para ser utilizado en la investigación científica.

Para iniciar la marcha, se requiere de una gran estabilidad mecánica en bipedestación, lo cual implica la integralidad del sistema musculoesquelético y los reflejos posturales (8). El ciclo de la marcha se ha dividido en dos fases: Fase de soporte o de apoyo (constituye el 60% del ciclo) y fase de balanceo o de oscilación (representa el 40% del ciclo); en ocasiones 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, al iniciar y al culminar la fase de soporte (3,7).

Fases de la Marcha: (7,10).

Se describen en la tabla 1 Fase de soporte de apoyo y en la tabla 2. Fase de balanceo.

La marcha se describe mediante parámetros espaciales,

Tabla 1. Fase de Apoyo o de soporte

Fase	Descripción
Contacto inicial	(0-2% del ciclo, apoyo bipodal): Es el momento en el que el pie entra en contacto con el suelo. Normalmente el contacto tiene lugar en la región del talón, razón por la que ésta fase se considera para registrar el inicio y la culminación del ciclo de la marcha
Respuesta a la carga	(10% del ciclo de marcha, apoyo bipodal): El pie realiza contacto total con el piso y el peso del cuerpo se transfiere a la extremidad adelantada
Soporte medio	(Transcurre entre el 10% y el 30% del ciclo de la marcha): La extremidad contralateral pierde contacto con el piso y el peso del cuerpo se transfiere a lo largo del pie hasta que se alinea con la cabeza de los metatarsianos. La transferencia del peso se da gracias a la rotación de la tibia sobre el pie estático
Soporte Terminal o final	(Transcurre esta fase entre el 30% y el 50% del ciclo de marcha): 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
Pre-balanceo o fase previa a la oscilación	Transcurre entre el 50% y el 60%) Fase de transición entre la fase de soporte y la de balanceo. Se inicia cuando el pie contralateral entra en contacto con el piso y termina cuando el pie ipsilateral despegas del piso. El peso corporal es transferido totalmente de una extremidad a la otra

Tabla 2. Fase o periodo de Balanceo

Fase	Descripción
Balanceo Inicial	(Aproximadamente del 50% al 73% del ciclo) Inicia cuando los dedos del pie se despegan del 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 del corporal
Balaceo Medio	(entre el 73% y el 87%) El muslo continúa avanzando y la rodilla, que ha alcanzado la flexión máxima, ahora se extiende, de manera que el pie permanece despegado del suelo y termina cuando la tibia se dispone en posición perpendicular al piso
Balanceo Terminal	Inicia con la posición vertical de la tibia, continúa a medida que la rodilla se extiende completamente y la extremidad se prepara para aceptar la carga durante el contacto inicial

temporales, espacio-temporales, cinéticos y cinemáticos. Dichos parámetros varían entre sujetos y también en el mismo sujeto, estos resultan ser representativos de una persona cuando las condiciones y los factores que afectan la marcha se mantienen constantes (11). Sus resultados facilitan la relación de 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 la actividad (3).

Parámetros Espaciales

- Longitud de zancada: distancia lineal entre dos contactos de talón consecutivos de la misma extremidad (3,10).
- Longitud de paso: distancia lineal entre el contacto inicial del talón de una extremidad y el de la extremidad contralateral (40cm aprox. aunque depende de la estatura del individuo) (5).
- Ancho de paso o Amplitud de base: la distancia entre ambos pies, generalmente entre los talones, que representa la medida de la base de sustentación y equivale a 5 a 10 centímetros, relacionada directamente con la estabilidad y el equilibrio. Como la pelvis debe desplazarse hacia el lado del apoyo del cuerpo para mantener la estabilidad en el apoyo medio, una base de sustentación estrecha reduce el desplazamiento lateral del centro de gravedad (5).
- Altura del paso: el movimiento de las extremidades inferiores otorga una altura de 5 centímetros al paso, evitando el arrastre de los pies (5).
- Ángulo del paso o ángulo de la marcha: Se refiere a la orientación del pie durante el apoyo. El eje longitudinal de cada pie forma un ángulo con la línea de progresión (línea de dirección de la marcha); normalmente, está entre 5° y 8° (3,10).

Parámetros Temporales:

Apoyo: Porcentaje del ciclo total de la marcha durante el cual el cuerpo se encuentra apoyado sobre una sola pierna.

- Balanceo: Porcentaje del ciclo de la marcha durante el cual la extremidad inferior permanece en el aire y avanza hacia adelante.
- Doble apoyo: Porcentaje del ciclo de la marcha en el cual ambos pies contactan el suelo
- Periodo de zancada: Lapso de tiempo en el que el

transcurren dos eventos idénticos sucesivos del mismo pie, generalmente entre 2 contactos iniciales de la misma extremidad inferior (3).

- Periodo de soporte o apoyo: El tiempo que transcurre desde que el pie hace contacto con el piso, hasta el momento de despegue de los dedos del mismo pie (3).
- Periodo de balanceo: Es el tiempo transcurrido entre el instante de despegue de los dedos hasta el punto de contacto inicial de un mismo pie (3).
- Cadencia: Es el número de pasos por unidad de tiempo, generalmente se mide en un minuto. La frecuencia determina el ritmo y rapidez de la marcha (3).

Parámetros espaciotemporales

- Velocidad: Es la relación de la distancia recorrida en dirección de la marcha por unidad de tiempo ($Velocidad = Distancia / Tiempo$) (3).
- Velocidad de Balanceo: Tiempo en que se demora un miembro inferior desde la aceleración inicial hasta el siguiente paso.
- Velocidad media: Producto de la cadencia por la longitud de la zancada expresada en m/seg.
- Cadencia o ritmo del paso: Se relaciona con la longitud del paso y representa habitualmente el ritmo más eficiente para ahorrar energía en ese individuo en particular y según su estructura corporal. Los individuos más altos dan pasos a una cadencia más lenta, en cambio los más pequeños dan pasos más rápidos. Puede ir entre 90 a 120 pasos/min (5).

