

## **ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARCHA PATOLÓGICA: UN ESTUDIO DE CASO**

### **BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE PATHOLOGICAL MARCH: A CASE STUDY**

**Autores:** MSc. Maury Herrera- Montero

MSc. Amada Gómez- Zoquez

Universidad de Holguín. Facultad de Cultura Física y Deporte

**País.** Cuba

#### **RESUMEN**

La marcha, medio mecánico de locomoción del ser humano, donde el cuerpo, estando de pie, se desplaza de un lugar a otro, es más compleja de lo que a veces imaginamos, dado que en ella interactúan varios sistemas: osteomioarticular, neuromuscular, entre otros. El conocimiento de la marcha patológica, que es aquella en la que sus características normales o dinámica natural, se ven notablemente afectadas por determinada causa, es importante para definir sus trastornos, tratamiento y conducta a seguir. En el presente trabajo se realiza el estudio de un caso único de marcha hemipléjica espástica parcial del lado izquierdo, utilizando los elementos de la Biomecánica y creatividad de aplicación de una órtesis con la función del movimiento pendular, contribuyendo a la erradicación de la

espasticidad de los músculos del metatarso afectado y fortalecimiento de la cadena cinemática propia a esta afectación. Esto permitió describir el comportamiento de las características del movimiento en el transcurso de la obligada rehabilitación, a partir de su comparación con las características del patrón de marcha humana normal.

**Palabras clave.** Marcha humana, marcha patológica, Biomecánica

#### **ABSTRACT**

The march, mechanic mean of locomotion of the human being, where the body, stood up, walks from one place to another, is more complex than we can imagine sometimes, since many systems interact in it: osteomioarticular, neuromuscular, among others. The knowledge of the pathology march, which is the one that in its normal characteristics or natural

dynamic, are very affected for some cause, it is important for define its disorders, treatment and behavior to follow. In the present paper work the study of a unique case is done of a partial hemiplegic-spastic march of left side, using the biomechanical elements and application creativity in the function of pendulum movement through an órtesis, helping the eradication of spasticity of the affected metatarsus and strength of the cinematic chain, from this problem, which allowed to described the behavior of the characteristics of movement in the way of the forced rehabilitation from its compare with the characteristics from the normal human patron of march.

**Key words.** Human march, pathology march, Biomechanics

## INTRODUCCIÓN

Una de las características inherentes a la raza humana es la posibilidad de desplazamiento. La manera más común es a través de la marcha, siendo ésta su medio mecánico de locomoción, donde nuestro cuerpo, estando de pie, se desplaza de un lugar a otro.

Tal como se plantea en el artículo “Biomecánica de la marcha” del Centro de Fisioterapia de Marc (2016):

En el ser humano, forma y función, anatomía y fisiología, arquitectura y biomecánica van indisolublemente unidas, una condiciona a la otra y por lo tanto deben estudiarse conjuntamente. Desde el punto de vista biomecánico el pie es: soporte pieza esencial en el mantenimiento de la postura vertical y desarrollo de la marcha. Si bien anatómicamente es considerado el último segmento o segmento terminal del miembro inferior, biomecánicamente debe ser interpretado como el primer eslabón en la cadena cinética. El pie del hombre al contrario que la mano sacrifica todas sus funciones para concentrarse en dos objetivos fundamentales: soportar el peso del cuerpo y caminar. Recordemos que es una estructura tridimensional variable, con el objeto de amortiguar el choque contra el suelo y adaptarse a las irregularidades del terreno y debe considerarse la puerta de entrada de nuestros estímulos gravitatorios y de nuestro sentido del equilibrio”. (párr. 2)

Lo anteriormente planteado ofrece argumentos a favor del estudio de la marcha patológica, aplicando los

conocimientos de las tecnologías a nuestro alcance y de las leyes de la Biomecánica General, como ciencia que estudia el movimiento mecánico en los organismos animales, sus causas y manifestaciones, (Donskoi, 1982). En el caso del ser humano, este movimiento es la actividad motriz y se realiza en forma organizada mediante una o varias acciones relacionados entre sí.

