



Efectividad de un software biomecánico para el análisis de la marcha en los servicios de Rehabilitación

Effectiveness of biomechanical software for gait analysis in Rehabilitation services

Adrian González Méndez. Licenciado en Tecnología de la Salud Perfil Terapia Física y Rehabilitación. Profesor Auxiliar. Investigador Agregado. Universidad de Ciencias Médicas de Sancti Spiritus.

Lázaro Rogelio Morell León. Doctor en Medicina. Especialista en Segundo Grado en Higiene y Epidemiología. Master en Educación Médica Superior. Profesor Titular Consultante. Universidad de Ciencias Médicas de Sancti Spiritus.

Juan Francisco Águila Sobrino. Licenciado en Informática. Hospital Pediátrico Provincial José Martí Pérez de Sancti Spiritus.

Juan Carlos Mirabal Requena. Doctor en Medicina. Especialista en Segundo Grado Medicina General Integral y Primer Grado en Medicina Física y Rehabilitación. Profesor Auxiliar. Investigados Auxiliar. Sectorial Provincial de Salud de Sancti Spiritus.

Adolfo Cruz Carrera. Licenciado Educación. Especialidad Física. MSc. en Educación. Profesor Auxiliar. Universidad de Ciencias Médicas de Sancti Spiritus.

Resumen

Introducción: El movimiento corporal humano constituido por patrones y factores motrices, es considerado como un elemento esencial de la salud y el bienestar. 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. **Objetivo:** Evidenciar la efectividad de un software biomecánico como modelo para el análisis de la marcha en pacientes afectados que acuden a los servicios de Rehabilitación. **Métodos:** Se realizó un estudio de análisis biomecánico, en el Hospital de Rehabilitación Dr. Faustino Pérez Hernández de Sancti Spiritus por la Universidad de Ciencias Médicas. Estructurado por dos etapas, donde en la primera etapa se valoró los aspectos de funcionamiento del software biomecánico. En la segunda etapa se procedió al trabajo con la muestra de estudio. **Resultados:** El promedio de edad fue de 37,4, el 60% representaron el sexo masculino y el esguince fue la patología que estuvo presente en dos pacientes representando el 40%. **Conclusiones:** El empleo del software Kinovea en el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha en sujetos con patología,

refleja una excelente fiabilidad test-retest y un buen análisis biomecánico a pacientes en proceso de recuperación.

Palabras claves: Software biomecánico; Kinovea; análisis de la marcha.

Introducción

El movimiento corporal humano constituido por patrones y factores motrices, es considerado como un elemento esencial de la salud y el bienestar, 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, 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.⁽¹⁾

La marcha es el resultado de una correcta coordinación entre músculos, tendones y articulaciones de las extremidades inferiores, para soportar el peso del cuerpo y desplazarlo en una determinada dirección. Se puede describir mediante un patrón cíclico en el que intervienen el sistema nervioso central y las respuestas sensoriales. Un ciclo de marcha o zancada, está definido como el tiempo o el espacio transcurrido entre el apoyo del talón de un pie y el apoyo del talón del mismo pie en el siguiente paso. Cada ciclo se divide en dos fases: la de apoyo (60 - 62 % del tiempo de cada ciclo) y la de balanceo (38 - 40 % del tiempo en cada ciclo).⁽²⁾

El análisis del movimiento humano y más concretamente de la marcha ha interesado a muchos desde tiempos remotos, existiendo referencias al respecto por parte de Aristóteles, Leonardo da Vinci, Hipócrates entre otros.⁽³⁾

Otro pionero fue Eadweard Muybridge, fotógrafo e investigador inglés quien realizó importantes aportes al estudio del movimiento a partir del año 1860, mediante el uso de la fotografía seriada, la cual utilizó inicialmente para estudiar el galope de los caballos y determinar si en algún momento se mantenían sus cuatro patas separadas del suelo. Posteriormente realizó estudios en otros animales y en seres humanos. Marey realizó también estudios de movimiento en base a la fotografía y desarrolló un sistema simple para el análisis de presiones plantares. Con el tiempo los sistemas se fueron perfeccionando, junto con la introducción de sistemas computacionales y el mayor desarrollo informático, para lograr obtener los modernos y sofisticados sistemas disponibles en la actualidad.⁽³⁾

