

UTILIDADES DEL SOFTWARE KINOVEA. UNA REVISIÓN NARRATIVA



AUTORA

LIC. CLARISA MILDENBERGER

cmildenberger@ugr.edu.ar



Docente de Biomecánica y de Kinesiología Deportiva en Universidad del Gran Rosario.

Preparadora física y kinesióloga del equipo de florete, Club Universitario Rosario (CUR).

Profesora de Ejercicio Físico Adaptado en Gimnasio ATP.

Especialista en Kinesiología del Deporte. Universidad del Gran Rosario, Rosario.

Licenciada en Educación Física. Universidad Nacional de Villa María.

Licenciada en Kinesiología y Fisioterapia. Universidad Nacional de Córdoba.

Profesora de Educación Física. IPEF, Córdoba.

RESUMEN

El análisis de un movimiento se puede realizar por medio de diferentes sistemas de medición. La técnica "gold standard" para realizarlo, es a través de las técnicas optoelectrónicas en un laboratorio de análisis 3D (3DMA). Este método utiliza cámaras infrarrojas que combinan la luz (óptica) con lo electrónico, a diferencia de los sensores inerciales y sistemas magnéticos. Los métodos 3DMA, a pesar de ser confiables y precisos, generalmente se utilizan en entornos controlados y no son utilizados con frecuencia entre los entrenadores o kinesiólogos deportivos en campo, debido a su alto costo, la ubicación de marcadores, el transporte, calibración y operación del instrumental por parte de personal capacitado.

El análisis cuantitativo en 2D tiene un enfoque más simple y asume que el movimiento está limitado a un plano determinado o que un plano de movimiento es predominante. Kinovea es un software gratuito, "open-source" (abierto) en donde personas de diferentes localizaciones van colaborando en la creación y definición de una nueva versión. El software fue creado en 2009 a través de la colaboración "non-profit" de distintos investigadores, atletas, entrenadores y programadores de todo el mundo. El análisis de video se ha convertido en una herramienta al alcance de gran parte de la población, sin necesidad de tener grandes conocimientos del tema. Kinovea permite el cálculo de ángulos, distancias, coordenadas y parámetros espacio-temporales, cuadro por cuadro desde una grabación de video. Las mediciones se pueden realizar desde diferentes perspectivas, ya que el software cuenta con opciones de calibración en planos que no son perpendiculares (ortogonales) con respecto al lente y el objeto/plano de movimiento analizado. Se ha demostrado confiabilidad (ICC >0.90) y validez en el análisis de diferentes movimientos a partir de este software y, por las ventajas mencionadas, podría ser una gran herramienta utilizada por el kinesiólogo deportivo.

PALABRAS CLAVE

Fotogrametría; Biomecánica; Deporte; Kinovea

INTRODUCCIÓN

El estudio del movimiento humano puede realizarse desde un aspecto cualitativo como cuantitativo. Los primeros, son una forma simple de evaluación ya que solo requieren el criterio del evaluador, aunque librado a la subjetividad; los segundos, permiten una valoración detallada de los patrones de movimiento de la persona evaluada, pudiendo realizarse tanto en 2D como en 3D. ¹ Es necesario poder objetivar este análisis de manera

“

La utilización de videos en el ámbito deportivo ha dado un gran salto, dando acceso a una verdadera herramienta de bolsillo muy versátil.

”