Maduración del patrón de marcha: El ser humano, durante los primeros años de su infancia, experimenta con su cuerpo una serie de acontecimientos y logros motrices que lo llevan finalmente a desarrollar un patrón de marcha normal (12). Inicialmente el niño recién nacido sólo puede levantar y girar la cabeza por instantes en los cambios de decúbito, obteniendo alrededor de los tres o cuatro meses de vida un control cefálico persistente, luego, hacia los seis meses de edad ya puede sostenerse en decúbito ventral sobre una sola mano e inicia el rolado transfiriendo 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 ésta posición logra extender la rodilla

en preparación para la posición bípeda; una vez logra extender las caderas, rodillas y tronco podrá incorporarse y sostenerse con apoyo. Hacia los once meses logra la posición bípeda desde la posición sedente al inclinar su tronco hacia adelante y apoyar sus manos sobre una superficie; a los doce meses consigue ponerse de pie por sí mismo desde la posición semi-arrodillado, para finalmente lograr entre los 13-18 meses conseguir la marcha independiente (8). Su marcha es insegura, inestable, tambaleante, muy irregular y con una falta de armonía y adecuada coordinación. El niño inicialmente camina de manera inestable y torpe, se inclina hacia atrás o hacia delante y se cae con frecuencia por su falta de equilibrio. Consigue una mayor base de apoyo gracias a la separación de extremidades inferiores (15-20 cm de separación), camina con los hombros abducidos y flexionados, levanta los pies excesivamente, no le es posible trasladar un objeto entre 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, y los brazos se mueven rítmicamente a los lados del cuerpo, siendo ahora capaz de trasladar cosas en sus manos.

Su marcha se torna segura y más prolongada, siendo capaz de correr distancias cada vez más amplias; a los tres años de edad el niño empieza a saltar con sus dos pies; a los cuatro puede conservar un apoyo monopodal; y hacia los siete años según Sutherland (4), Popova y Bernshtein (13), quienes estudiaron el desarrollo de la marcha en los niños de ambos sexos, el infante adquiere todas las características electromiográficas, cinemáticas y cinéticas del adulto (excepto los parámetros temporales, ya que dependen de la talla) (1, 12, 13). Estos hallazgos también son reportados en la literatura describiendo además que los parámetros espaciotemporales, como longitud de paso, velocidad y cadencia al estar relacionados con la estatura evolucionan paralelamente con el crecimiento hasta la edad de 15 años (6). El niño prácticamente no realiza movimiento de braceo pues camina con los miembros superiores separados del tronco para equilibrarse, según se va produciendo el desarrollo y maduración éste va mejorando su equilibrio, coordinación y conocimiento de su esquema corporal y así como la percepción del espacio. Se considera que hacia los 5-7 años el patrón de marcha del niño puede asemejarse al de un adulto, aunque algunos parámetros se modificarán en los años posteriores debido al aumento de la talla e incremento del peso. Las presiones plantares en el niño son menores que las del adulto por menor

peso, y proporcionalmente es mayor la presión sobre la cabeza del primer metatarsiano por el valgo de rodilla presente con frecuencia, que conduce a una mayor pronación del pie. A los 6 años, aproximadamente, la distribución de las presiones es como en el adulto pues a esta edad la bóveda plantar ya se encuentra configurada.

A medida que se da el proceso del crecimiento, se observan cambios en las características de los parámetros de la marcha como el aumento de la velocidad y longitud de paso, alargamiento de la duración del apoyo monopodal (que indica un dominio del equilibrio y garantiza un tiempo suficiente para el paso del miembro oscilante), y la disminución de la cadencia y de la duración de los dobles apoyos. La estatura y la longitud de los miembros inferiores se correlacionan estrechamente con la longitud de los pasos (4).

Características de la marcha en adultos jóvenes: El patrón de marcha de adolescentes y adultos jóvenes se caracteriza por cierta ligereza, flexibilidad y agilidad, cualidades que irán disminuyendo a medida que pasen los años (8).

Cambios de la marcha durante el envejecimiento: Así como la marcha evoluciona hasta adquirir unas condiciones y unos parámetros en la adultez, durante el proceso de envejecimiento se modifican dichos parámetros y condiciones; alrededor de los 60 y 70 años de edad los principales efectos de la edad sobre la marcha corresponden a: la disminución en los componentes horizontal y vertical, disminución de los movimientos de balanceo, alteraciones posturales, hipertonia muscular principalmente a nivel del área de la cintura escapular y pélvica, disminución de la velocidad, la cadencia, la longitud de paso, el ángulo de progresión del pie, aumento de la anchura del paso, prolongación de la fase bipodal, pérdida del balanceo de los brazos y reducción de las rotaciones pélvicas y una menor rotación de cadera y rodilla, entre otras (8,14). Como proceso normal de envejecimiento, los diferentes sistemas corporales presentan cambios que se relacionan con dicha alteración del patrón de marcha, siendo unos de los más importantes aquellos que ocurren a nivel sistema musculoesquelético, por ejemplo: la columna vertebral, debido a la disminución de la altura de discos intervertebrales y el eventual acunamiento de vértebras por fracturas osteoporóticas, se produce una cifosis dorsal que desplaza el centro de gravedad anteriormente (5). En la rodilla se producen

alteraciones principalmente por artrosis, con disminución de la movilidad articular, siendo más compleja la pérdida de su extensión completa (5). En el tobillo disminuye el rango articular y la fuerza del tríceps sural (5). El doble apoyo en un joven abarca el 15-20% del patrón de marcha mientras que en un anciano abarca el 25-30%. Durante la fase de doble apoyo, el centro de gravedad se encuentra entre los pies, lo que favorece la estabilidad; el tiempo que dura la fase de apoyo ayuda a predecir la velocidad de la marcha y el largo de los pasos (5). A partir de los 65 años la velocidad de la marcha disminuye 15 a 20% por década, debido a que los adultos mayores tienen menor fuerza propulsiva ya que sacrifican el largo del paso en favor de lograr una mayor estabilidad (5). El ritmo al caminar se relaciona con el largo de las piernas y no cambia con la edad, a menos que existan otros factores como debilidad muscular y daño articular.

Con el paso de los años y el proceso fisiológicos de envejecimiento el deterioro de la marcha va a ser progresivo y definitivo, siendo agravado en la mayoría de las ocasiones por la presencia de enfermedades que van apareciendo también con el paso de los años (14). El cambio se debe principalmente a la modificación del centro de gravedad, y la disminución de la coordinación, los reflejos, el equilibrio, la fuerza, la flexibilidad, etc. (14). A los 60 años por ejemplo, un 15% de los individuos presentan alteraciones en la marcha, 35% a los 70 años y aumenta hasta cerca del 50% en los mayores de 85 años(5).

