

Fernández-González, P.; Cuesta-Gómez, A.; Miangolarra-Page, J.C.; Molina-Rueda, F. (202x). Reliability and Validity of Kinovea to Analyze Spatiotemporal Gait Parameters. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. X (X) pp. xx. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/___*](http://cdeporte.rediris.es/revista/)

ORIGINAL

FIABILIDAD Y VALIDEZ DE KINOVEA PARA ANALIZAR PARÁMETROS ESPACIOTEMPORALES DE LA MARCHA

RELIABILITY AND VALIDITY OF KINOVEA TO ANALYZE SPATIOTEMPORAL GAIT PARAMETERS

Fernández-González, P.¹; Cuesta-Gómez, A.²; Miangolarra-Page, J.C.³ y Molina-Rueda, F.⁴

¹ Doctoranda en Ciencias de la Salud. Profesora Visitante. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos (España) pilar.fernandez@urjc.es

² Profesora Ayudante Doctora. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos (España) alicia.cuesta@urjc.es

³ Profesor Titular. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos (España). Jefe del Servicio de Medicina Física y Rehabilitación del Hospital Universitario de Fuenlabrada. Servicio Madrileño de Salud (SERMAS). Consejería de Salud. Comunidad de Madrid. Director del Laboratorio de Análisis del Movimiento, Biomecánica, Ergonomía y Control Motor (LAMBECOM), de la Universidad Rey Juan Carlos (España) juan.miangolarra@urjc.es

⁴ Profesor Ayudante Doctor. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Rey Juan Carlos (España) francisco.molina@urjc.es

FINANCIACIÓN

Esta investigación no ha recibido financiación de ningún agente privado, público o sin ánimo de lucro.

Código UNESCO / UNESCO Code: 2499 Otras especialidades biológicas (Biomecánica) / Other biological specialties (Biomechanics).

Clasificación Consejo de Europa/Council of Europe Classification: 14. Fisioterapia y rehabilitación / Physiotherapy and rehabilitation

Recibido 8 de mayo de 2020 **Received** May 8, 2020

Aceptado 24 de octubre de 2020 **Accepted** October 24, 2020

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio son evaluar la fiabilidad test-retest e inter-observador del software Kinovea® para la obtención de los principales parámetros espaciotemporales de la marcha, así como, estudiar la validez de criterio respecto a un sistema tridimensional de análisis del movimiento. Los resultados obtenidos son significativamente estadísticos ($p < 0,05$) en todos los parámetros estudiados. La fiabilidad test-retest muestra una correlación excelente en los parámetros de longitud de paso, longitud de zancada, tiempo de paso y tiempo de zancada ($CCI > 0,90$), y buena en la velocidad ($CCI = 0,76-0,90$). La fiabilidad inter-observador es excelente ($CCI > 0,90$) en todos los parámetros espaciotemporales estudiados en ambos observadores. La validez de criterio entre Kinovea® y VICON Motion System® es excelente para los parámetros estudiados ($r > 0,80$) en ambos evaluadores. Estos hallazgos respaldan el empleo de Kinovea® como una herramienta accesible y de fácil manejo, con la que obtener datos objetivos de la marcha.

PALABRAS CLAVE: Análisis de la marcha; Propiedades psicométricas; Fiabilidad; Parámetros espacio-temporales; Validez de criterio.

ABSTRACT

The aims of this study are to evaluate test-retest and inter-rater reliability of the software Kinovea® to obtain the spatiotemporal gait parameters, as well as to study the criterion validity with respect to a three-dimensional motion capture system. The results obtained are statistically significant ($p < 0.05$) in all the parameters studied. The test-retest reliability shows an excellent correlation in the parameters of step length, stride length, step time and stride time ($ICC > 0.90$), and good in speed ($ICC = 0.76-0.90$). The inter-rater evaluation is excellent ($ICC > 0.90$) in all the spatiotemporal parameters studied in both raters. The criterion validity between Kinovea® and VICON Motion System® is excellent for the parameters studied ($r > 0.80$) in both raters. These findings support the use of Kinovea® as an accessible and easy-to-use tool with which to obtain objective gait data.

KEY WORDS: Gait Analysis; Psychometric Properties; Reliability; Spatiotemporal Parameters; Criterion Validity.

INTRODUCCIÓN

Las alteraciones de la marcha representan una de las dificultades más comunes en personas que presentan alguna patología, ya sea neurológica o musculoesquelética (1), así como en mayores, pudiendo afectar negativamente en la participación y calidad de vida de estos sujetos.

El estudio de la marcha constituye una herramienta esencial en el diagnóstico de diversas patologías que permite guiar la toma de decisiones clínicas, monitorizar la progresión de un proceso patológico, personalizar el tratamiento y/o evaluar la

eficacia de las diferentes intervenciones terapéuticas llevadas a cabo en los pacientes (1-5). Además, algunos parámetros espaciotemporales de la marcha son considerados factores predictores de calidad de vida, riesgo de caídas, tiempo de hospitalización e incluso mortalidad en la población (6,7).