tal que se puedan comparar datos antes y después de un tratamiento, intervención o patología. Los estudios cinemáticos toman relevancia en este aspecto, abarcando diferentes áreas de interés o abordaje como son las ciencias del deporte, la rehabilitación, la investigación clínica y otros. El análisis de movimiento tiene diferentes métodos según los fines, entre los cuales se podría mencionar su utilidad en el ámbito deportivo, ergonómico y de la rehabilitación.² La técnica *gold standard* para realizarlo, es a través de las técnicas optoelectrónicas en un laboratorio de análisis 3D (3DMA). Este método utiliza cámaras infrarrojas que combinan la luz (óptica) con lo electrónico sincronizado con plataformas de fuerzas, a diferencia de los sensores inerciales y sistemas magnéticos. Este método de análisis mide la cinética y la cinemática, cuantificando los movimientos de cada segmento articular, incluyendo momentos de fuerza internos y externos.³ Sin embargo, estas ventajas en la precisión no son trasladables a la práctica clínica cotidiana debido a su costo elevado, el espacio necesario para el montaje y la complejidad para el análisis e integración de las variables medidas, las imágenes y la información;⁴ como también la calibración, la necesidad de utilizar marcadores, la disponibilidad de un experto para manejar el sistema y el tiempo que demanda su montaje para el análisis.³ Además, cabe decir que en Argentina contamos con pocos espacios para hacerlo, encontrándose la mayoría en Buenos Aires. Por lo tanto, los métodos 3DMA, a pesar de ser confiables y precisos, generalmente se utilizan en entornos controlados⁴ y no son utilizados con frecuencia entre los entrenadores o kinesiólogos deportivos en campo, por las causas ya mencionadas.⁵⁻⁸ Esta valoración debe poder objetivarse en diferentes campos, incluyendo el análisis en el deporte y la práctica clínica, de manera tal que se obtengan datos cuantificables y poder comparar diferentes sujetos, o al mismo sujeto en diferentes momentos.⁹ Hace unos pocos años atrás, las cámaras de alta velocidad eran asociadas a laboratorios de biomecánica y eran de difícil acceso a profesionales del deporte. Sin embargo, la utilización de videos en el ámbito deportivo ha tomado preponderancia en los últimos años. Esta herramienta ha dado un gran salto, sobre todo gracias a la incorporación de cámaras de alta velocidad en los smartphones, dando acceso a los usuarios a una verdadera herramienta “de bolsillo” muy versátil y facilitando la visualización de un movimiento en cámara lenta para detectar posibles errores en el mismo. Una cámara de alta velocidad ofrece la posibilidad de tomar entre 100 y 1000 fotos o cuadros por segundo (fps), mientras que un video “normal” lo hace a 30 fps.¹⁰ El análisis cuantitativo en 2D tiene un enfoque más simple que el 3DMA y asume que el movimiento está limitado a un plano determinado; o bien, que un plano de movimiento es predominante. Estos métodos han demostrado validez, confiabilidad y accesibilidad,^{6,11-13} y si bien tienen una aplicación sencilla y factible, el desafío es poder disminuir los errores para tener una buena imagen de video, calibrada y en las futuras mediciones

mantener las distancias del montaje (set-up) para evitar las variaciones de medida.⁶

Kinovea es un software gratuito, "open-source" (abierto) en donde personas de diferentes localizaciones colaboran en la creación y definición de una nueva versión.¹⁴ El software fue creado en 2009 a través de la colaboración "non-profit" de distintos investigadores, atletas, entrenadores y programadores de todo el mundo.⁹ Muchos autores han procurado comprobar la confiabilidad y validez de este software, así como también su utilidad y contrastarlo con un análisis de laboratorio 3DMA.^{5,8,15-17} Kinovea se ha utilizado en tres campos principales: el deporte, el análisis clínico y en comparación con otras nuevas tecnologías. Esto también es posible porque es una herramienta fácil de usar, portátil y gratuita que puede ser utilizada en situaciones reales del campo y que no requieren de experiencia previa del operador para obtener datos precisos y confiables.⁹ Una gran ventaja, es que este tipo de análisis puede hacerse sin interferencia en quien desarrolla la acción o gesto a analizar e incluso con mayor validez ecológica ya que permite hacerlo "en campo".¹