En un adulto la separación entre los maléolos en posición estática puede variar entre 5 y 15'5 cm, aunque lo más habitual es que oscile entre 6-9 cm (8). Con la edad va aumentando la separación entre los talones, que puede superar los 20cm. Esto mismo sucede durante la marcha; en un joven la separación entre los talones es aproximadamente de 6-8cm., de 8-12 cm en adultos, y se va haciendo mayor según aumenta la edad (8). Además presenta incapacidad para realizar la marcha en tándem, disminución o desaparición del braceo, reducción de la flexión plantar del tobillo en el despegue y de la flexión dorsal en la fase de choque de talón, lo que condiciona una disminución de la fuerza de reacción vertical y de los picos de presión durante el apoyo, así como aparición de cifosis y adopción de postura encorvada con flexión de rodillas (8). El motivo de que el anciano adopte esta posición en flexión es la disminución de la elasticidad y flexibilidad de ligamentos y tendones, que da lugar a la flexión de las articulaciones (8).

Parece ser que también hay diferencias ligadas al sexo (14). Así, en la mujer anciana, la velocidad todavía es menor que en el varón y la longitud de los pasos suele ser más pequeña (14). Las mujeres ancianas suelen tener una base de sustentación más pequeña y deambulación a pasos pequeños que ocasiona una marcha pélvica llamada «marcha de pato». El menor control muscular que hay a estas edades hace que el impacto del pie sobre el suelo sea más enérgico. Existe también una tendencia al valgo que coloca el cuello del fémur en una posición mucho más favorable para la fractura (14). Por el contrario, la base de sustentación de los hombres ancianos suele ser mayor, tanto en bipedestación como caminando. Por lo general, su postura suele ser más inclinada y arrastran los pies con importante flexión de los codos y las rodillas y disminución de las oscilaciones de los brazos. Tanto la fase de apoyo como la de balanceo se prolongan y la anchura de la zancada es mayor (14). Sin embargo, el proceso normal de envejecimiento y el deterioro propio de los años, no solo modifica el patrón de marcha sino que además altera el equilibrio; como los principales factores que lo alteran encontramos las enfermedades que comprometen el equilibrio a nivel central o de integración (enfermedad cerebrovascular, desmielinizante, demencias, tumores, etc), la disminución de la velocidad de respuestas reflejas, la alteración de la sensibilidad vestibular (presbiestasia), la pérdida de la sensibilidad auditiva en frecuencia e intensidad, la disminución de la sensibilidad propioceptiva, vibratoria y cinestésica, la pérdida gradual de la sensibilidad visual en campo y profundidad, las alteraciones de la vía motora eferente, la pérdida de masa muscular, fuerza y resistencia muscular, la disminución de la flexibilidad del aparato locomotor y las alteraciones posturales (5).

Alteración de la marcha por procesos patológicos:

La capacidad para caminar puede afectarse por la presencia de lesiones en varios sistemas u órganos corporales(9). Los trastornos de la marcha se definen por una lentificación de la velocidad de la marcha, inestabilidad, alteración en las características del paso (base, longitud, rangos de movimiento) o modificación en la sincronía de ambas extremidades inferiores, por sobre lo esperable para la edad, generando ineficacia para el desplazamiento y alterando las actividades de vida diaria (5). La alteración de la marcha puede evidenciarse en cualquiera de sus parámetros (espaciales, temporales, espaciotemporales y cinemáticos) por causas multifactoriales. Dentro de las principales condiciones patológicas que alteran el patrón

de marcha encontramos las alteraciones neurológicas como resultado de un accidente cerebrovascular, traumatismo encéfalo-craneano, trauma raquímedular, esclerosis múltiple, parálisis cerebral infantil, demencia, enfermedad de Parkinson, hematoma subdural crónico, hidrocefalia normotensiva, atrofia cerebelosa, mielopatías, radiculopatías, polineuropatías, mononeuropatías de miembros inferiores, miopatías (60% de los pacientes) y/o musculoesqueléticas (40% de los pacientes) como patología articular degenerativa o inflamatoria, sarcopenia, secuelas de traumatismos de extremidades inferiores, alteraciones de los pies, dolor por lesiones de partes blandas de extremidades inferiores; y en menor cantidad alteraciones cardiorrespiratorias como insuficiencia cardíaca, insuficiencia arterial o venosa de extremidades inferiores y EPOC; alteraciones metabólicas (diabetes mellitus, hipotiroidismo, insuficiencia renal crónica, daño hepático crónico), psicológica (depresión, estrés post caída) y determinados tratamientos farmacológicos (benzodiazepinas, neurolepticos, anticonvulsivantes, antidepresivos). Las alteraciones neurológicas pueden generar cambios del ancho de paso, cadencia, pseudoclaudicación (debilidad muscular y parestesias de las extremidades inferiores al caminar, que ceden con el reposo), aumento en la base de sustentación e inestabilidad principalmente. La causa de alteraciones en la longitud de paso es difícil de determinar debido a que puede relacionarse con alteraciones neurológicas, cardiorrespiratorias y musculoesqueléticas(5).

Una condición particular que causa también modificaciones al patrón de marcha, pero que corresponde al resultado de modificaciones fisiológicas más que a un proceso patológico como tal, es el proceso de gestación o gravidez. Las mujeres en embarazo sufren numerosos cambios en el aparato locomotor: se produce una alteración en la distribución de los órganos de la cavidad abdominal debido al crecimiento del útero en tamaño y peso, generando un aumento de la lordosis lumbar y una hipercifosis torácica compensatoria acompañada del aumento de las glándulas mamarias (15); debido a que la cintura escapular y la porción superior de la espalda se redondean y la cabeza se desplaza hacia delante, los músculos posteriores del cuello aumentan su tensión para soportar la cabeza y mantener la mirada hacia el frente. Los cambios hormonales contribuyen a la laxitud articular y a la hipermovilidad produciendo la hiperextensión de las rodillas, alteraciones en el pie tales como aumento de 10° en la movilidad de la articulación

metatarsofalángica del primer dedo, descenso del seno del tarso y aumento de la tendencia del pie a la pronación (Block, 1985) (16), esto, junto con el aumento de la lordosis lumbar desplaza el peso a los talones desviando el centro de gravedad posteriormente. En el pie y en el tobillo se observa un aplanamiento de los arcos con una tendencia a la pronación. Una escasa alienación en el pie conduce a unos cambios en la cinética de la cadena posterior (16). En la gestación se producen además cambios en el equilibrio, al aumentar de peso se produce una redistribución espacial con compensaciones para mantener el equilibrio. y se amplía la base de sustentación al caminar, generalmente durante el tercer trimestre.