Uno de los parámetros espaciotemporales más analizados en la práctica clínica es la velocidad, comúnmente evaluada con pruebas de marcha con cronómetro como la prueba de los 10 metros. Sin embargo, estos métodos presentan grandes limitaciones para evaluar parámetros como la longitud de paso y el tiempo de paso (8,9), siendo estos estudiados mediante la observación visual. A pesar de su accesibilidad y fácil manejo, estas pruebas no están exentas de cierta subjetividad por parte del evaluador y del posible error interobservador y test-retest.

Los sistemas tridimensionales de análisis de movimiento son considerados el *gold standard* o prueba de referencia, ya que proporcionan datos objetivos y cuantitativos en cuanto a parámetros cinemáticos, cinéticos y espaciotemporales (10). Sin embargo, estos sistemas presentan una serie de inconvenientes, como el elevado coste de los equipos, la necesidad de personal formado en la técnica, los tiempos de procesado considerables y el espacio necesario para su instalación, ubicados en laboratorios específicos. Es por estos motivos que no se encuentran disponibles habitualmente en la práctica clínica.

Con el propósito de conseguir datos más objetivos que la observación visual y abaratar los costes que conllevan los sistemas tridimensionales de captura de movimiento, en los últimos años se vienen desarrollando nuevos métodos de análisis del movimiento de bajo coste (11), basados en la obtención de vídeos a través de cámaras o dispositivos móviles para su posterior análisis.

El software gratuito Kinovea® permite realizar, a través de imágenes o vídeos, un análisis cinemático lineal y/o angular del gesto deportivo de acciones dinámicas o estáticas, mediante las diferentes herramientas que presenta. El empleo de herramientas como el dibujo de vectores y ángulos, y el cronómetro en el estudio de la marcha permitirían obtener datos objetivos y cuantitativos con los que realizar una aproximación diagnóstica en el caso de detectar alguna alteración de la misma (12). Este software ha sido empleado por diversos autores para el análisis de movimientos durante prácticas deportivas como el voleibol, la carrera o el salto vertical (13-18).

En relación con el estudio de parámetros espaciotemporales con el software Kinovea®, Mathew et al., en 2017, lo emplearon en el análisis de la marcha de sujetos mayores, proporcionándoles datos objetivos que les permitieron registrar asimetrías en la marcha con las que podrían predecir el riesgo de caídas (19). García-Pinillos et al., en 2019, evaluaron la validez concurrente de dos unidades de medición de inercia diferentes, RunScribe™ y Stryd™, para medir estos parámetros durante la carrera en una cinta sin fin, mediante la comparación de datos con un análisis de vídeo para lo que emplearon Kinovea®. A pesar de que ambos instrumentos fueron considerados herramientas válidas para el análisis de estos parámetros, el sistema RunScribe™ se mostró más preciso para medir la longitud de paso y parámetros temporales que Stryd™ (20).

En definitiva, la literatura consultada demuestra el uso del software Kinovea® en ámbitos deportivos y clínicos; si bien, existe una ausencia de estudios, en nuestro conocimiento, que evalúen sus propiedades psicométricas para el análisis de parámetros espaciotemporales de la marcha humana en sujetos sin patología, siendo esta la base para utilizar este programa de medición en deportistas y en personas con patología.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) evaluar la fiabilidad test-retest e inter-observador del software Kinovea® para la obtención de los principales parámetros espaciotemporales de la marcha; 2) analizar la validez de criterio, comparando los datos espaciotemporales obtenidos a través del software Kinovea® con los registrados con un sistema de captura del movimiento tridimensional.

MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

Se solicitó la participación voluntaria de sujetos a través de charlas informativas.

Se establecieron los siguientes criterios de inclusión: mayores de 18 años, ausencia de patologías que causen alteraciones en la marcha y la postura, y no emplear órtesis o productos de apoyo para la marcha.

Los participantes fueron excluidos si presentaban: patologías osteoarticulares, musculares o neurológicas que conlleven alteraciones de la marcha, o lesiones en las extremidades inferiores seis meses previos a la realización del estudio.

Aspectos éticos

El presente estudio fue aprobado por el comité de ética local. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes incluidos en dicho trabajo.

Instrumentación

Se utilizó la cámara digital Nikon D3200 Full HD de 1280x720 píxeles de resolución y 50 fotogramas por segundo para la grabación de la marcha. Ésta se situó perpendicular al participante a una distancia de 2,5 m y elevada del suelo 1 m.

VICON Motion System® (Oxford Metrics, Oxford, Reino Unido) se empleó con el propósito de realizar un análisis de movimiento tridimensional y analizar la validez de criterio de Kinovea®. Este sistema consta de ocho cámaras de 100 Hz de captación infrarroja, tres plataformas de fuerza AMTI®, dos cámaras de vídeo BASLER A601FC-2 y una estación de datos donde se registra y procesa la información.