Considerando que el análisis 2D tiene numerosas ventajas y utilidades en el ámbito deportivo (entrenadores, kinesiólogos, preparadores físicos), Kinovea permite el cálculo de ángulos, distancias, coordenadas y parámetros espacio-temporales, cuadro por cuadro a partir de una grabación de video. Se ha comprobado la validez y confiabilidad de Kinovea en distancias de filmación de hasta 5 metros, en ángulos ortogonales (de 90°) con respecto al plano a valorar y hasta 45°; sin embargo, los resultados fueron óptimos en ángulos de 90°. En este caso, la validez para la medición de ángulos y distancias fue comparada con el programa Auto-Cad y la confiabilidad calculada intra e inter-evaluador con ICCs = 0.99-1.00).⁹

Qué permite Kinovea en su interfaz

- Comparar dos videos en una misma pantalla (por ejemplo: frente y perfil o bien, pre y post intervención).
- Reproducir el video a menor o mayor velocidad.
- Añadir textos, flechas, círculos o líneas en los fotogramas.
- Medir ángulos: con la vertical, con la horizontal y con un asta fija, similar a un goniómetro; además del ángulo entre dos segmentos.
- Realizar seguimientos de trayectoria de un segmento corporal u objeto.
- Calibración de la imagen 2D, a partir de una medida conocida.
- Medir longitudes, velocidades y aceleraciones, tanto en X como en Y. Estas medidas pueden ser relativas, absolutas o normalizadas.
- Calibración a través de perspectiva, lo que permite ver distancias o desplazamientos en una superficie a través de la filmación.
- Cronómetro, conociendo la cantidad de cuadros por segundo.
- Focalizar la imagen en algún segmento o punto, con la herramienta "foco"
- Utilizar modelos biomecánicos para estimar el CG, solo en un fotograma.

“

Una gran ventaja, es que este tipo de análisis puede hacerse sin interferencia en quien desarrolla la acción o gesto a analizar e incluso con mayor validez ecológica ya que permite hacerlo "en campo." ”

- Exportar los datos del seguimiento o tracking a una hoja de Excel, como también las gráficas.
- Exportar los videos a un formato mp4 con la edición o bien guardarlos en un archivo de escritura con la extensión "kva". En este último caso, Kinovea por defecto lo guarda con el mismo nombre, de manera tal que al abrir el archivo de video, se cargan todos los datos que se han añadido.

METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda en PubMed y en la Biblioteca Virtual de Salud con la palabra clave Kinovea como "término libre". Según los títulos de los artículos y sus resúmenes, se incluyeron solo los artículos que utilizaron el software Kinovea para las valoraciones de movimiento (patrones de movimiento o gestos deportivos), en poblaciones sin patologías neurológicas.

Utilidad de Kinovea para las mediciones de rango de movimiento

Considerando la validez y confiabilidad de las mediciones a partir de las valoraciones 2D, en la literatura se encuentran diversas utilidades del software a través de las técnicas de fotogrametría. En lo que respecta a los rangos de movimiento (ROM) articulares en la valoración clínica de pacientes, se ha utilizado Kinovea para la medición en hombro, muñeca, isquiotibiales, rodilla y movilidad cervical.¹⁸⁻²²

Elaheem et al. evaluaron, en diferentes estudios, la confiabilidad inter e intra evaluador del software Kinovea para la medición del rango articular del hombro y de la muñeca.^{18,19} Para ello, en el primer caso, midieron los movimientos de flexión, abducción, rotación interna y externa. Se encontró una alta confiabilidad en el uso de este software para la medición de los movimientos mencionados en sujetos sanos; obteniendo un ICC inter-evaluador de 0.95-0.98 y un ICC intra-evaluador de 0.98-0.99 (las diferencias se deben a los distintos movimientos evaluados). Kinovea demostró ser superior a la utilización de goniómetro, inclinómetro y una aplicación de celular utilizadas por otros autores, en donde se encontraron ICC inter-evaluador de 0.31-0.87 e intra-evaluador de 0.91-0.99, dependiendo del estudio.¹⁸ En lo que respecta a la medición de la muñeca, se comprobó la fiabilidad inter e intra evaluador en todos los movimientos articulares utilizando Kinovea, con un ICC intra-evaluador >0.926 e inter-evaluador 0.979-0.877 según el movimiento. Los menores valores encontrados fueron para el movimiento de desviación radial.¹⁹