En el presente trabajo se realiza una comparación entre algunas características biomecánicas de la marcha patológica y las del patrón de marcha humana normal, en un sujeto hemipléjico parcial, en el transcurso de la rehabilitación realizada, se aprovechan los movimientos pendulares de la pierna con una órtesis de tobillo.

## **METODOLOGÍA**

La investigación corresponde a un estudio de caso único de un sujeto de 66 años que fue intervenido quirúrgicamente al detectársele una tumoración benigna en el parietal derecho. Es un sujeto clasificado con marcha hemipléjica espástica parcial del lado izquierdo. La espasticidad es una de las manifestaciones más frecuentes del síndrome piramidal, definido por Lance, en 1980, como un trastorno motriz caracterizado por aumento del tono

muscular con reflejos exagerados de los tendones debido a una hiperexcitabilidad del reflejo miotático.

El sujeto investigado luego de la operación quedó en estado de cuadriplejia y al cabo de un año recuperó el lado derecho y quedó con una pronunciada hemiplejia del lado izquierdo. Esto le provoca una marcha hemipléjica espástica parcial de ese lado, cuyas causas son atribuibles a un espasmo muscular donde están involucrados los siguientes músculos: tríceps crural, flexores de cadera, gemelos, flexor propio del primer dedo, flexores dorsales, cuádriceps, flexo-extensores y extensores dorsales, lo que ocasiona inseguridad, desequilibrio y ausencia del empuje necesario para el sostén del cuerpo y poder dar paso libre al desplazamiento de la pierna derecha en su total recorrido.

Tras varios años de rehabilitación con ejercicios tradicionales asignados por fisiatras, no se logró avance total en la pierna izquierda para considerar el paso cercano a lo normal.

El sujeto estudiado se sometió a un tratamiento con una órtesis de tobillo colocada en el pie no afectado, consistente en un collar de lona con relleno de plomo

de tres libras aproximadamente, confeccionada en correspondencia con sus posibilidades de movimientos a realizar. Al ejecutar el balanceo hacia adelante, el sobrepeso hace tracción a la cadera, y esta transmite los esfuerzos a la otra pierna, lo que obliga el desplazamiento involuntario y limitado, porque por ley física vence la resistencia espástica del metatarso y da lugar a una flexión casi normal.

Con este ejercicio pendular en la pierna no afectada, y al aprovechar las relaciones masa, longitud y ángulo del péndulo, se logran transmitir los impulsos de la fuerza hasta la pierna afectada e ir corrigiendo los parámetros de la marcha y obligando a los músculos con espasticidad a recuperar cierta elasticidad característica de los tejidos vivos, de modo que pudo mejorar su locomoción, en correspondencia con los resultados que se muestran más adelante.

Los investigadores se plantearon realizar una comparación entre los parámetros biomecánicos actuales de la marcha patológica y la normal, para ello se utiliza la videografía como técnica y un programa de análisis de movimiento para su medición (Kinovea 0.8.24). Como escala de longitud se empleó la longitud de uno

de los segmentos corporales del sujeto medidos directamente.

Se realizó la filmación de la marcha del sujeto en el plano sagital y en el plano frontal con una cámara de video no profesional marca Sony y 14.1 mega pixel con sus aditamentos.

Se controlaron los siguientes parámetros o indicadores biocinemáticos: cinemáticos:

- **Longitud de la zancada:** distancia que separa dos sucesivos apoyos iniciales del mismo pie.
- **Longitud del paso:** distancia que separa el apoyo inicial de un pie del apoyo inicial del otro.
- **Anchura del paso:** distancia entre los puntos medios de ambos talones.
- **Tiempo de duración de cada paso**
- **Cadencia:** número de pasos en la unidad de tiempo.
- **Velocidad de la marcha:** distancia recorrida en la unidad de tiempo.
- **Duración de las fases:** tiempo que demora en ejecutarse cada fase.
- **Velocidad de los segmentos de los pies:** se puede analizar, al relacionar la **longitud de los pasos** con el **tiempo**

que demoran cada uno en realizar el paso, en cada fase del movimiento.