Procedimiento

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Movimiento, Biomecánica, Ergonomía y Control Motor (LAMBECOM), situado en el Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física, de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Rey Juan Carlos. Se llevaron a cabo dos sesiones, con un intervalo de separación de una semana entre ellas.

La configuración del sistema Vicon consistió en la colocación de marcadores pasivos y reflectantes, en áreas anatómicas específicas de las extremidades inferiores (espinas ilíacas anterosuperior, espinas ilíacas posterosuperior, tercio medio del muslo, cóndilo femoral externo, tercio medio de la tibia, maléolo externo, calcáneo y cabeza del segundo metatarsiano), según los modelos biomecánicos de Davis et al. (21) y Kadaba et al. (22).

Se situaron dos marcas sobre la pasarela por la que debían caminar los sujetos, a una distancia de dos metros entre ellas, con el objetivo de contrastar la medida en el vídeo y de esa manera, poder obtener los parámetros de longitud de paso y longitud de zancada.

Tras finalizar la instrumentación, se les solicitó a los participantes que caminasen por una pasarela de 11 metros de longitud a la velocidad que les resultase cómoda.

Se realizaron cinco grabaciones de la marcha de cada sujeto, en cada una de las sesiones, para su posterior análisis.

Análisis de datos

Para el análisis de datos se empleó el software gratuito Kinovea® versión 0.8.15. (23). Dos evaluadores, de manera independiente, analizaron mediante la observación de los vídeos adquiridos los parámetros de longitud de paso (distancia entre dos choques de talón sucesivos de una extremidad y otra), longitud de zancada (distancia entre dos choques de talón sucesivos de una misma extremidad), tiempo de paso y tiempo de zancada de la marcha de cada uno de los sujetos (Figura 1). La velocidad (V) fue calculada, teniendo en cuenta la longitud y el tiempo de zancada, mediante la fórmula $V = \frac{\text{distancia (m)}}{\text{tiempo (s)}}$. Este procedimiento se repitió para los vídeos adquiridos tanto en la primera sesión como en la segunda sesión, permitiendo el estudio de fiabilidad test-retest e inter-observador.

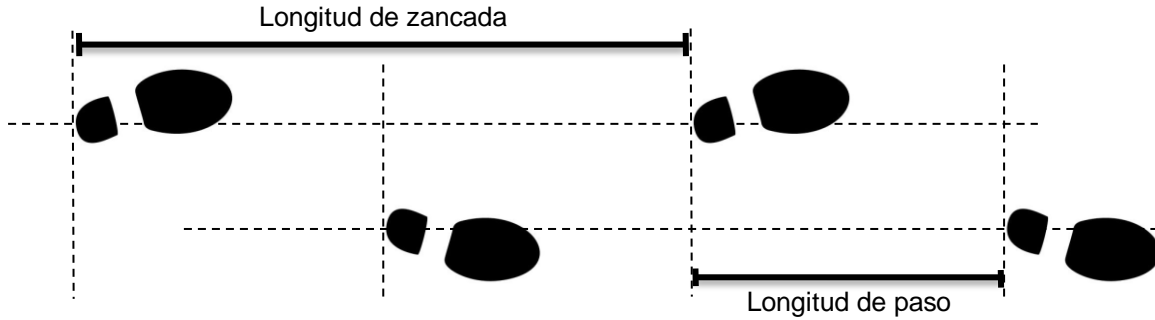


Figura 1. Longitud de paso y longitud de zancada (24).

El procedimiento para la obtención de los parámetros espaciotemporales, comienza con el trazado de una línea que una las dos marcas situadas en la pasarela. Seguidamente, deberemos contrastar su medida en el programa (2 metros), lo que nos permitirá obtener la longitud de paso y la longitud de zancada con el empleo de la herramienta “línea” (Figuras 2 y 3).

Para la obtención de los parámetros de tiempo de paso y tiempo de zancada se empleará la herramienta “cronómetro” del software. Si se activa desde el contacto inicial de un pie hasta el contacto inicial del contralateral obtendremos el tiempo de paso, y si lo hacemos desde el contacto inicial de un pie hasta el contacto inicial del mismo, el tiempo de zancada (Figuras 2 y 3).

