



CENCOMED (Actas del Congreso), FisioteSSP2024, (noviembre 2024) ISSN: 2415-0282

Software biomecánico para el análisis de la marcha en los servicios de Rehabilitación

Biomechanical software for gait analysis in Rehabilitation services

Adrian González Méndez¹ <https://orcid.org/0000-0002-9147-9170>

Belkis Álvarez Escobar² <https://orcid.org/0000-0002-8701-9075>

Juan Carlos Mirabal Requena³ <https://orcid.org/0000-0002-9159-6887>

Lázaro Rogelio Morell León⁴ <https://orcid.org/0000-0002-7672-0325>

Yazmín Elena Hernández Díaz⁵ <https://orcid.org/0009-0001-9057-7182>

¹Universidad de Ciencias Médicas. Departamento Medios de Enseñanzas. Sancti Spiritus, Cuba.

²Universidad de Ciencias Médicas. Departamento Metodológico. Sancti Spiritus, Cuba.

³Dirección General de Salud. Departamento Hospitales. Sancti Spiritus, Cuba.

⁴Universidad de Ciencias Médicas. Departamento Salud Pública. Sancti Spiritus, Cuba.

⁵Universidad de Ciencias Médicas. Carrera de Medicina. Sancti Spiritus, Cuba.

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 estructurado por dos

etapas, donde en la primera etapa se valoró los aspectos de funcionamiento del software biomecánico (Kinovea) y en la segunda etapa se procedió al trabajo con la muestra de estudio con el software biomecánico. **Resultado:** 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, 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. **Conclusiones:** El empleo del software Kinovea en el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha, reflejo una excelente fiabilidad test-retest y un buen análisis biomecánico a los pacientes estudiados.

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

ABSTRACT

Introduction: Human body movement, made up of motor patterns and factors, is considered an essential element of health and well-being. The qualitative and quantitative analysis of the characteristics and parameters of gait has aroused great interest among researchers and clinicians over time, because alterations in the parameters that make it up have been associated with anthropometric factors. **Objective:** To demonstrate the effectiveness of biomechanical software as a model for gait analysis in affected patients who attend Rehabilitation services. **Methods:** A biomechanical analysis study was carried out at the Dr. Faustino Pérez Hernández Rehabilitation Hospital of Sancti Spiritus, structured in two stages, where in the first stage the functioning aspects of the biomechanical software (Kinovea) were assessed and in the second stage We proceeded to work with the study sample with the biomechanical software. **Result:** In the gait analysis, the two patients who suffered from a sprain were the ones who came closest to the normal parameters in relation to the cycle and chain length of gait, in the biomechanical analysis of gait for each lower limb. In the patients, the angular amplitude of each joint could be accurately detected, where the angular deficit in the affected joint was demonstrated. **Conclusions:** The use of the Kinovea software in the analysis of the spatiotemporal

parameters of gait reflected excellent test-retest reliability and a good biomechanical analysis of the patients studied.

Key words: Biomechanical software; Kinovea; gait analysis.

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 Leite 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 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.⁽⁴⁾

Un análisis biocinemático 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 biocinemático 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 Spíritus 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 presenciar 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 fue 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, se colocaron marcadores en las prominencias óseas a las personas a analizar; como en el trocánter mayor (cadera), epicóndilo lateral (fémur), maléolo externo (tobillo) y la punta del metatarso del meñique (metatarso distal) (pie). Estos marcadores sirvieron de guía para medir los ángulos que formaron las piernas durante la marcha.

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 definieron una distancia de referencia y un origen de coordenadas para que los valores mostrados sean lo más precisos posibles.

Luego de analizar los fotogramas relevantes, el programa permitió exportar una hoja de cálculo que presento 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 repite para cada prueba de marcha realizada.

Se solicitó mediante consentimiento informado la aceptación de los pacientes en participar en el estudio. También se solicitó la autorización a la dirección del Hospital Provincial de Rehabilitación, la aprobación del Comité de Ética y del Consejo Científico de la Universidad de Ciencias Médicas para la ejecución del 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% (Tabla 1).