Estudio y análisis de la marcha

La valoración de la marcha constituye una herramienta diagnóstica importante en la evaluación de patologías principalmente relacionadas con el sistema musculoesquelético (17). El estudio de la marcha ha interesado desde tiempos remotos y los métodos para su evaluación ha evolucionado con los años, se han perfeccionado y simplificado las técnicas para su análisis y se han desarrollado nuevos métodos que permiten valorar los distintos parámetros de la marcha de forma objetiva y eficaz, apreciar los factores que pueden modificarla, diagnosticar alteraciones del patrón de marcha en diversas patologías y lesiones traumáticas, y realizar un control y seguimiento de pacientes para observar la evolución de los mismos, valorar la efectividad del tratamiento, recuperación tras una intervención quirúrgica, necesidad de ayudas técnicas, etc. (8).

La adecuada evaluación de la marcha inicia desde la anamnesis de patologías existentes que pueden estar relacionadas con su alteración, así como de un completo examen físico del individuo. Para investigar la etiología de su trastorno, el énfasis debe estar en el examen musculoesquelético y neurológico, sin olvidar la evaluación sensorial (visión y audición), cardiorrespiratoria y mental (5). La exploración física habitualmente se estructura en el examen físico general y segmentario, que incluye observación, palpación e inspección de las diferentes estructuras, principalmente la columna y miembros inferiores (5). El examen neurológico debe incluir pares craneales, pruebas cerebelosas, sistema motor (fuerza, tono, reflejos osteotendinosos, reflejos patológicos) y sensitivo (sensibilidad superficial y profunda). El examen mental

debe enfocarse en detectar capacidades cognitivas y afectivas, que han demostrado estar relacionada con alteraciones del patrón de marcha (5).

Los equipos de salud deben estar capacitados para detectar las alteraciones de la marcha, realizar una buena evaluación y orientar el estudio etiológico debido a que, en muchos casos, la identificación y el tratamiento de la enfermedad de base será suficiente para corregir el trastorno en este patrón de movimiento (5), y generar un impacto positivo importante en la independencia y funcionalidad del individuo.

Métodos y herramientas de evaluación: Las alteraciones de la marcha, a pesar de su prevalencia, no constituyen un motivo frecuente de consulta al médico general o al médico especialista y cuando los pacientes consultan, muchos médicos se sienten poco preparados para evaluar este problema. La evaluación de los pacientes debe ser integral e involucrar la participación de un equipo interdisciplinario de profesionales (5).

Los métodos existentes para el análisis de la marcha son numerosos, y permiten la obtención de los parámetros cuantitativos característicos de una manera objetiva. Durante el análisis de marcha muchos factores deben ser considerados para realizar la evaluación de forma correcta, algunos de ellos se deben tener en cuenta desde la etapa de configuración y planeación del laboratorio, otros para el proceso de adquisición de los parámetros o para el análisis de los resultados (11).

Para evaluar los parámetros temporales y espaciales, se han implementado desde la tinta y papel, interruptores de pie, un pasillo instrumentado hasta los más sofisticados sistemas de análisis como la videogrametría que incluye la colocación de marcadores en el cuerpo, que son detectados por sistemas optoelectrónicos; algunas de las técnicas implican el uso de acelerómetros y goniómetros. Después de la etapa de adquisición de datos, el segundo paso consiste en la colocación de los marcadores, que permitirán determinar los ángulos de las articulaciones, velocidad lineal y angular, y los patrones de aceleración. Estos sistemas de adquisición de datos utilizados para determinar los parámetros cinemáticos son con frecuencia demasiado complejos, requiriendo demasiado tiempo y entrenamiento del personal en su manejo, pero constituyen herramientas útiles en la investigación.

Para la obtención de los parámetros cinéticos, se pueden

utilizar placas de fuerza a lo largo de medidores de tensión o de elementos piezoeléctricos. Dos tipos de fuerza se pueden registrar: las fuerzas verticales y las fuerzas de corte medio-lateral y antero-posterior. Otros parámetros cinéticos relevantes incluyen la presión (fuerza / área) ejercida por debajo del pie, pero para determinar estos parámetros, las placas de la fuerza no son suficientes, requiriéndose calzado especial que cuenta con sensores para medir las fuerzas ejercidas en diferentes partes del pie o pasillos con sensores. Según el tipo de estudios que quieran realizarse, y el tipo de pacientes a estudiar, se determinan los parámetros de interés. Los laboratorios más sencillos pueden obtener los parámetros espaciales, temporales y espaciotemporales, mediante la utilización de cintas métricas, cronómetros y un análisis visual sistemático. Para los análisis cinemáticos y cinéticos, se cuenta con gran variedad de herramientas como la dinamometría, acelerometría, ultrasonido, goniometría digital, sistemas de análisis en dos y tres dimensiones, entre otros (11). Sistemas que combinan técnicas de videogrametría, dinamometría y electromiografía, son los más utilizados tanto en el ámbito clínico como en otros campos como la biomecánica deportiva, ergonomía, diseño y evaluación de calzado, ayudas técnicas, y evaluación de riesgo en actividades físicas(11). Actualmente uno de los métodos más utilizados es la combinación de plataformas dinamométricas para la cinética con técnicas de videogrametría para la cinemática, comúnmente en unión a sistemas de registro de EMG dinámica (11). En un estudio reciente (18) se implementó el uso de un acelerómetro triaxial en el parte inferior del tronco para el análisis de marcha.