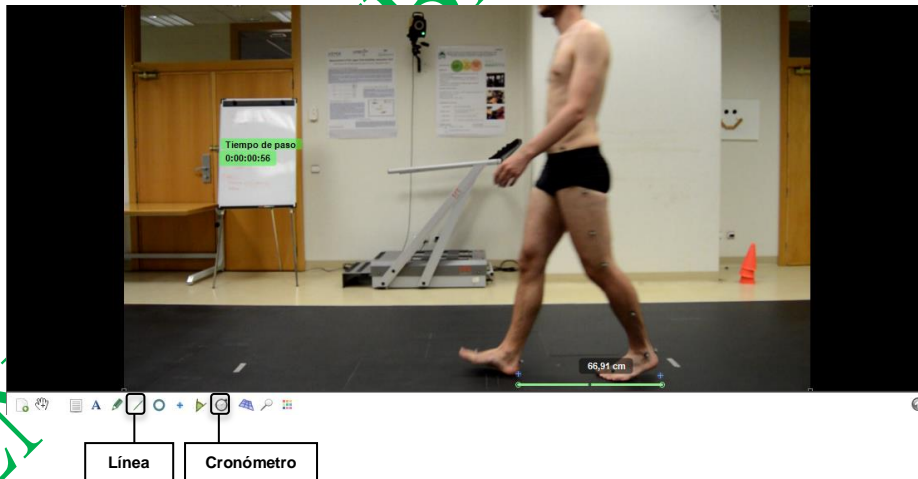


Figura 2. Obtención de longitud de paso y tiempo de paso mediante el software Kinovea ®.

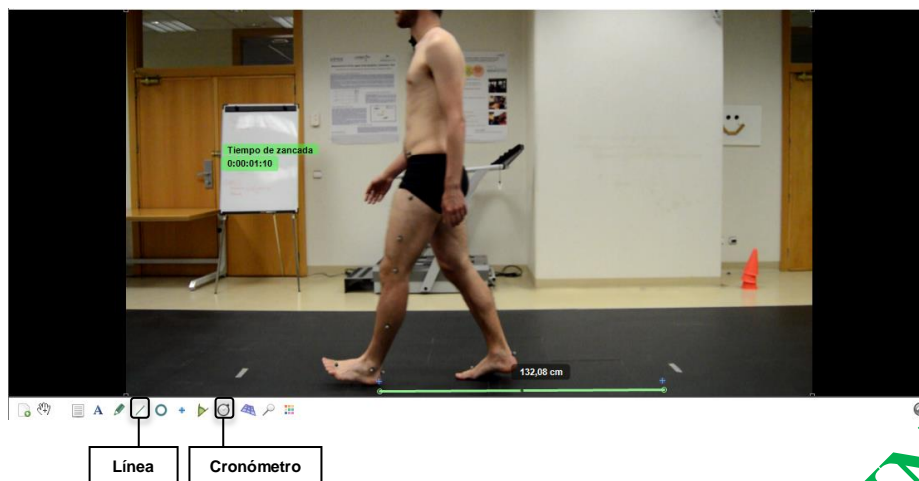


Figura 3. Obtención de longitud de zancada y tiempo de zancada mediante el software Kinovea®.

Para el procesamiento de las pruebas obtenidas mediante el equipo VICON Motion System® (Oxford Metrics, Oxford, Reino Unido), el cual fue realizado por un tercer evaluador, se utilizó el software Vicon Nexus® 1.8.5. Considerando que el momento exacto analizado a través de los vídeos adquiridos para el análisis con Kinovea® coincidía con el pisado en una de las plataformas, se procuró que el tercer evaluador analizase el mismo paso y la misma zancada en cada una de las pruebas. Para el procesamiento de éstas, en primer lugar, fue necesario etiquetar los marcadores en una prueba estática, que proporciona los valores angulares correspondientes a la posición de bipedestación de la pelvis, la cadera, la rodilla y el tobillo, en los tres planos anatómicos de movimiento. A continuación, en la prueba de marcha a analizar (captura dinámica) y tras el etiquetado de los marcadores, se reconstruyeron las trayectorias perdidas de éstos y se procedió a detectar los eventos de *foot strike* y *foot off*. Este proceso permite obtener gráficas y valores numéricos de los parámetros cinemáticos, cinéticos y espaciotemporales de la marcha en archivos de Microsoft Excel mediante el programa Vicon Polygon®.

Cálculo del tamaño muestral

El tamaño de la muestra se calculó en base a Walter, et al. (25). Considerando un ICC mínimamente aceptable (p_0) de 0,6, y un ICC esperado (p_1) de 0,8, y un 10% de abandono, el tamaño de muestra necesario es de 43 sujetos. Finalmente, el tamaño de la muestra fue de 50 sujetos.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa SPSS 22.0 para Windows (versión 22.0, SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

Se calculó el Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI) y el Intervalo de Confianza del 95% (IC 95%) para establecer el nivel de fiabilidad test-retest e inter-observador. El nivel de significación estadística se estableció en un valor p

inferior a 0,05. El CCI fue calculado para los parámetros espaciotemporales de la marcha. Valores de CCI > 0,90 indican una excelente fiabilidad; entre 0,76-0,90, buena fiabilidad; entre 0,50-0,75, fiabilidad moderada; <0,5, baja fiabilidad (26).

La fiabilidad absoluta fue determinada por la estimación del error estándar de la medida (del inglés standard error of the measurement, SEM) y el cambio mínimo detectable (del inglés minimal detectable change, MDC). Para ello fue necesario el cálculo de la desviación estándar de las diferencias entre los observadores (del inglés standard deviation of the differences between raters, SD_{diff}). El SEM y el MDC fueron calculados empleando las siguientes ecuaciones: $SEM = SD_{diff} \cdot \sqrt{1 - CCI}$ y $MDC_{95} = 1.96 \cdot \sqrt{2} \cdot SEM$ (27).