Tabla 1. Variables sociodemográficas de la muestra estudiada

Variab les	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

MID: Miembro inferior derecho

MII: Miembro inferior izquierdo

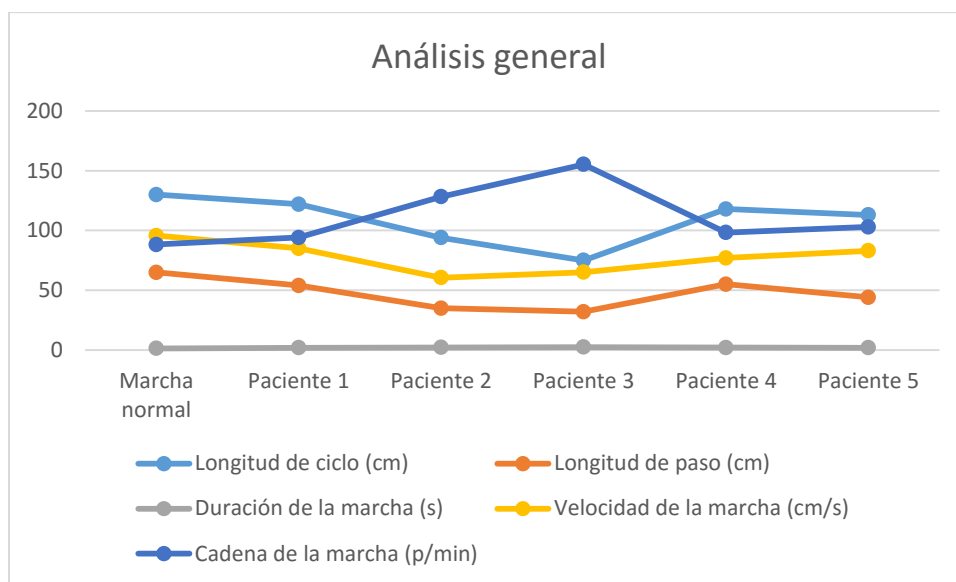
En el análisis de la marcha los dos pacientes que padecían de esguince fueron los que más se acercaron a los parámetros normales en relación a la longitud de ciclo y cadena de la marcha (Tabla 2) (Grafica 1).

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: análisis con el software biomecánico

Grafica 1. Análisis de parámetros espaciales estudiados



Fuente: análisis de los datos en Microsoft Excel

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	
		MID	MII	MID	MII	MI D	MII	MID	MII	MID	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: análisis con el software biomecánico

MID: Miembro inferior derecho

MII: Miembro inferior izquierdo

DISCUSIÓN

La Biomecánica es la ciencia que aplica la mecánica para explicar las leyes que rigen el movimiento mecánico de los sistemas vivos.⁽⁶⁾ A través del uso del software nos permitió como partida el análisis biomecánico al deambular los sujetos de estudio, lo cual se pudo comprobar la precisión de los movimientos de cada miembro inferior al realizar la marcha, detallando el movimiento de cada segmento de sus articulaciones, comparar con los parámetros normales de movimientos y nos permitió analizar en que musculo o grupo muscular trabajar para su mejor funcionamiento.

El empleo de la técnica del video análisis es hoy en día una tecnología apropiada para el entorno científico y académico. Esta tecnología permite desarrollar el estudio de fenómenos de la realidad y brinda la oportunidad única de obtener, con bajo consumo de recursos, un amplio espectro de información sobre las diferentes magnitudes que permiten caracterizar mejor el movimiento mecánico de los cuerpos.⁽⁷⁾

En un estudio por Pons et al.,⁽⁷⁾ con el objetivo de aplicar el software kinovea a la técnica de pitcheo, donde se pudo constatar que los entrenadores corrigen los elementos técnicos sobre la base del empirismo y acuden únicamente a sus observaciones para identificar el comportamiento de las características cinemáticas. Con la utilización del software biomecánico permitió determinar las características de la distancia de paso, ángulo que forma el brazo de lanzar con respecto a la cabeza, altura de la pelota acercándose al home plate, velocidad de la pelota ejecutados por los lanzadores investigados.

Fernández⁽⁸⁾ evaluó la fiabilidad inter-observador e intra-observador del software Kinovea para el estudio cinemático de la cadera, la rodilla y el tobillo durante las fases de contacto inicial y el despegue, donde con el uso del software se pudo detallar que la fiabilidad intra-observador mostró una buena correlación para el rango articular de la cadera, la rodilla y el tobillo. En relación con los datos obtenidos del registro de los parámetros espaciotemporales de la marcha, la fiabilidad intra-observador e inter-observador fue excelente para todos los parámetros estudiados (CCI > 0,90), a excepción de la velocidad, cuya fiabilidad intra-observador fue buena (CCI > 0,88).