Por otro lado, otros autores aprovecharon la versatilidad de Kinovea para medir las angulaciones, velocidades y aceleraciones de la rodilla y tobillo. A partir del seguimiento de marcadores, se pueden observar gráficas del desplazamiento de ambas articulaciones en las dos dimensiones del video (XY). Estas gráficas permiten conocer la duración del movimiento, la amplitud alcanzada, como las velocidades y aceleraciones realizadas

“

Se ha utilizado Kinovea para la medición de ROM en hombro, muñeca, isquiotibiales, rodilla y movilidad cervical.

”

(lineales y angulares). La medición de las aceleraciones permite realizar comparaciones con otros dispositivos (acelerómetros), de mayor costo y que deben ir sujetos al segmento que se mueve ²¹. En la misma línea de valoración de la extremidad inferior, otros investigadores determinaron el acuerdo entre dos sistemas de medición de la flexibilidad de los isquiosurales: análisis a través de Kinovea del ángulo de la rodilla (test de AKE) y del ángulo de cadera utilizando un cajón de *sit and reach*, comparado con las mediciones de un inclinómetro. A partir de ello, demostraron que la utilidad de Kinovea es una herramienta altamente confiable y un método objetivo para estas mediciones.²⁰ Desde el punto de vista kinésico y conociendo la problemática de la falta de movimiento a raíz del acortamiento de isquiosurales en diferentes poblaciones, esta herramienta se presenta como una opción más para realizar este tipo de mediciones permitiendo, incluso, el abordaje a distancia con el teletrabajo.

Por último, dentro de las utilidades para la valoración del ROM, se ha utilizado Kinovea para valorar la movilidad cervical en el plano sagital (ver figura 1). Se evaluaron 65 sujetos y se comprobó la confiabilidad intra e inter evaluador, concluyendo que es una herramienta confiable para estas mediciones. En este caso, se encontraron ICC >90 para ambos movimientos, siendo algo menores en la confiabilidad intra-evaluador para la flexión; estos resultados fueron incluso mejores que los encontrados para otros dispositivos como goniómetros (ICC = 0.83-0.86), inclinómetros (ICC = 0.77-0.83) u otros dispositivos que utilicen campos magnéticos o la gravedad para las mediciones (ICC = 0.58-0.99), avalando la utilidad de Kinovea por su bajo costo y accesibilidad.²²

En movimientos funcionales, como puede ser la sentadilla unipodal (SLS), se han encontrado correlaciones de la valoración en 2D a través de video y uso de Kinovea comparado con el 3D.⁸ Se valoró el desplazamiento del tronco, cadera, rodilla y tobillo en los planos sagital y frontal. Para las mediciones, los videos fueron filmados con celulares a 60 fps y luego analizados en Kinovea. Se tomaron imágenes (un cuadro para cada momento) de la posición inicial y la posición de máxima flexión, en los planos sagital y frontal (frente y posterior).⁸ También otros autores valoraron movimientos funcionales, como subir y bajar escaleras, analizando los ángulos de cadera, rodilla y tobillo; así como también los tiempos del ciclo de marcha.²³

Un movimiento similar, como es el test de bajar el escalón ("step down") fue analizado a través de Kinovea, intentando buscar correlaciones en el plano frontal entre la caída pélvica (drop) y el valgo de rodilla. Se analizó una muestra de 38 varones y mujeres futbolistas de las categorías sub15 y sub17. Realizaron las mediciones en 5 repeticiones del test, con la indicación de que toquen el piso con el talón. Utilizaron la medición de ángulo con la horizontal para el caso de la caída pélvica y la herramienta ángulo para medir el valgo de rodilla (ver figura 2). Encontraron que el valgo fue mayor en la población femenina, aunque esto no tuvo correlación con el