El coeficiente de correlación de Pearson (r) se empleó para estudiar la relación entre Kinovea® y VICON Motion System®. Los coeficientes de correlación de 0,00 a 0,49 se interpretaron como pobres, los de 0,50 a 0,79 como moderados, y los de 0,80 o superiores como excelentes (28).

RESULTADOS

En el estudio participaron cincuenta sujetos (26 mujeres/24 hombres; edad 21.62 ± 2.62 años; peso 65.74 ± 12.94 kg; altura 167.49 ± 25.57 cm) sin alteraciones en la marcha.

La fiabilidad test-retest mostró una correlación excelente en los parámetros de longitud de paso, longitud de zancada, tiempo de paso y tiempo de zancada (CCI>0,90), y buena en la velocidad (CCI= 0,76-0,90) (Tabla 1), con intervalos de confianza ajustados [inferior a 14 puntos (0,80-0,93)].

El CCI para la fiabilidad inter-observador fue >0,90 en todos los parámetros espaciotemporales estudiados en ambos observadores, lo que indica una excelente confiabilidad entre los evaluadores (Tabla 2). Los intervalos de confianza para la fiabilidad inter-observador fueron estrechos, con intervalos inferiores a 7 puntos (0,90-0,97).

La validez de criterio entre Kinovea® y VICON Motion System® fue excelente para los parámetros estudiados ($r > 0,80$) en ambos evaluadores. Los intervalos de confianza fueron ajustados [menos de 12 puntos (0,81-0,93)] (Tabla 3).

La tabla 4 muestra el SEM y el MDC test-retest de cada observador e inter-observador de los parámetros espaciotemporales analizados.

Tabla 1. Test-retest de los parámetros espaciotemporales de Kinovea.

	Observador 1					Observador 2				
	Sesión 1	Sesión 2	CCI	IC 95%	p-valor	Sesión 1	Sesión 2	CCI	IC 95%	p-valor
LP (m)	0,672 (0,51)	0,672 (0,52)	0,924	0,867 a 0,957	< 0.01*	0,679 (0,53)	0,679 (0,54)	0,927	0,871 a 0,958	< 0.01*
LZ (m)	1,341 (0,1)	1,339 (0,1)	0,933	0,822 a 0,962	< 0.01*	1,367 (0,1)	1,369 (0,1)	0,941	0,896 a 0,966	< 0.01*
TP (s)	0,539 (0,03)	0,536 (0,03)	0,916	0,851 a 0,952	< 0.01*	0,538 (0,03)	0,536 (0,03)	0,904	0,830 a 0,945	< 0.01*
TZ (s)	1,068 (0,06)	1,059 (0,06)	0,922	0,863 a 0,956	< 0.01*	1,067 (0,06)	1,057 (0,06)	0,922	0,862 a 0,956	< 0.01*
V (m/s)	1,26 (0,12)	1,27 (0,12)	0,887	0,800 a 0,936	< 0.01*	1,285 (0,12)	1,3 (0,13)	0,893	0,812 a 0,939	< 0.01*

Los valores referentes a la Sesión 1 y 2 del Observador 1 y el Observador 2 son expresados en media y desviación estándar.

LP, longitud de paso. LZ, longitud de zancada. TP, tiempo de paso. TZ, tiempo de zancada. V, velocidad. CCI, Coeficiente de Correlación Intraclase. IC, Intervalo de Confianza. m, metros. s, segundos. * p-valor < 0,05.

Tabla 2. Fiabilidad inter-observador de los parámetros de Kinovea.

	Observador 1 Vs. Observador 2							
	Observador 1	Observador 2	Sesión 1			Sesión 2		
			CCI	IC 95%	p-valor	CCI	IC 95%	p-valor
LP (m)	0,672 (0,51)	0,679 (0,53)	0,961	0,932 a 0,978	< 0.01*	0,949	0,909 a 0,971	< 0.01*
LZ (m)	1,341 (0,1)	1,367 (0,1)	0,993	0,988 a 0,996	< 0.01*	0,993	0,988 a 0,996	< 0.01*
TP (s)	0,539 (0,03)	0,538 (0,03)	0,989	0,981 a 0,994	< 0.01*	0,984	0,971 a 0,991	< 0.01*
TZ (s)	1,068 (0,06)	1,067 (0,06)	0,996	0,993 a 0,998	< 0.01*	0,995	0,991 a 0,997	< 0.01*
V (m/s)	1,260 (0,12)	1,285 (0,12)	0,995	0,991 a 0,997	< 0.01*	0,994	0,989 a 0,996	< 0.01*

Los valores referentes al Observador 1 y al Observador 2 son expresados en media y desviación estándar.