Veles⁽⁹⁾ utilizo el software Kinovea en 16 jóvenes hombres y mujeres universitarios clínicamente sanos, es decir, sin antecedentes de lesiones ni cirugías recientes, en un rango de edad de 18 a 25 años para el análisis biomecánico de cada uno de los sujetos, en el que

se analizaron los ángulos formados entre los marcadores en la posición estática de postura. De igual manera, se analizaron los ángulos formados en la cadera, rodilla y tobillo tanto en la flexión durante el choque de talón, así como en la flexión durante la oscilación. De la muestra, dos pacientes presentan escoliosis, cuatro tiene un descenso en hombro derecho, mientras que uno en el izquierdo; uno tiene descenso de cadera del lado derecho, uno tiene descenso de cadera del lado izquierdo. Uno presenta varo en la rodilla derecha, uno en la izquierda, mientras que tres tienen valgo en la rodilla derecha y otros tres en la izquierda. A nivel de tobillo, tres sujetos tienen un varo en el derecho, uno en el izquierdo, cinco presentan un valgo en el derecho y siete en el izquierdo. Del total de la muestra, ocho personas muestran una disimetría en el largo de pierna que va desde los 3-8 mm con una predominancia de 5 milímetros. Seis personas presentan pie plano, la mayoría normal y no se detectó ningún pie cavo.

Chiliquina ⁽¹⁰⁾ aplicó el análisis biomecánico de los diferentes parámetros a seis atletas de la disciplina de la marcha deportiva. Los resultados obtenidos permitieron comparar la variabilidad de estos parámetros, lo que arrojó que existen diferencias en relación al aumento de la experiencia deportiva y características antropométricas, diferencia ausente en el parámetro de longitud de zancada y temporalidad de apoyo y zancada.

Speziale ⁽¹¹⁾ presentó a través de un análisis biomecánico por el software Kinovea de un caso clínico de un niño con parálisis cerebral, posterior a una cirugía multinivel, durante el proceso de transición, desde la marcha asistida con andador hasta lograrla de manera independiente. En los resultados se observaron ángulos que permitieron discutir las posibles sobrecargas sobre articulaciones del miembro inferior izquierdo, en el plano frontal se grafican ángulos que ofrecen una perspectiva sobre la inclinación del tronco hacia la derecha, en el momento inicial de carga monopodal, la inclinación del tronco fue mayor con el uso de andador.

CONCLUSIONES

El empleo del software Kinovea en el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha, reflejó una excelente fiabilidad test-retest y un buen análisis biomecánico a los pacientes estudiados en proceso de recuperación. Por lo que el software como herramienta

accesible y de manejo adecuado cumplió con la evaluación clínica de la marcha con gran precisión y aceptación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agudelo-Mendoza AI, Briñez-Santamaria TJ, Guarín-Urrego V, Ruiz-Restrepo JP, 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://www.semanticscholar.org/paper/Marcha%3Adescripci%C3%B3n%2Cm%C3%A9todos%2CherramientasdeydeMendozaSantamaria/31f63441dc2b395026cd9321989c96afd26630d2>
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. 2022; 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. 2021; 13(2):48-54. Disponible en: <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/impetus/article/view/508>
6. Pérez-Ruiz OA, Villegas-Sáez AF, Feito-Gácita A. Fundamentos de biomecánica deportiva (1ra ed.). Editorial Universitaria. 2021. Disponible en: <http://www.eduniv.cu/items/show/37662>
7. Pons-Gámez Y, Durañona-Nápoles HA, Pérez-Ruiz OA, Aguilera-Vargas A. Utilización del software kinovea a la técnica de pitcheo en el Béisbol. Convencion Científica Internacional. 2023. Disponible en: https://easychair.org/publications/preprint_download/Ppj4

8. Fernández-González P. Estudio de fiabilidad y validez de un programa informático de análisis de vídeo para la evaluación de la marcha en sujetos sanos [Tesis Doctoral] Universidad Rey Juan Carlos, Madrid-España. 2022. Disponible en: <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/19952>
9. Veles-Bustillos A. Efecto del uso de órtesis plantares en la biomecánica de la marcha de jóvenes mexicanos clínicamente sanos. Expo Ibero Otoño. 2022. Disponible en: <http://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/5591>
10. Chilingua-Tarco OS. Estudio comparativo biomecánico de la técnica de la marcha atlética en deportistas de diferentes categorías de la Federación Deportiva de Tungurahua [Título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Mención: Cultura Física] Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. 2021. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32745>
11. Speziale P. Hacia la marcha independiente: análisis de un caso con diplejía espástica [Título de Especialista en Kinesiología y Fisiatría Neurológica] Universidad del Gran Rosario, Santa Fe-Argentina. 2022. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14125/458>