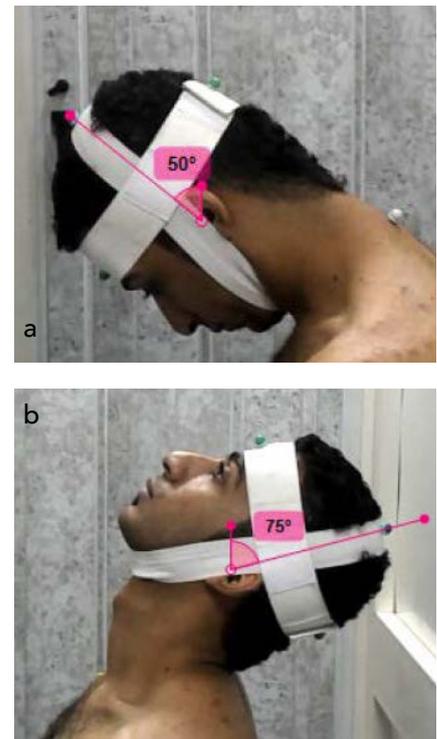


Figura 1. Mediciones realizadas con Kinovea a) flexión; imagen b) extensión.²²

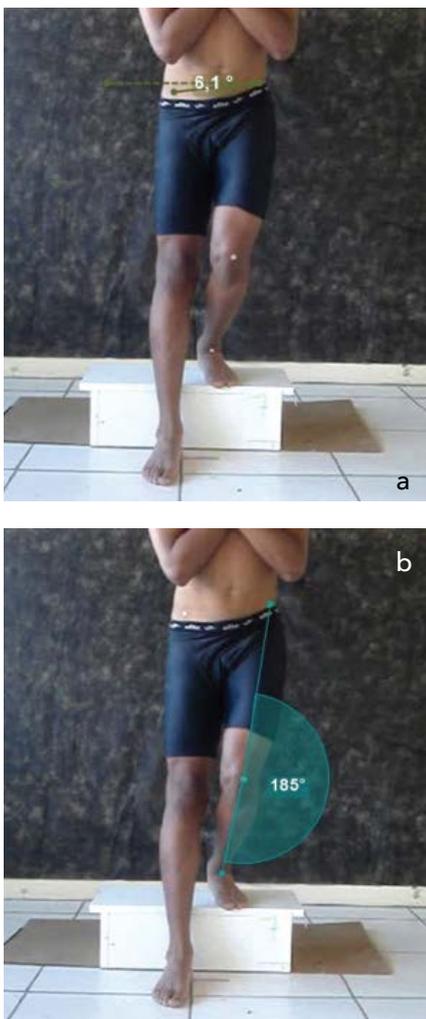


Figura 2. Valoración del step down: a) caída pélvica; b) valgo de rodilla ²⁴

drop pélvico.²⁴ Además de las mediciones mencionadas, se pueden analizar otras angulaciones observando criterios de calidad de control motor (ver figura 3).

Utilidad de Kinovea para las mediciones de témporo-espaciales

Uno de los principales focos de interés al utilizar cámaras de alta velocidad ha sido la evaluación de los tiempos de contacto en la carrera o el sprint y los saltos, que permiten cuantificar el rendimiento. Esto también puede considerarse para identificar las fases o tiempos de un movimiento, una técnica deportiva, un gesto motor.¹⁰ Asimismo, también útil en el aprendizaje de la técnica como herramienta de feedback visual.