LP, longitud de paso. LZ, longitud de zancada. TP, tiempo de paso. TZ, tiempo de zancada. V, velocidad. CCI, Coeficiente de Correlación Intraclase. IC, Intervalo de Confianza. m, metros. s, segundos. * p-valor < 0,05.

Tabla 3. Validez de los parámetros de Kinovea.

	Observador 1	Observador 2	Vicon	Observador 1 Vs. Vicon			Observador 2 Vs. Vicon		
				r	IC 95%	p-valor	r	IC 95%	p-valor
LP (m)	0,672 (0,51)	0,679 (0,53)	0,654 (0,04)	0,895	0,821 a 0,939	< 0.01*	0,948	0,909 a 0,970	< 0.01*
LZ (m)	1,341 (0,1)	1,367 (0,1)	1,306 (0,09)	0,964	0,937 a 0,979	< 0.01*	0,964	0,937 a 0,979	< 0.01*
TP (s)	0,539 (0,03)	0,538 (0,03)	0,534 (0,03)	0,894	0,819 a 0,938	< 0.01*	0,909	0,844 a 0,947	< 0.01*
TZ (s)	1,068 (0,06)	1,067 (0,06)	1,070 (0,06)	0,991	0,984 a 0,994	< 0.01*	0,989	0,980 a 0,993	< 0.01*
V (m/s)	1,260 (0,12)	1,285 (0,12)	1,223 (0,11)	0,978	0,961 a 0,987	< 0.01*	0,973	0,952 a 0,984	< 0.01*

Los valores referentes al Observador 1, Observador 2 y Vicon son expresados en media y desviación estándar.

LP, longitud de paso. LZ, longitud de zancada. TP, tiempo de paso. TZ, tiempo de zancada. V, velocidad. r, Coeficiente de Correlación de Pearson. IC, Intervalo de Confianza. m, metros. s, segundos. * p-valor < 0,05.

Tabla 4. Error estándar de la medida y cambio mínimo detectable test-retest del observador 1 y el observador 2 e inter-observador.

	TEST-RETEST OBSERVADOR 1		TEST-RETEST OBSERVADOR 2		INTER-OBSERVADOR	
	SEM	MDC	SEM	MCD	SEM	MCD
LP (m)	0,0069	0,0191	0,0071	0,0196	0,0050	0,0140
LZ (m)	0,0126	0,0351	0,0119	0,0332	0,0040	0,0112
TP (s)	0,0047	0,0131	0,0052	0,0145	0,0017	0,0047
TZ (s)	0,0087	0,0242	0,0090	0,0249	0,0019	0,0052
V (m/s)	0,0202	0,0560	0,0200	0,0554	0,0045	0,0126

SEM (del inglés *standard error of the measurement*, error estándar de la medida). MDC (del inglés *minimal detectable change*, cambio mínimo detectable). LP, longitud de paso. LZ, longitud de zancada. TP, tiempo de paso. TZ, tiempo de zancada. V, velocidad. m, metros. s, segundos.

DISCUSIÓN

El propósito del presente estudio fue evaluar la fiabilidad test-retest e inter-observador del software Kinovea® para la obtención de los principales parámetros espaciotemporales de la marcha. Además, se analizó la validez de criterio, comparando los datos espaciotemporales obtenidos a través del software Kinovea® con los registrados por Vicon Nexus System®.

Este trabajo halló que el software Kinovea® es un sistema válido y fiable para evaluar la longitud de paso, la longitud de zancada, el tiempo de paso, el tiempo de zancada y la velocidad en sujetos sin alteraciones de la marcha. Los resultados obtenidos mostraron una excelente fiabilidad test-retest e inter-observador ($CCI > 0,90$), en todos los parámetros analizados en ambos observadores, a excepción de la velocidad, cuya fiabilidad test-retest fue buena ($CCI = 0,76-0,90$). Además, la validez de criterio entre Kinovea® y VICON Motion System® fue excelente para los parámetros estudiados ($r > 0,80$) en ambos evaluadores.

Para mejorar las evaluaciones en entornos clínicos, existe la necesidad de desarrollar tecnología de análisis de marcha portátil y de bajo coste. Dicha tecnología debe evaluarse para determinar su validez y fiabilidad (29) al analizar parámetros espaciotemporales de la marcha. En nuestro conocimiento, no existen estudios previos que evalúen las propiedades psicométricas del software Kinovea® para el análisis de la marcha. Sin embargo, García-Pinillos et al., en 2019, llevaron a cabo un trabajo cuyo objetivo fue evaluar el acuerdo de dos sistemas de medición de inercia, Stryd™ y RunScribe™, para analizar los parámetros espaciotemporales durante la carrera en una cinta sin fin, utilizando como método de referencia el análisis de vídeo (20). Estos vídeos fueron analizados mediante el software Kinovea®, con los que obtuvieron los parámetros espaciotemporales de tiempo de contacto, tiempo de oscilación y tiempo de paso de la marcha. Los parámetros de longitud y frecuencia de paso fueron calculados mediante fórmulas matemáticas teniendo en cuenta los anteriores.