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.⁽¹⁾

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.⁽¹⁾

El laboratorio de análisis de movimiento permite el análisis de diferentes tipos de movimientos humanos; no obstante, el mayor desarrollo se ha enfocado en estudiar la marcha.⁽³⁾

Las aplicaciones del laboratorio de marcha en el campo clínico se remontan a la década de 1960 en Norteamérica, con la creación del primer laboratorio de análisis de movimiento en el Hospital Shriners de San Francisco, por el Dr. David Sutherland, para estudiar las alteraciones biomecánicas de niños con parálisis cerebral. El Dr. Sutherland, cirujano ortopedista observó cómo había cambiado el panorama epidemiológico a consecuencia de los progresivos avances en la medicina a partir de la década de los años 40. Estos cambios determinaron la drástica disminución de las enfermedades infecciosas y la erradicación de la poliomielitis por el descubrimiento de los antibióticos y la creación de la vacuna anti polio.⁽³⁾

Soares,⁽⁴⁾ define de la Biomecánica como el estudio de diferentes áreas relacionadas con el movimiento del ser humano y los animales, considerando entre otras cosas el funcionamiento de los músculos, tendones, ligamentos, cartílagos y huesos, además de las cargas y sobrecargas de estructuras específicas, y otros factores que influyen en el desempeño. Mientras que para Ramón puede definirse de muchas maneras entre las cuales destaca que es la ciencia que examina las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y el efecto que ellas producen.

Un análisis biocinémico tiene elementos específicos que permiten abordar estudios minuciosos de un gesto técnico con el fin de llegar a una ejecución apropiada. Por tratarse de una rama de la biomecánica, el análisis biocinémico permite describir el movimiento

en seres humanos, sin tener en cuenta las fuerzas que actúan, en función del ángulo o la posición relativa de las articulaciones.⁽⁵⁾

En los servicios de Rehabilitación de la provincia de Sancti Spiritus no se cuenta con sistemas tecnológicos que permita un análisis profundo y exacto de la marcha a los pacientes que por diversas patologías. En la actualidad se observa con la visión del personal de los servicios las dificultades que puedan presentar los pacientes a la hora de deambular, sin elementos que den una precisión de los movimientos de miembros inferiores, por lo que se desconoce con exactitud que parte de los miembros inferiores no trabaja adecuadamente o que grupo muscular necesita un trabajo diferenciado para resolver ciertas dificultades de la marcha.

Lo expuesto constituye a un problema de salud en los servicios de Rehabilitación, su preocupación radica en la alta incidencia del personal que acude al servicio padeciendo de limitaciones a la hora de caminar normalmente.

Por todo lo antes expuesto se decidió realizar este estudio de desarrollo tecnológico con el objetivo de evidenciar la efectividad de un software biomecánico como modelo para el análisis de la marcha en pacientes afectados que acuden a los servicios de Rehabilitación.

Método

Se realizó un estudio de análisis biomecánico, en el Hospital de Rehabilitación Dr. Faustino Pérez Hernández de Sancti Spiritus por la Universidad de Ciencias Médicas. Estructurado por dos etapas, donde en la primera etapa se valoró los aspectos de funcionamiento del software biomecánico (Kinovea). En la segunda etapa se procedió al trabajo con la muestra de estudio.

El universo estuvo compuesto por 12 pacientes, en función del cumplimiento de los criterios requeridos. La muestra estuvo definida por 5 pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión, lo que se les pidió un consentimiento informado para formar parte del estudio, y aprobado por el Comité de Ética y Consejo Científico de la Universidad de Ciencias Médicas.

El método utilizado para realizar los análisis de marcha es el análisis de sistemas en 2D y 3D, que consistió en capturar en video con una cámara normal el movimiento de la persona en el plano sagital para después medir los diferentes parámetros de la marcha, por lo que, de acuerdo con el protocolo utilizado por Mejía⁽⁶⁾, se colocan marcadores en las prominencias óseas a las personas a analizar; estas son el trocánter mayor (cadera), epicóndilo lateral (fémur), maléolo externo (tobillo) y la punta del metatarso del meñique

(metatarso distal) (pie). Estos marcadores sirven de guía para medir los ángulos que formaran las piernas durante la marcha.