- **Ángulo articular del hombro** respecto a una línea vertical que pase por él.
- **Ángulo de la articulación de la cadera** respecto a esta misma línea vertical que pasa por ella (ángulo absoluto de la cadera).
- **Ángulo articular de la rodilla**, formado por los segmentos del muslo y el segmento de la pierna (ángulo relativo de la rodilla).
- **Ángulo del pie:** ángulo que forma el eje longitudinal del pie con la línea de dirección de la progresión.

## RESULTADOS

El ciclo de la marcha comienza cuando el pie contacta con el suelo y termina con el siguiente contacto con el suelo del mismo pie. De manera que, para cada uno de los pies, en un individuo normal, ocurren los siguientes eventos sucesivos: contacto del talón con el suelo, apoyo completo de la planta del pie, despegue del talón o del retropié, despegue de los dedos o del antepié, oscilación del miembro y siguiente contacto del talón.

Es válido mencionar que investigadores como Zatsiorski (1989), Morgenstern,

Parreño y Ruano (1997); Martín, Calvo, Orejuela, Barbero y Sánchez (1999); Collado, Pascual, Álvarez y Rodríguez (2003); Marco (2003); Espinosa (2008), Ceballos (2011); Alburquerque (2016), entre otros, reconocen que el patrón normal de la marcha es aquel en el que existe un conjunto de movimientos alternantes y rítmicos de las extremidades y del tronco, que permite el desplazamiento del cuerpo a través de la acción coordinada de cada uno de los componentes que conforman el sistema locomotor humano.

Aunque siempre existen diferencias en la forma de la marcha de una persona a otra, ella tiene parámetros definidos, donde cada pierna pasa por una *fase de apoyo*, durante la cual el pie se encuentra en contacto con el suelo, (contacto del talón con el piso, contacto del pie completo sobre el piso, despegue del talón) y por una *fase de oscilación o balanceo*, en la cual el pie se halla en el aire, (el avance del miembro oscilante, la extensión total de la rodilla) al tiempo que avanza, como preparación para el siguiente apoyo.

La fase de apoyo comienza con el contacto inicial y finaliza con el despegue del antepié. La fase de oscilación transcurre

desde el instante de despegue del antepié hasta el siguiente contacto con el suelo.

Perry (1992) citado en Marco (2003) refiere que el criterio anterior es totalmente compartido por la mayoría de los autores, y el más extendido en la actualidad, la cantidad relativa de tiempo gastado

durante cada fase del ciclo de la marcha, a una velocidad normal, es del 60 % del ciclo en la fase de apoyo y del 40 % del ciclo en la fase de balanceo (Ver tablas 1 y 2), al considerar los siguientes períodos elementales y los músculos involucrados:

Tabla 1. Periodos y músculos involucrados para la fase de apoyo

<b>Período y denominación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo relativo (%)</b>	<b>Músculos involucrados</b>
Contacto del talón o contacto inicial (CI)	Instante en que el talón toca al suelo	0-2	Flexores dorsales, isquiotibiales, cuádriceps, glúteo mayor y medio
Apoyo plantar o de respuesta a la carga (AP)	Contacto de la parte anterior del pie con el suelo	0-10	
Apoyo medio o fase media del apoyo (AM)	Momento en que el trocánter mayor se encuentra alineado verticalmente con el centro del pie, visto desde el plano sagital	10-30	Sóleo, tibial posterior, peroneos
Elevación del talón o final del apoyo (AF)	instante en que el talón se eleva del suelo	30-50	Tríceps crural
Despegue del pie o fase previa a la oscilación (OP)	momento en el que los dedos se elevan del suelo	50-60	Flexores de cadera y gemelos