Diversos autores han estudiado las propiedades psicométricas de sistemas de análisis de movimiento de bajo coste para el estudio de la marcha humana. Uno de los sistemas más analizados es Microsoft Kinect®, que se propone como una alternativa accesible y sin la necesidad de emplear marcadores para el análisis del movimiento. Mentiplay et al., en 2015, estudiaron su fiabilidad test-retest y validez concurrente durante la marcha a dos velocidades, confortable y rápida, empleando VICON Motion System® como prueba de referencia (30), el mismo sistema que se utiliza en el presente trabajo. En línea con los resultados obtenidos en este estudio, hallaron una excelente validez de Kinect® para los parámetros de longitud y tiempo de paso, y velocidad ($r \geq 0,90$). Sin embargo, encontraron una menor fiabilidad test-retest, que fue moderada para el tiempo de paso (CCI=0,70) y la velocidad (CCI= 0,75), y buena para la longitud de paso (CCI=0,87). Similares resultados obtuvieron Dolatabadi et al., en 2016, quienes estudiaron la validez de Kinect® para el estudio de estos parámetros comparando los resultados con otro sistema de referencia, GAITRite, que consiste en una pasarela portátil provista de sensores de presión (31).

Otros autores como Van Bloemendaal et al., han desarrollado su propio sistema bidimensional de análisis de la marcha (SGAS, del inglés *spatiotemporal gait analysis system*) para medir los parámetros espaciotemporales en el plano sagital utilizando una única cámara (32). En su estudio analizaron la validez de SGAS con respecto a GAITRite en sujetos sanos que caminaron en diferentes condiciones: descalzos, calzados e imitando alteraciones de la marcha propias enfermedades neurológicas o musculoesqueléticas como puede ser de puntillas o más lentamente). Los resultados de la marcha con calzado mostraron una excelente validez para los parámetros de longitud y tiempo de paso (ICC= 0,97), en línea con los hallados en el presente estudio. Además, determinaron que es necesario un mínimo de cuatro pasos para obtener una evaluación confiable de estos parámetros, de acuerdo con los registrados en nuestro trabajo.

En cuanto a la metodología a seguir para el análisis de vídeos con el software Kinovea®, no se ha descrito en la literatura existente un protocolo estandarizado (20). Estudios previos que emplean una cámara de vídeo determinan que la posición de esta resulta esencial para la obtención de parámetros en un plano del espacio (20, 32), situándose perpendicular a la pasarela de marcha o cinta sin fin a una altura entre 80-92 cm. En el presente estudio, se evalúan los parámetros espaciotemporales en el plano sagital (30,32) y de un único miembro inferior (30), en concordancia con otros autores. En relación con la velocidad con la que los sujetos debían caminar para realizar la captura, se evaluó a una única velocidad, en contraposición con otros autores que realizaron el estudio a dos velocidades, confortable y rápida (30), e incluso incluyendo una tarea dual matemática (31).

El presente estudio presenta una serie de limitaciones que deben señalarse. Por un lado, el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha a una única velocidad de marcha, mediante el empleo de una cámara estacionaria y en un único plano del espacio, lo que impide evaluar otros parámetros como el ancho de paso, obliga a realizar una lectura precavida de los resultados. Además, resultaría necesario evaluar la utilidad del software Kinovea® en un entorno clínico en grupos de pacientes que presenten trastornos de la marcha.

CONCLUSIÓN

El empleo del software gratuito Kinovea® en el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha en sujetos sin patología, refleja una excelente fiabilidad test-retest, a excepción de la velocidad que es buena, e inter-observador. La validez de criterio con respecto a un sistema tridimensional de captura del movimiento fue excelente en todos los parámetros espaciotemporales estudiados. Por tanto, el software Kinovea® podría ser una herramienta accesible y de fácil manejo con la que aportar 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. Perry J. Gait analysis: normal and pathological function, 1st edn. Thorofare: SLACK Inc.; 1992.
2. Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke. PM R. 2014; 6: 635–642.
3. Rinne MB, Pasanen ME, Vartiainen MV, Lehto TM, Sarajuuri JM, Alaranta HT. Motor performance in physically wellrecovered men with traumatic brain injury. J Rehabil Med. 2006; 38: 224–229.
4. Warlop T, Detrembleur C, Bollens B, Stoquart G, Crevecoeur F, Jeanjean A, et al. Temporal organization of stride duration variability as a marker of gait instability in Parkinson's disease. J Rehabil Med. 2016; 48: 865–871.
5. Veilleux LN, Raison M, Rauch F, Robert M, Ballaz L. Agreement of spatio-temporal gait parameters between a vertical ground reaction force decomposition algorithm and a motion capture system. Gait Posture. 2016;43: 257-264
6. Purser JL, Weinberger M, Cohen HJ, Pieper CF, Morey MC, Li T, et al. Walking speed predicts health status and hospital costsfor frail elderly male veterans. J Rehabil Res Dev. 2005; 42: 535–545.
7. Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, et al. Gait speed and survival in older adults. J Am Med Assoc. 2011; 305:50–58
8. Patterson KK, Nadkarni NK, Black SE, McIlroy WE. Gait symmetry and velocity differ in their relationship to age. Gait Posture. 2012; 35: 590–594.
9. Lythgo N, Wilson C, Galea M. Basic gait and symmetry measures for primary school-aged children and young adults. II: walking at slow, free and fast speed. Gait Posture. 2011; 33: 29–35.
10. Daly JJ, NetheryJ, McCabe JP, Brenner I, Rogers J, Gansen J, et al. Development and testing of the Gait Assessment and Intervention Tool (G.A.I.T.): a measure of coordinated gait components. J Neurosci Methods. 2009; 178(2):334-339.
11. Mills K. Motion analysis in the clinic: There's an app for that. J Physiother. 2015; 61:49-50.
12. Gor-García-Fogeda MD, Fernández-González P. Escalas de evaluación y análisis visual de la marcha. En: Molina-Rueda F, Carratalá-Tejada M, editores. La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología. España: Panamericana; 2020. p. 65-70.