Kinovea se validó como una herramienta para valorar variables relacionadas al tiempo.^{11,23,25} El tiempo de vuelo es una forma precisa y la más utilizada para estimar la altura del salto vertical, siendo los medios más utilizados: las plataformas o alfombras de contacto, sistemas de contacto infrarrojos (OptoJump), métodos basados en videos y las plataformas de fuerza que son consideradas *gold standard*. De todos modos, estas últimas pueden estimar la altura con los cálculos a partir de la velocidad y no el tiempo de vuelo, debido a que se ha demostrado ser más preciso.²⁶ Se ha comprobado la validez y confiabilidad concurrente de la valoración del tiempo de salto, a través de cámara de alta velocidad analizando el movimiento con el software Kinovea comparado con el método validado de fotocélulas: OptoJump. Para el cálculo de la altura del salto, se consideró el tiempo de vuelo medido en milisegundos, a partir de la siguiente fórmula: $h = t^2 \times 1,22625$. En esta fórmula, el tiempo debe ser contabilizado en segundos y la altura resultante será en metros.¹¹ Esta metodología, permite que, a partir de una herramienta portátil, de bajo costo y de gran accesibilidad como es un celular y combinado con el software Kinovea, se puedan realizar los cálculos mencionados. La precisión teórica de este método es de medio centímetro ($\pm 5,6\text{mm}$) para un salto que dure 563ms; mientras que en el método infrarrojo como el OptoJump, es de 1,8mm.¹¹ Al comparar las mediciones del OptoJump (1000Hz) y la cámara a 240 fps las diferencias, en promedio, fueron de 3,1mm que es un número relativamente bajo. Por lo tanto, la filmación de video a alta velocidad (aunque sea de baja resolución) y cuantificación del tiempo a través de Kinovea, es igualmente válido y confiable en relación a la medición con tecnología infrarroja. La confiabilidad inter-evaluador utilizando Kinovea fue de ICC=1; el ICC de la comparación Kinovea vs. OptoJump inter-evaluador fue de 0.9997, correspondiéndose una diferencia de 2,2ms en tiempo de vuelo y de 0,31cm en altura del salto entre los cálculos de ambos métodos.¹¹ Es necesario considerar que esta validación se realizó con una cámara de alta velocidad (Casio Exilim FH-25) y no con un Smartphone, pero también, saber que es un estudio del año 2014 y en ese momento el desarrollo tecnológico era menor.

También se ha comparado el movimiento de la rodilla en un drop jump (DJ), contrastando el análisis de un sistema de análisis 3D y Kinovea. Algunas de las limitaciones de este estudio, es que utilizaron a un solo sujeto de investigación; que no han comparado la fiabilidad inter e intra evaluador y, una de las más importantes, la tasa de muestreo en la adquisición de las imágenes que no está detallada en la metodología del estudio pero en la discusión los autores mencionan un procesamiento de 50 fps. Considerando estas limitaciones, los autores demostraron la fiabilidad de Kinovea para realizar un seguimiento del rango articular de la rodilla en el DJ, con diferencias aceptables ya que fueron menores al 10%.¹⁵ En contraste, otros autores realizaron medición de un salto contra movimiento (CMJ), comparado con un sistema 3DMA, en el cual incluyeron a 112 sujetos. A partir de esta investigación, llegaron a la conclusión de que la utilización de un Smartphone y el software Kinovea es un método válido, confiable y útil para medir la altura del CMJ y sus derivadas. Técnicamente, el video procesado en Kinovea fue filmado a 60 fps y se calculó la altura del salto a partir de la velocidad. Los ICC encontrados fueron altos, demostrando una excelente confiabilidad entre ambos métodos: 0.98 para la altura; 0.98 para la velocidad de salida; 0.99 para el impulso. También se calculó el MDC para las diferentes variables: altura del salto, velocidad de despegue e impulso; siendo de 1,34cm; 1,15m/s y 2.93Ns, respectivamente.⁵

Considerando la posibilidad de medir el tiempo a partir de los cuadros por segundo, Kinovea también fue utilizado por otros autores para correlacionar con otros métodos de medición de la altura del salto (a partir de la fórmula ya mencionada),²⁷ encontrando buenos valores de ICC (>0.85), aunque subestimando la altura del salto, pero con resultados consistentes.

La velocidad lineal es una medición frecuente en el ámbito deportivo, que permite identificar el rendimiento por la fuerza aplicada al realizar el ejercicio. Esta modalidad es conocida como entrenamiento basado en la velocidad (VBT) y generalmente se hace uso de transductores de posición lineal (encoders) u otros dispositivos inalámbricos (PUSH band, velowin, Speed4Lift, entre otros) para la medición de la velocidad.²⁸ En estos casos, también es posible utilizar Kinovea pero considerando dos cuestiones: una ventaja es el costo nulo; una desventaja es que el resultado no es en tiempo real. Por este motivo, no nos permite un feedback inmediato durante la ejecución del movimiento en el entrenamiento, aunque si nos da un parámetro de valoración de la fuerza en un determinado gesto evaluado (sentadilla, press de pecho, remo, etc).