Tabla 2. Periodos y músculos involucrados para la fase de oscilación o balanceo

<b>Período y denominación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo relativo (%)</b>	<b>Músculos involucrados</b>
Aceleración o fase inicial de la oscilación (OI)	Rápido cambio de velocidad del extremo de la pierna en el instante en que los dedos se levantan	60-73	Flexor propio del primer dedo
Balanceo medio o fase media de la oscilación (OM)	Especie de péndulo cuando la pierna en movimiento rebasa la de apoyo	73-87	Flexores dorsales
Desaceleración o fase final de la oscilación (OF)	Cuando la pierna pierde velocidad al acercarse de nuevo al suelo	87-100	Cuádriceps y flexo-extensores dorsales

El patrón normal de la marcha puede verse afectado por un conjunto grande de traumatismos y patologías que la modifican dando lugar a que aparezcan diferentes tipos de marchas, a estas se le llaman *patológicas*.

Se denomina *marcha patológica* a una modificación del patrón normal, donde aparecen variaciones en los rasgos estéticos, cinemáticos entre otros, con gasto de energía. Es variada la clasificación de este tipo de marcha, por ejemplo, la atáxica, equina, espástica, tambaleante, entre otras. Su causa también es variada, encontrándose entre

las más frecuentes: los accidentes cerebrovasculares, el traumatismo craneal, la esclerosis múltiple y el tumor cerebral. Los pacientes afectados de espasticidad poseen un caminar rígido, resultado de una contracción muscular unilateral prolongada. (Marco, 2003, 2016; Cifuentes, 2016)

A continuación se expone en tablas de referencias los resultados de las mediciones efectuadas al utilizar el software de análisis de movimiento Kinovea 0.8.24 y el registro fílmico del sujeto en estudio.

Tabla 3. Valor de los indicadores biocinemáticos generales determinados en el movimiento

<b>Indicadores generales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Longitud de la Zancada	cm	83,43 pie derecho; 92,11 pie izquierdo
Duración de la zancada	s	1,37 - 1,40
Cadencia	Pasos/s	$6/2,74 = 2,19$ 1,3- 2
Velocidad de la marcha	m/s	$2,54/2,50 = 1,02$
Duración del apoyo doble	s	0,23
Anchura del paso	cm	19,16

Tabla 4. Valor de los indicadores biocinemáticos particulares para cada lado del cuerpo determinados en el movimiento

<b>Indicadores para cada lado</b>	<b>Lado afectado (izquierdo)</b>	<b>Lado no afectado (derecho)</b>
Longitud del paso (cm)	52,21; 56,26	38,62; 47,77
Tiempo del paso (s)	0,67	0,77
Velocidad de los segmentos de los pies o velocidad del paso (m/s)	0,78 - 0,84	0,50 – 0,62
Duración de la fase de apoyo (s)	0,93	0,67
Duración de la fase de oscilación (s)	0,24	0,37
Duración fase de doble apoyo. Transferencia del peso al pie (s)	0,23	0,27
Fase de apoyo simple (s)	0,40	0,47

Tabla 5. Valores angulares determinados para los diferentes momentos de la fase de apoyo

Fase de apoyo	Contacto del talón o contacto inicial (CI)		Apoyo plantar o de respuesta a la carga (AP)		Apoyo medio o fase media del apoyo (AM)		Elevación del talón o final del apoyo (AF)		Despegue del pie o fase previa a la oscilación (OP)	
	PD	PI	PD	PI	PD	PI	PD	PI	PD	PI
Ángulo articular del hombro (°)		19,3		5,6		5,9		0,6		10,6
Ángulo de la articulación de la cadera (°)	13 30	5,2 30	8,7 0	0,3 0	13,0 0	4,0 0	7,2 20	26,2 20	19,7 20	2,2 20
Ángulo articular de la rodilla (°)	12,6 0	19,4 0	11,9 20	11,1 20	0,1 10	4,9 10	45,5 4	16,0 4	40,9 40	5,2 40
Ángulo del pie (°)	3,4 0	10,1 0	6,4 15	11,1 15	9,2 5	6,6 6	6,7 15	7,5 15	13,8 35-20	2,6 35-20