Según lo establecidos bajo las conceptualizaciones en Beltran,⁽⁷⁾ en el software libre Kinovea, se identificaron, fotograma por fotograma, cada una de las fases y subfases de la marcha, el software permitió dibujar en un fotograma los ángulos y cualquier otra línea para las medidas necesarias. Se tomaron tres ángulos de referencia: uno para la cadera, uno para la rodilla y uno para el talón. Previamente, en el software se definió una distancia de referencia y un origen de coordenadas para que los valores mostrados sean lo más precisos posibles.

Luego de analizaron los fotogramas relevantes, el programa permitió exportar una hoja de cálculo que presenta en forma de tabla todas las mediciones realizadas en el fotograma correspondiente; estos resultados se organizaron para obtener una tabla de los parámetros adicionales de cada marcha y tres tablas correspondientes a cada parte analizada (cadera, rodilla, tobillo). Posteriormente, se realizó una gráfica donde se puede comparar el desplazamiento angular de estos a través del tiempo; este procedimiento se repitió para cada prueba de marcha realizada.

Resultados

El promedio de edad fue de 37,4, el 60% representaron el sexo masculino y el esguince fue la patología que estuvo presente en dos pacientes representando el 40% (Tabla 1).

Tabla 1. Variables sociodemográficas de la muestra estudiada

Variables	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3	Paciente 4	Paciente 5
Edad (años)	54	23	31	44	35
Sexo	M	F	M	M	F
Peso (libras)	192	165	167	181	162
Altura (cm)	188	154	175	183	166
Patología	Esguince (grado1) MID	Condromalacia MID	Fractura de cadera (no desplazante) MII	Esguince (grado2) MID	Gonoartrosis MII

Fuente: encuesta a pacientes

MID: Miembro inferior derecho

MII: Miembro inferior izquierdo

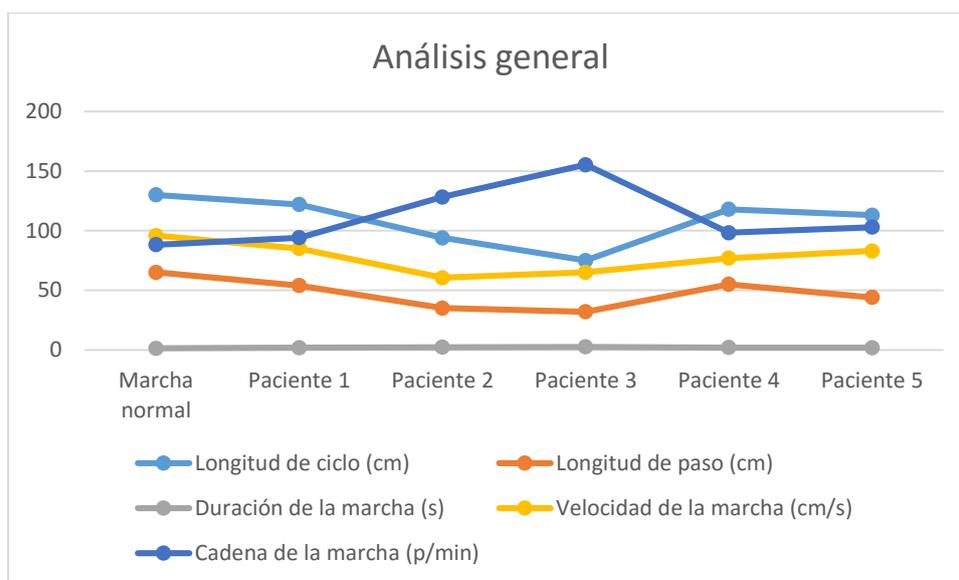
En el análisis de la marcha los dos pacientes que padecían de esguince fueron los que más se acercaron a los parámetros normales en relación a la longitud de ciclo y cadena de la marcha (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de parámetros espaciales estudiados

Parámetros espaciales	Marcha normal	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3	Paciente 4	Paciente 5
Longitud de ciclo (cm)	130	122	94	75	118	113
Longitud de paso (cm)	65	54	35	32	55	44
Duración de la marcha (s)	1,36	1,89	2,21	2,45	2,03	1,83
Velocidad de la marcha (cm/s)	95,8	85	60,5	65,1	77	83
Cadena de la marcha (p/min)	88,2	94,1	128,3	155,3	98,3	103

Fuente: prueba de marcha a pacientes

Grafica 1. Análisis de parámetros espaciales estudiados



Fuente: prueba de marcha a pacientes

En el análisis biomecánico de la marcha por cada miembro inferior de los pacientes se pudo detectar con exactitud la amplitud en ángulo de cada articulación, donde se demostró el déficit angular en la articulación afectada de cada miembro inferior y se comparó con las angulaciones normales por cada movimiento (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis biomecánico de la marcha por miembros en grados de movimiento