La videogrametría es una técnica derivada de la fotogrametría que se vale de imágenes de algún objeto tomadas desde varios puntos de vista para realizar una reconstrucción tridimensional (19). Con el fin de lograr tal objetivo, dicha técnica usa el método transformación lineal directa, que consiste en un par de ecuaciones lineales que relacionan la coordenada en la imagen de un punto con su ubicación espacial, mediante la teoría de proyección perspectiva. Aunque la videogrametría es una aproximación usada para la reconstrucción tridimensional, puede ser aplicada para el análisis bidimensional del movimiento, mediante el uso de una cámara situada paralela al plano que se analizará (19). La electromiografía se refiere al análisis de las actividades del músculo y la determinación de la duración y la intensidad relativa de la actividad muscular;

los registros de EMG proporcionan un medio útil para determinar patrones de activación muscular durante la marcha. La actividad de los músculos superficiales puede ser registrada con electrodos de superficie y la de los músculos profundos con electrodos de alambre fino. Para el análisis de la marcha por el método de combinación

de plataformas dinamométricas y videogrametría, se requiere del posicionamiento de marcadores, de acuerdo a medidas antropométricas previas, una previa calibración del sistema, determinación de la longitud del pasillo y de las plataformas de fuerza.

Posicionamiento de los marcadores: Es uno de los

Tabla 3. Fase o periodo de Balanceo

Medida	Descripción
Ancho EIAS:	Distancia horizontal entre la espinas iliacas anteroposteriores.
Longitud Muslo	Distancia vertical entre el punto superior del trocánter mayor del fémur y el margen superior de la tibia
Circunferencia a nivel del muslo Medio	Distancia vertical entre el punto superior del trocánter mayor del fémur y el margen superior de la tibia
Longitud de la pierna	Distancia vertical entre el margen superior de la tibia y el maléolo
Ancho intermaleolar	Distancia entre el maléolo lateral y medial de cada pierna
Alto del Maléolo	Distancia vertical desde el piso hasta el maléolo
Ancho Pie	Distancia entre el I y el V metatarsiano
Longitud Pie	Distancia desde la parte posterior del calcáneo hasta la punta del dedo
Diámetro Rodilla	Distancia entre los epicóndilos del fémur

aspectos con mayor influencia durante el proceso de adquisición en los análisis mediante videogrametría, que corresponde a colocación de los marcadores que utiliza el sistema para detectar los puntos anatómicos (11). Para la colocación de los marcadores existen diversos protocolos, siendo el protocolo de Davis uno de los más utilizados actualmente, en el que como puntos anatómicos de referencia se toman las prominencias óseas (11). Lo ideal para obtener los movimientos más precisos de los huesos sería ubicar los marcadores directamente adheridos a las estructuras óseas, sin embargo las desventajas son evidentes en cuanto al dolor, riesgo en el procedimiento y la modificación de los movimientos naturales (11). Por esto se utilizan los marcadores adheridos a la piel en puntos anatómicos de referencia. Sin embargo, se ha reportado que ésta es la configuración menos precisa para los marcadores, debido a que cada uno presenta desplazamientos independientes respecto al hueso, no obstante, el posicionamiento ideal de los marcadores es un aspecto con el que aún no se ha llegado a un acuerdo, siendo reportado como una fuente de error mayor que los errores instrumentales y de calibración.

Calibración del sistema: Depende del tipo de estudios

que se realicen. Pacientes de estaturas menores y de marchas más accidentadas hacen necesaria una calibración más estricta, pues el reconocimiento de los marcadores por las cámaras se hace especialmente difícil y la aparición de marcadores falsos o fantasma es frecuente (11). En casos en los que no hay una buena calibración se hace necesario el registro de muchos recorridos hasta que se obtenga uno que puede ser analizado, lo cual es una gran desventaja principalmente al trabajar con pacientes que se fatigan rápidamente o que experimentan dolor durante la marcha. En estos casos de tener que realizar varios recorridos no solo sería un inconveniente para el paciente, sino que además afectaría los resultados, pues se estaría analizando un patrón de marcha con fatiga o con mayor presencia de dolor y que no correspondería al patrón natural.

Los sistemas de videogrametría requieren tres tipos de calibración: linealización de las cámaras, calibración dinámica 3D (ó 2D) del volumen de muestreo (campo visual de las cámaras), y calibración geométrica de forma de la plataforma de fuerzas y su ubicación en el espacio (11). Sin embargo, antes de realizar esta calibración se debe hacer una revisión en el monitor de lo que está

siendo capturado por cada una de las cámaras, mediante la colocación de unos marcadores de referencia en el volumen de muestreo, de modo que se pueda verificar que se esté identificando el total de los marcadores y que no se esté tomando como marcador algún punto fantasma. En caso de no visualizar lo esperado se debe realizar un ajuste a los diafragmas de las cámaras o eliminar objetos que puedan estar causando este error.

Pista o pasillo: Las dimensiones de la pista o pasillo en el que el paciente realiza su marcha, deben ser suficientes para lograr la ejecución de más de un ciclo completo de la marcha a cadencia libre. Para tener los parámetros de la marcha se necesita como mínimo el análisis de un ciclo completo, que consiste una zancada. En muchos casos, la utilización de pistas de aproximadamente 4 m resulta suficiente para establecer una marcha natural (11). En niños sanos, el largo de zancada promedio es de 1,07 m aproximadamente, mientras que en personas de 10 a 79 años el máximo promedio se da en los hombres de 15 a 19 años y es de 1,2 m en marchas normales, llegando hasta 1,6 m en promedio en marchas rápidas con una desviación estándar de 0,06 m en cada paso (11). Así, en algunos casos un pasillo de 4 m sería apenas suficiente para realizar 2 ciclos completos, y el análisis debería realizarse sobre los dos pasos intermedios (1 sólo ciclo), de modo que no se incluya el paso inicial ni el final. Los niños de estaturas menores podrían alcanzar a realizar incluso más de cuatro ciclos completos, sin embargo en estos casos el reconocimiento de los marcadores por las cámaras se dificulta y por lo tanto el análisis muchas veces se refiere a uno o dos ciclos solamente. Pistas más largas permiten una marcha más típica y mayor información para realizar cálculos estadísticos de los parámetros (11).