Tabla 6. Valores angulares determinados para los diferentes momentos de la fase de oscilación o balanceo

Fase de oscilación	Inicio		Medio		Final	
	PD	PI	PD	PI	PD	PI
Ángulo de la articulación de la cadera (°)	19,7 0	2,2 0	35,5 30	19,3 30	15,2 30	32,8 30
Ángulo articular de la rodilla (°)	40,9 40	5,2 40	63,9 65	54,6 65	21,4 10	11,9 10
Ángulo del pie (°)	13,8 0	2,6 0	9,5 0	15,3 0	13,9 0	10,8 0

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Se determinó el tiempo de duración del movimiento en cada una de las fases, así como el tiempo total (Tablas 3 y 4). Como se observa, el movimiento completo del paso con cada miembro inferior se realiza en un tiempo total de 1,37 s - 1,40 s. Este tiempo es relativamente grande con respecto al tiempo total del patrón normal de la marcha, pero aceptable para una persona con afectación (0,9 s - 1,15 s), de igual forma se evalúa el tiempo de las dos fases de doble apoyo (transferencia de peso al pie afectado (izquierdo) 0,27 s., y transferencia de peso al pie no afectado

(derecho) 0,23 s.) La fase de apoyo simple del pie derecho (fase de traslado del pie afectado, izquierdo) presenta una duración de 0,47 s., esta misma fase, pero del pie contrario tiene una duración de 0,40 s., encontrándose cierta diferencia lógica, debido a que en este momento el pie afectado que está apoyado está soportando toda la carga del peso del cuerpo.

En relación con los desplazamientos, como se aprecia, el pie afectado, logra trasladarse una distancia total de 52,21 - 56,26 cm., a diferencia del pie no afectado que se desplaza 38,62 - 47,77 cm., o sea,

algo inferior que el pie contrario, en ambos casos es poco en relación con la marcha normal en que puede alcanzar los 75 cm.

A partir del desplazamiento de ambos miembros inferiores y el tiempo de duración de las fases se pudo analizar el comportamiento de la velocidad de los segmentos de cada pie. Derecho (no afectado), 0,50 - 0,62 m/s e izquierdo (afectado), 0,78 - 0,84 m/s. La velocidad de la marcha está en el rango de los 1,02 m/s, no tan alejado de la marcha normal (1,25- 1,33), siendo aceptable para este tipo de marcha.

Como se observa el miembro afectado se desplaza en menor tiempo dado a que, debido a la deficiencia en el tono muscular que afecta la flexión del tobillo, viola etapas de las fases y tiende a ser arrastrado por la inercia del otro miembro.

Las tablas 5 y 6 muestran el comportamiento angular de las articulaciones del tobillo, la rodilla, la cadera y en algunos casos el hombro en los diferentes momentos de cada fase. Sus valores fueron comparados con los referenciales ofrecidos por Marco (2016) en "Cinesiología de la marcha humana normal" que aparecen en la parte inferior de cada dato.

Para el caso del hombro no se encontraron valores referenciales en la literatura, pero la relación de estos valores con los ángulos de la articulación de la cadera del mismo lado del cuerpo, da la medida de las posibilidades que tiene una persona de su movimiento y coordinación entre miembros superiores e inferiores durante la acción. Es de notar que en casi todas las articulaciones hay discrepancia entre la marcha normal y la que realiza el sujeto, lo que significa que, en aras de lograr equilibrio, velocidad y seguridad, adquiere una postura deformada con rasgos de descordinación en los movimientos.

Durante la fase de traslado de la pierna derecha, en el tiempo que la pierna izquierda sostiene todo el peso del cuerpo, el ángulo articular de la rodilla se encuentra por debajo de los valores ideales, constituyendo una dificultad para su correcta flexión. Similar comportamiento se aprecia en la posición del tronco donde aparece una incorrecta inclinación.