13. Hileño R, Buscà B. Herramienta observacional para analizar la cobertura del ataque en voleibol. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte*. 2012; 12 (47): 557-570.
14. Bertelsen ML, Jensen JF, Nielsen MH, Nielsen RO, Rasmussen S. Foot strike patterns among novice runners wearing a conventional, neutral running shoe. *Gait Posture*. 2012; 38(2):354-356.
15. Damsted C, Larsen LH, Nielsen RO. Reliability of video-based identification of footstrike pattern and video time frame at initial contact in recreational runners. *Gait Posture*. 2015; 42(1):32-35.
16. Damsted C, Nielsen RO, Larsen LH. Reliability of video-based quantification of the knee- and hip angle at foot strike during running. *Int J Sports Phys Ther*. 2015; 10(2):147-154.
17. Balsalobre-Fernández C, Tejero-González CM, del Campo-vecino J, Bavaresco N. The concurrent validity and reliability of a low cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps. *J Strength Cond Res*. 2014; 28(2):528-533.
18. de Almeida MO, Saragiotto BT, Yamato TP, Lopes AD. Is the rearfoot pattern the most frequently foot strike pattern among recreational shod distance runners? *Phys Ther Sport*. 2015; 16(1):29-33.
19. Mathew J, Vanlalpeki T, Nair GG. Gait evaluation of institutionalized elders – A feasibility study. *Indian Journal of*. 2017; 31(1):71-83.
20. García-Pinillos F, Latorre-Román PÁ, Soto-Hermoso VM, Párraga-Montilla JA, Pantoja-Vallejo A, Ramírez-Campillo R, et al. Agreement between the spatiotemporal gait parameters from two different wearable devices and high-speed video analysis. *PLoS One*. 2019; 14(9):e0222872.
21. Davis RB, Ounpuu S, Tyburski D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. *Hum Mot Sci*. 1991; 10(5):575-587.
22. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res*. 1990; 8(3):383-392.
23. Kinovea [consultado el 27 de abril de 2020]: Disponible en: <https://www.kinovea.org/>
24. Monge-Pereira E, Fernández-González P, Cuesta-Gómez A. Ciclo de la marcha: fases y parámetros espaciotemporales. En: Molina-Rueda F, Carratalá-Tejada M, editores. *La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología*. España: Panamericana; 2020. p. 13-18.
25. Walter SD, Eliasziw M, Donner A. Sample size and optimal designs for reliability studies. *Stat Med*. 1998; 17(1):101-110.
26. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016; 15(2):155-163.
27. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res*. 2005; 19(1):231-240.
28. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
29. Andresen EM. Criteria for assessing the tolos of disability outcomes research. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000; 81 (12 Suppl 2): 15-20
30. Mentiplay BF, Perraton LG, Bower KJ, Pua YH, McGaw R, Heywood S1, et al. Gait assessment using the Microsoft Xbox One Kinect: Concurrent validity and inter-day reliability of spatiotemporal and kinematic variables. *J Biomech*. 2015; 48(10):2166-2170.

31. Dolatabadi E, Taati B, Mihailidis A. Concurrent validity of the Microsoft Kinect for Windows v2 for measuring spatiotemporal gait parameters. *Med Eng Phys.* 2016; 38(9):952-958.
32. van Bloemendaal M, Beelen A, Kleissen RFM, Geurts AC, Nollet F, Bus SA. Concurrent validity and reliability of a low-cost gait analysis system for assessment of spatiotemporal gait parameters. *J Rehabil Med.* 2019; 51(6):456-463.

Número de citas totales / Total references: 32 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 1
(3,125%)

PENDIENTE DE PUBLICACIÓN / IN PRESS