Biomecánica de la marcha	Parámetros normal	Paciente 1		Paciente 2		Paciente 3		Paciente 4		Paciente 5	
		MI D	MII	MI D	MI I	MI D	MII	MI D	MII	MI D	MII
Flexión de cadera	10°	10°	10°	6°	10°	10°	4°	10°	10°	9°	8°
Flexión de rodilla durante el periodo de apoyo	20°	20°	16°	15°	20°	19°	17°	20°	20°	17°	14°
Flexión plantar del tobillo	15°	15°	11°	13°	14°	15°	13°	14°	7°	14°	11°
Dorsiflexión del tobillo	8°	8°	5°	7°	8°	8°	7°	8°	3°	7°	5°

Fuente: examen físico a pacientes

MID: Miembro inferior derecho

MII: Miembro inferior izquierdo

Discusión

En los programas biomecánicos la adquisición de datos es un proceso casi automático, pero la tarea no es cómo recopilar los datos, sino qué datos deben recopilarse y cómo utilizarlos de la mejor manera posible. Se pudo estudiar en nuestra investigación los datos obtenidos mediante el uso del software, aportándonos características importantes a tener en cuenta a la hora de rehabilitar la marcha en los pacientes. Al igual en otros estudios se ha evidenciado el uso de software para medir el movimiento como en:

Solar y Acevedo,⁽⁸⁾ donde estudiaron los parámetros de la marcha en niños sanos de 1 a 4 años con el software Kinovea para comparar con los estándares de la literatura. Los resultados indicaron que la longitud de la zancada y la longitud del paso se asemejan a los reportados por Sutherland, por lo que pueden tomarse como referencias de valores

normales. Se demostró que el software es una buena herramienta para la evaluación de la distancia.

Aguilera et al.,⁽⁹⁾ estudiaron a siete sujetos con daño cerebral adquirido y capacidad de marcha independiente con el uso del tapiz rodante, incluyendo periodos de tarea dual, el test Timed Up and Go, la escala de equilibrio de Berg, la escala de Tinetti y el software gratuito Kinovea por un periodo de 8 semanas. Se observaron mejoras en el equilibrio y en ciertos aspectos de la marcha, el tiempo, la velocidad, la longitud de paso y de zancada obtuvieron datos estadísticamente significativos ($p < 0,05$).

Luna,⁽¹⁰⁾ en su trabajo se enfocó en analizar la cinemática en el plano sagital del cuerpo humano con Silvereye y con un sistema 2D de procesamiento de imágenes. Estas constituyeron una herramienta apropiada para analizar la cinemática de la marcha humana, pues permitió estimar las orientaciones globales de los miembros inferiores en tres dimensiones y medir directamente sus aceleraciones lineales y sus velocidades angulares.

Hernández y Pérez,⁽¹¹⁾ estudiaron a 89 estudiantes de entre 19 y 21 años, evaluados a través del cuestionario Modelo de Aceptación de Tecnología y un cuestionario de autoregistro. Los resultados indicaron que la mayoría de los alumnos refirieron estar satisfechos con el uso de la herramienta tecnológica Kinovea, donde los alumnos consideran que la utilización de las herramientas tecnológicas influye de forma positiva en su aprendizaje y rendimiento.

Guzmán et al.,⁽¹²⁾ evaluó la biocinemática del gesto técnico-deportivo de algunos jugadores (expertos en saque con salto) del equipo de voleibol de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia mediante la técnica de videometría con el software Kinovea a través del cual es posible enriquecer un video agregándole flechas, descripciones y comentarios. Se demostró que existe una serie de variables y eventos biocinemáticos como lo son los ángulos de las articulaciones, las velocidades angulares, lineales, entre otros, que al tenerse en cuenta en los entrenamientos mejorarán considerablemente la ejecución del gesto deportivo.

Conclusiones

El empleo del software Kinovea en el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha en sujetos con patología, reflejó una excelente fiabilidad test-retest y un buen análisis biomecánico a los pacientes en proceso de recuperación. Por tanto, el software es una herramienta accesible y de fácil manejo con la que aporta a la evaluación clínica datos

objetivos cuando no se dispone de sistemas más sofisticados como son los sistemas de análisis tridimensional del movimiento.