## **CONCLUSIONES**

El análisis de la marcha patológica de un sujeto hemipléjico parcial que luego de haber quedado en estado de cuadriplejía posterior a una intervención quirúrgica de un tumor en el parietal derecho, permitió

determinar que ha recuperado gran cantidad de parámetros de la marcha que lo acercan a la normal, mediante una rehabilitación diseñada con ejercicios pendulares en la pierna no afectada, con una ortesis construida en correspondencia con sus características físicas.

Los indicadores de la marcha patológica controlados se realizaron utilizando métodos y técnicas de la Biomecánica como ciencia aplicada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, F. (2016) *Fundamentos de Fisioterapia. Guía de la asignatura". Tema 9.* Recuperado de <http://Analisisdelpatromdemarchafisiológicoypatológico.htm>

Ceballos Rubio, M. A. (2011). *Metodología para el diagnóstico inicial de la marcha en paciente hemipléjica del consejo popular centro-oeste del combinado deportivo Plaza. Estudio de caso.* (Tesis de Maestría). Guantánamo.

Centro de Fisioterapia Marc (2016) *Biomecánica de la marcha.* Recuperado de <http://www.centrefisioterapiamarc.com/biomecanica-de-la-marcha/>

Cifuentes, Ch., Martínez, F. y Romero, E. (2016) Análisis teórico y computacional de la marcha normal y patológica: una revisión. *Revista médica.* Vol.18 (2):182-196.

Collado Vázquez, S., Pascual Gómez, F., Álvarez Vadillo, A. y Rodríguez Rodríguez, L. P. (2003) Análisis de la marcha. Factores moduladores Universidad Alfonso X el Sabio *BIOCIENCIAS. Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud.* Vol. 1. SEPARATA.

Donskoi, D. D. (1982). *Biomecánica con fundamentos de la técnica deportiva.* Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

Espinosa Sánchez, M. (2008) Alteraciones biomecánicas de la marcha en grupos vulnerables. Unidad de Investigación en Cómputo Aplicado, Universidad Nacional Autónoma de México. *Rev. Esp. Antrop. Fís.* 28: 47-55.

- Lance, J.W. (1980) Symposium synopsis. En: Feldman RG, Young RR, Koella WP. (eds.) *Spasticity: disordered motor control*. Miami: Symposia Specialist. pp. 485-500.
- Marco Sanz, C. (2003) *Marcha patológica*. Universidad de Zaragoza. *Revista del pie y tobillo*. Tomo XVII, Nº 1, Octubre.
- Marco Sanz, C. (2016) *Cinesiología de la marcha humana normal*. Recuperado de <http://wzar.unizar.es/acad/cinesio/Documentos/Marcha%20humana.pdf> kinesiologia-176-articulo-fases-marcha-humana-13012714
- Martín Noguerras, A.; J. L. Calvo Arenillas; J., Orejuela Rodríguez; F., Barbero Iglesias, J. y Sánchez Sánchez, C. (1999) Fases de la marcha humana. *Revista iberoamericana de fisioterapia y kinesiología*. Vol. 2. Núm. 1. Enero
- Morgenstern, R.; Parreño Catalán, J. L. y Ruano Gil, D. (1997) *Método de análisis biomecánico de la marcha en pacientes portadores de prótesis de rodilla*. Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte, Universidad de Barcelona.
- Zatsiorski, V. (1989). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. Ciudad Habana, Cuba: Pueblo y Educación.

Recibido: 24072016

Aprobado: 23032017

#### **Datos de los autores:**

Maury Herrera Montero

Master en Dirección

[mherrera@fcf.uho.edu.cu](mailto:mherrera@fcf.uho.edu.cu)

Universidad de Holguín. Facultad de Cultura Física y Deporte

Amada Plácida Gómez Zoquez

Profesora Auxiliar

Máster en Ciencias

[agomezz@fcf.uho.edu.cu](mailto:agomezz@fcf.uho.edu.cu)

Universidad de Holguín. Facultad de Cultura Física y Deporte