Plataformas de fuerzas: Generalmente, en los laboratorios se obtiene la cinética de un solo paso, cuando sería ideal tener la información estadística de más pasos para asegurar un patrón más típico (11). Para esto sería necesario contar con varias plataformas dinamométricas o tener la posibilidad de promediar los datos de diferentes recorridos. Si se cuenta con dos plataformas es posible registrar en el mismo recorrido la información cinética de ambos pies, aunque es difícil la ubicación relativa de ambas para que coincida con los anchos y largos de paso de los pacientes. Incluso, con la utilización de una sola plataforma, resulta a veces complicado obtener el paso limpio sobre ella, y para lograrlo el paciente debe ser reubicado varias veces

en diferentes posiciones de inicio hasta que el paso sea ubicado correctamente y sin que el paciente sea informado de esta necesidad. Con algunos pacientes la obtención de este paso limpio es aún más complicada, como cuando hay marchas muy accidentadas (por ejemplo en tijera) o hay utilización de ayudas técnicas que al ser apoyadas en la plataforma distorsionan el patrón.

Con los reportes generados es posible obtener información acerca de la eficiencia de la marcha, su grado de normalidad o la regularidad del movimiento, y con base en esto elegir el tratamiento más efectivo para los problemas específicos de la marcha, así como obtener caracterizaciones más precisas de las diferentes patologías para el diagnóstico y el conocimiento de la severidad de la enfermedad en cada paciente (11).

Laboratorios de marcha en Colombia

Un laboratorio de análisis de marcha puede ser considerado desde la perspectiva tecnológica como "un sistema multifactorial integrado que comprende básicamente tres bloques principales: Un sistema tridimensional de captura de movimiento (cinemática), un sistema para la medición de fuerzas, momentos de fuerza y potencias involucradas en el movimiento (cinética) y un sistema de registro de la actividad de contracción relacionada a músculos individuales o grupos musculares (Electromiografía dinámica)" (2). En Colombia, existen actualmente varios laboratorios destinados para la evaluación de la marcha, entre los que encontramos el laboratorio del Centro integral de rehabilitación de Colombia (CIREC), en el que se realiza un análisis de marcha mediante el sistema BTS Smart D, de fabricación Italiana, compuesto de 6 Cámaras Optoelectrónicas de alta resolución, 3 Cámaras de Video Digital, 2 Plataformas de Fuerza y un Sistema de Análisis de Presiones Plantares (Baropodometría) (20); el laboratorio de la Universidad de los Andes, en el Instituto de Ortopedia Infantil Roosevelt, en el que se registra el movimiento de las articulaciones en tres dimensiones, utilizándose en los miembros inferiores 16 marcadores reflectivos en sitios específicos, para obtener imágenes que son transferidas a través de una red digital de alta velocidad a un computador central; el sistema que utiliza comercialmente se denomina APAS (21). También se encuentra el laboratorio de marcha realizado en la Universidad Nacional el grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica, Bioingenium, el cual construyó

el primer laboratorio de marcha Colombiano, que permite analizar problemas de movimiento causados por diversas enfermedades; el laboratorio de la FUMC en Medellín, usado para realizar un diagnóstico objetivo de los trastornos del movimiento en aquellas personas que presentan alguna patología que afecta el sistema músculo esquelético y que además es utilizado para el estudio y perfeccionamiento del desempeño deportivo (22); y el laboratorio de la Universidad CES, construido por dicha universidad en convenio con la (Escuela de Ingeniería de Antioquía) y el apoyo de Colciencias; el sistema de medición creado consistió en el desarrollo de un sistema de análisis de movimiento con técnicas de videogametría, compuesto por 4 componentes: sistema de calibración y reconstrucción tridimensional, sistema de digitalización de marcadores, modelo cinemático, sistema de filtrado y suavizado de los datos (2).

Parámetros de normalidad reportados en la literatura

Desde 1971 a la fecha, autores como Lamoreux (1971), Winter (1974), Herman (1976), Murray (1979), Larson (1980), Riley (1996), Growney y cols (1997), Riley (1996), Stolze y cols (1998) han reportado varios de los parámetros de la marcha, siendo los más frecuentes la velocidad, la longitud de paso y la longitud de zancada. En promedio la marcha lenta tiene una velocidad de 1.138 m/s, marcha confortable 1.48 m/s y marcha rápida 2.018 m/s. Para la valoración de la longitud del paso y la zancada los autores tuvieron en cuenta el ciclo de vida y género de la población estudiada, realizando además comparaciones entre hombres y mujeres; en promedio se encuentra que la longitud de zancada es mínimo 1,29 metros, media 1.42 metros y máximo 1.62 metros y la longitud de paso, mínimo 0.65 m, media 0.71 m y máximo 0.81 m.

Entre los parámetros cinemáticos se encuentran los reportados por Perry, 1992 (6) para la movilidad articular de cadera, rodilla y tobillo, de acuerdo al porcentaje de intervalo del ciclo total de la marcha en una zancada, por ejemplo, la flexión plantar dentro del 0-7% del ciclo de la marcha alcanza hasta los 7° y entre el 48-62% hasta 20°; la dorsiflexión es de hasta 10° entre 7-48% del ciclo de la marcha y hasta 0° entre el 62-100%; a nivel de la articulación de la rodilla el autor describe una flexión de hasta 18° entre 0-15% y de hasta 65° entre el

40-70% del ciclo de la marcha, y una extensión de rodilla hasta 5° entre el 15-40%, y hasta 2° entre el 70-97% del ciclo de la marcha; así mismo describe a nivel de la articulación de la cadera una flexión de 30° durante 0% y de hasta 35° durante el 85% del ciclo de la marcha, y una extensión de cadera de 10° durante el 50% del ciclo de la marcha. Los parámetros espacio-temporales reportados se encuentran como valores promedios para adultos jóvenes: cadencia 117 p/min, velocidad 1.53 m/s, longitud de la zancada 1.57 m, y en los ancianos 114 p/min, 1.39 m/s y 1.46 m (6).