Referencias Bibliográficas

1. Agudelo-Mendoza AI, Briñez-Santamaria TJ, Guarín-Urrego V, Ruiz-Restrepo JP, Marlly-Zapata García C. Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. CES Movimiento y Salud. 2013; 1:29-43. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60512264/Marcha20190906-110578ft1wr4libre.pdf?1567827838=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DMarcha.pdf&Expires=1676570671&Signature=XCIkc6342BO26nDu6ZmF4OA69frwi5S0dGxy9diwPGUMkxgKo2ayPIOVs20aB1Jb2qxWGIZXUQpDRfZk63a2XeqIhFyYdCMbIy4xgSHNhvy3cGxUmG~K4Jj6Fan9s9LzcCndoBjYsuFHmWXdX1RACRxHwa~UeyQPc71wlYeyWQgVP5mRqwwHZ~kEKb4Hi5H6KZJmbc92jZVyvSDCT6US1f4nJasyKqOyfRAIx2TPwYBQX4Qx90Qw3uqGRB4eSjzDOptm2nP8ACdtTdAHrOpWKjAHtlouqyVs3IugmSH9GPcb7~Gt51nfDGQpOfHWC9oYcoqL9GcpeP75NH9Q_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
2. Haro DM. Laboratorio de análisis de marcha y movimiento. REV. MED. CLIN. Condes. 2014; 25(2) 237-247. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(14\)70034-3](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70034-3)
3. Cerda AL. Manejo del trastorno de marcha del adulto mayor. REV. MED. CLIN. Condes. 2014; 25(2) 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(14\)70037-9](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70037-9)
4. Sangucho-Hidalgo NP, Rivadeneira-Arias KN, Aguilar-Morocho EK. Biomecánica aplicada a la técnica de salto de longitud de la medallista paralímpica Kiara Rodríguez. sportk [Internet]. 8 de mayo de 2022 [citado 16 de febrero de 2023]; 11:42. Disponible en: <https://revistas.um.es/sportk/article/view/523841>
5. Muñoz-Vivas OI, Gutiérrez-Galvis AR, Gutiérrez-Casa MV, Collazos-Morales CA. Análisis biocinemática de la fase de vuelo de un volteo simple extendido adelante con medio giro de los gimnastas hombres de la selección Colombia con rueda alemana. Impetus [Internet]. 4 de junio de 2021 [citado 16 de febrero de 2023]; 13(2):48-54. Disponible en: <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/impetus/article/view/508>

6. Mejía-Villamizar JL, Villegas-Bermúdez DF, Sánchez H. Análisis de marcha de una persona con muleta de manos libres usando el programa Kinovea. *Revista UIS Ingenierías*. 2022; 21(3): 1–8. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n3-2022001>
7. Beltran-Albarracin DA. Validación de Kinovea como herramienta para el análisis de posturas en tareas sedentarias. [Trabajo de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Mecánico] Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2022. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22362>
8. Solar-Rodriguez L, Acevedo Viétez I. Estudio transversal de los parámetros de la marcha en niños sanos de 1 a 4 años con el software Kinovea en comparación con los estándares de la literatura [Titulación de Grado en Fisioterapia] Universidad Gimbernat Cantabria, Cantabria-España. 2016. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/15615>
9. Aguilera-Rubio Á, Fernández-González P, Molina-Rueda F, Cuesta-Gómez A. Efecto de un programa de rehabilitación mediante entrenamiento en tapiz rodante con tareas duales en las alteraciones del equilibrio y la marcha en el daño cerebral adquirido. *Rehabilitación*. 2018; 52(2): 107-113. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7105773>
10. Luna-López JM. Sistema electrónico para el análisis de la marcha humana en el plano sagital [Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico] Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. 2017. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/15812>
11. Hernández-Domínguez J, Pérez-Cortés AJ. Análisis de la aceptación tecnológica de herramientas multimedia en el proceso formativo de la Educación Física universitaria. *Journal of Sport and Health Research*. 2020; 12(2):248-259. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/64326>
12. Guzmán-Vargas KD, Suarez-Barón MJ, Torres-Pérez Y, González-Sanabria JS. Análisis de gestos deportivos de saque con salto en voleibol usando videometría. *Revista Científica*. 2022; 43(1), 20-37. Disponible en: <https://doi.org/10.14483/23448350.18329>