Parámetros espaciotemporales como cadencia, longitud de la zancada y velocidad han sido reportados por diversos autores, diferenciados por sexo; Murray (1964) (6) por ejemplo reporta una cadencia de 117 p/min tanto en varones como en mujeres, una velocidad de 1,53 m/s en varones y 1,30 m/s en mujeres, y un longitud de zancada 1,57m en varones y 1.33m en mujeres; por otra parte Chao (1893) (6) reporta una cadencia de 102 p/min en varones y 108 en mujeres, una velocidad de 1,2 m/s en varones y 1,1 m/s en mujeres y una longitud de zancada de 1,42 m para varones y 1,22 para mujeres; Kabada (1990) (6) por su parte reporta una cadencia de 112 p/min en varones y 115 p/min en mujeres, velocidad de 1,34 m/s en varones y 1,27 m/s en mujeres, con una longitud de zancada de 1,41 m para varones y 1,30 m para mujeres; y Perry en 1992, reporta una cadencia de 111 p/min en varones y 117 p/min para mujeres, una velocidad de 1,43 m/s en varones y 1,28 m/s en mujeres, con una longitud de zancada de 1,46 m para varones y 1,28 m para mujeres (6). Múltiples investigaciones (23–29) se han llevado a cabo en diferentes países para determinar parámetros de normalidad en la marcha de acuerdo a las características de la población y su distribución por edad y sexo (tabla 4.); pudimos apreciar la coincidencia en los siguientes aspectos: 1) La mayoría de los parámetros encontrados en la población masculina son mayores que los femeninos. 2) Existen diferencias estadísticamente significativas entre los parámetros de normalidad de la marcha según grupo poblacional, lo cual puede justificarse por la variedad de medidas antropométricas especialmente la Altura. 3) Los cambios que se dan con la edad modifican los parámetros de la marcha.

Tabla 4. Relación de investigaciones preliminares en diferentes países sobre parámetros de normalidad en la marcha de acuerdo a las características de la población y su distribución por edad y sexo

Artículo	Conclusiones/Resultados	Caracterización de la población	País
Estudio morfuncional de la marcha humana. (26)	Los parámetros de la marcha que mostraron ser significativamente mayores en los hombres que en la mujer fueron el TDA (tiempo de doble apoyo), el TAD (el tiempo de apoyo derecho), el TAI (el tiempo de apoyo izquierdo), el TFVADD (Tiempo fuerza vertical del apoyo dista derecho), el TFVADI (Tiempo fuerza vertical del apoyo dista izquierdo), el IFVADD (índice de la fuerza vertical del apoyo distal derecho), el IFVADI (índice de la fuerza vertical del apoyo distal izquierdo), y el ICDA (Índice de tiempo de doble apoyo)	30 varones y 30 mujeres, sin patología aparente del aparato locomotor, con edades comprendidas entre 17 y 22 años	España
Evaluación preliminar de la marcha en individuos sanos. (27)	Los hombres presentan una marcha con valores más altos de velocidad (Vm), longitud de ciclo (Lc) y de paso (Lp) que las mujeres. Los cubanos caminan con la menor cadencia, seguidos por los asiáticos y occidentales respectivamente. Los parámetros de Vm, Lc, presentados en el estudio actual, son semejantes a los reportados para la población asiática, Tabeum et al (2005). La semejanza encontrada en relación con los asiáticos, pudiera deberse a la similitud de estatura entre ambas poblaciones. La similitud en los rangos de movimientos de la cadera, la rodilla, y el tobillo mostrados en el estudio actual, son similares a los coreanos.	50 mujeres y 50 hombres HOMBRES Edad: 33,4 (DE: 3,3) Talla: 1,78 (DE: 0,8) Peso: 78,6 (de: 3,4) MUJERES Edad: 35,6 (DE: 6,4) Talla: 1,62 (DE: 0,7) Peso: 71,6 (de: 4,3)	Cuba
Análisis de los parámetros cinemáticos de la marcha normal. Estudio y análisis de los patrones de la marcha normal. (23)	Existe relación entre la estatura, el largo del ciclo y el paso. La duración del ciclo está relacionada con la longitud el paso. La medición de los rangos de ángulo de cadera, sugieren que los adultos mayores tendrán a mantener su centro de gravedad más estable; por esto aumentan su rango de movimiento. En la evaluación no es necesario medir las dos extremidades, ya que en paciente sano, no hay diferencias significativas. En las evaluaciones no hay diferencia significativa en las mediciones intra e inter sujeto.	30 hombres mexicanos	México

Tabla 4. Relación de investigaciones preliminares en diferentes países sobre parámetros de normalidad en la marcha de acuerdo a las características de la población y su distribución por edad y sexo

Artículo	Conclusiones/Resultados	Caracterización de la población	País
Basic gait parameters : Reference data for normal subjects, 10-79 years of age. (25)	Velocidad de la marcha, la longitud de paso y la frecuencia de paso eran más bajos para las mujeres que para los hombres. La edad avanzada genera reducción de la velocidad de la marcha y la longitud del paso, pero sólo pequeños cambios de la frecuencia de paso. Los cambios que se dan con edad, están directamente relacionados velocidad y la longitud del paso.	233 sujetos de 6 a 80 años, hombres y mujeres divididos en cuatro grupos de edad	California EEUU
Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking. (28)	No hubo diferencias significativas en los parámetros espacio-temporales entre los sujetos masculinos y femeninos. A excepción de ab-/aducción de la cadera, no hubo diferencias significativas entre los grupos masculinos y femeninos para los patrones angulares de la articulación de la cadera	40 adultos jóvenes, con rango de edad de 18-40 años, 28 hombres y 12 mujeres.	New York EEUU
Assessment of spatio-temporal parameters during unconstrained walking. (24)	Duración del paso disminuye al aumentar la velocidad	26 adolescentes (12 hombres y 14 mujeres, entre 19 y 23 años) 15 adultos mayores (7 hombres y 8 mujeres, entre 62 a 87 años)	Países bajos
El cambio de parámetros de la marcha al caminar según la velocidad preferida para caminar de los adultos sanos de entre 20-60 años. (29)	Las diferentes edades y grupos organizados por sexo tuvieron un desempeño similar en marcha la mayoría de los movimientos articulares. Las diferencias de edad y el género se encontraron en VGRFs y EMG del músculo. Las mujeres presentaron un VGRF significativamente mayor en las etapas de choque de talón y despegue de dedos, así como mayor actividad del músculo tibial anterior. Los sujetos de mayor edad tenían significativamente más actividad muscular del recto anterior que los adultos jóvenes.	Los sujetos tenían entre 20 y 60 años y de ambos sexos estaban igualmente representados.	China

Conclusión

De acuerdo con los parámetros de marcha contenidos en la literatura y la multiplicidad de factores que los componen y alteran, surge la necesidad de determinarlos en la población colombiana, con el fin de garantizar que dicho análisis sea objetivo para los evaluadores.

Referencias

1. Ley 528 de 1999 [Internet]. [citado 2012 may 27]. Available a partir de: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-105013_archivo_pdf.pdf
2. M Hincapié SM, Muñoz R DI. Acercamiento a un diagnóstico fisioterapéutico: Análisis de marcha. *Revista Facultad Ciencias de la Salud. Universidad del Cauca* [Internet]. 2010;12(4). Available a partir de: <http://facultadsalud.unicauca.edu.co/Revista%5CPDF%5C2010%5Cart5diciembre.pdf>
3. Javier Daza Lesmes. Examen de la marcha humana. Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano. Bogotá: Panamericana; 2007.
4. Viel E. La Marcha humana : la carrera y el salto : biomecánica, exploraciones, normas y alteraciones. Barcelona ;;México: Masson; 2002.
5. Cerda A. L. Evaluación del paciente con trastorno de la marcha. *Revista Hospital Clínico Universidad de Chile*. 2010;21(4):326–36.
6. Prat J. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. [Paterna (Valencia)]: Instituto de Biomecánica de Valencia; 2005.
7. Jaime Prat. Curso de formación de técnicos ortoprotésicos «euroform» miembro inferior y marcha humana. Instituto de biomecánica de Valencia. Fondo Social Europeo; 1994.
8. Análisis de la marcha. factores moduladores [Internet]. [citado 2011 nov 18]. Available a partir de: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-doc/analisis_marcha.pdf
9. Bensoussan L, Viton J, Barotsis N, Delarque A. Evaluation of patients with gait abnormalities in physical and rehabilitation medicine settings. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2008;40(7):497–507.
10. Fiona Coutts. Evaluación de la marcha en el ámbito clínico. *Fisioterapia en ortopedia: un enfoque basado en la resolución de problemas*. 2.a ed. Madrid: Elsevier; 2007.
11. Adriana Villa Moreno, Eduardo Gutiérrez Gutiérrez, Juan Carlos Pérez Moreno. Consideraciones para el análisis de la marcha humana. *Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría*. *Revista Ingeniería Biomédica*. 2008 jun;16–26.
12. Shaffer D. *Developmental psychology : childhood and adolescence*. 7th ed. Australia ;;Belmont CA: Wadsworth/Thomson; 2007.
13. Viladot Pericé R. *Ortesis y prótesis del aparato locomotor*. España: Masson; 2001.
14. Teresa Villar San Pío, M.a Pilar Mesa Lampré, Ana Belén Esteban Gimeno, Ana Cristina Sanjoaquín Romero, Elena Fernández Arín. *Alteraciones de la marcha, inestabilidad y caídas*. *Tratado de geriatría para residentes*. Madrid: Sociedad Española de Geriatría y Gerontología; 2007.
15. Lpez Chicharro J, Lpez Mojarres LM. *Fisiología clínica del ejercicio*. Madrid: Editorial Mdica Panamericana; 2008.
16. Corbi Soler F. *Biomecánica del pie*. 1.a ed. 2008.
17. Oberg T, Karsznia A, Oberg K. Basic gait parameters : Reference data for normal subjects, 10-79 years of age. *Journal of Rehabilitation Research*. 1993;210–23.
18. Wiebren Zijlstra. Assessment of spatio-temporal parameters during unconstrained walking. *European Journal of Applied Physiology*. 2004;39–44.
19. Díaz CA, Torres A, Ramírez JI, García LF, Álvarez N. Descripción de un dispositivo destinado al análisis de la marcha en dos dimensiones, CineMED. *Revista EIA*. 2006 jun;85–92.
20. Cirec inaugura el más avanzado laboratorio de análisis de marcha de Latinoamérica [Internet]. [citado 2011 nov 18]. Available a partir de: http://www.topoequipos.com/dem/index.php?option=com_content&task=view&id=362&Itemid=412
21. Laboratorio de Marcha [Internet]. [citado 2011 nov 18]. Available a partir de: <http://laboratorio-marcha.uniandes.edu.co/>
22. FUNDACIÓN UNIVERSITARIA MARÍA CANO - Hermesoft 2.1 [Internet]. [citado 2011 nov 18]. Available a partir de: http://www.fumc.edu.co/fumc/hermesoft/portal/home_1/htm/cont0.jsp?rec=not_5174.jsp
23. Pérez Orive J, Pichardo AE, Chávez Arias

- D. Análisis de parámetros cinemáticos de la marcha normal. Estudio y análisis de patrones de marcha normal. *Rev Mex Ortop Traum.* 1998;12(5):372–6.
24. Zijlstra W. Assessment of spatio-temporal parameters during unconstrained walking. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2004 jun;92(1-2):39–44.
25. Oberg T, Karsznia A, Oberg K. Basic gait parameters: reference data for normal subjects, 10-79 years of age. *J Rehabil Res Dev.* 1993;30(2):210–23.
26. Dankloff Mora C, Rodríguez R, Fernández Valencia R. Estudio Morfofuncional de la marcha humana. *Biomecánica.* 1993;1(1):54–8.
27. Díaz Novo C, López Rios N, Montoya Pedrón A, Carvajal Fals H. Evaluación preliminar de la marcha en individuos sanos. *Universidad, Ciencia Y Tecnología.* 2007;11(44):135–40.
28. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J. Orthop. Res.* 1990 may;8(3):383–92.
29. Chung M-J, Wang M-JJ. The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20-60 years. *Gait Posture.* 2010 ene;31(1):131–5.

Correspondencia:

Tatiana Julieth Briñez Santamaría, e-mail: tajubrisan@hotmail.com Dirección: Carrera 55 N° 30B – 04 . Tel: 451 9338 – 310 8227271

Recibido para publicación: Noviembre 7 de 2012
Aprobado para publicación: Septiembre 2 de 2013



UNIVERSIDAD CES
Un Compromiso con la Excelencia
Resolución del Ministerio de Educación Nacional No. 1371 del 22 de marzo de 2007