Esto ha sido estudiado por Jimenez-Olmedo et al. quienes buscaron la validez y confiabilidad del software Kinovea, a partir de una filmación a 240 fps, para la medición de la velocidad de la barra en comparación con un transductor de posición lineal. Estos autores valoraron el movimiento de la sentadilla en 15 sujetos, obteniendo los datos del desplazamiento



Figura 3. Valoración de la inclinación del tronco, caída pélvica y valgo de rodilla (imagen propia)

de la barra, la velocidad media, la velocidad máxima y el tiempo de fase concéntrica. Los ICC encontrados, en el acuerdo absoluto, demostraron valores mayores a 0.97 validando a esta metodología para las valoraciones mencionadas. De esta manera, y considerando los altos costos de otras tecnologías disponibles en el mercado, se facilita el acceso al análisis cinemático a partir de un software libre y gratuito en conjunto con un smartphome de manera confiable y válida para la media sentadilla.²⁹

En lo que respecta a la medición de la velocidad y considerando el “auge” del entrenamiento basado en la velocidad (VBT), se investigó la confiabilidad de la medición de Kinovea a partir del análisis de video de 3 diferentes smartphones y una cámara de alta velocidad, comparado con un encoder lineal (T-Force). Se encontró una sobreestimación de los resultados de fotogrametría en los valores >60% 1RM; mayor aún en los pesos <60%1RM. Por lo tanto, los autores concluyen que esta metodología tendría ciertas limitaciones en la medición, particularmente con bajas cargas a alta velocidad.³⁰ Cabe destacar que de los smartphones utilizados, solo uno de ellos filmaba a 240 fps, el resto a 120 fps; la cámara de alta velocidad filmó a 210 fps; datos que fueron contrastados con el transductor lineal T-Force, que recolecta información a 1000 Hz. Sin embargo, Pueo et al. argumentan que la resolución del video (HD, FHD, 4K) sería lo que aumentaría la precisión en los resultados más que la cantidad de cuadros por segundo (fps) debido a la mayor cantidad de píxeles y nitidez, ya que ambos momentos de inicio y máxima altura están a velocidad 0.⁵

“
Se encontró una sobreestimación de los resultados de fotogrametría en los valores >60% 1RM; mayor aún en los pesos <60%1RM.”

Utilidad de Kinovea en el análisis de la marcha

Las valoraciones de la marcha permiten determinar la eficacia de las intervenciones kinésicas. A pesar de que suele utilizarse el análisis 3D como *gold standard*, ya se han mencionado las desventajas de estos sistemas en la práctica clínica como también que las nuevas tecnologías ofrecen métodos de valoración de manera objetiva y a bajo costo, al alcance de los distintos profesionales del movimiento.

Se ha utilizado Kinovea para la valoración de la marcha en los planos sagital y frontal.⁴ En el primer caso, midiendo los movimientos de cadera en el contacto inicial y pre-balanceo; los movimientos de la rodilla en el balanceo inicial y en la fase de apoyo media. En el segundo caso (plano frontal) se cuantificó el ángulo de tilt de pelvis y el valgo de rodilla, ambos medidos en la fase de apoyo. Se han encontrado diferencias en los movimientos de tilt de pelvis y valgo de rodilla en el plano frontal, y en el plano sagital en la extensión de cadera durante la fase de apoyo de la marcha en personas con dolor de espalda bajo comparadas con personas controles.⁴

Por otro lado, se comprobó la confiabilidad de Kinovea para la medición de los ángulos en cadera, rodilla y tobillo al momento del contacto inicial en la marcha. Se contrastaron las valoraciones intra e inter evaluador con un sistema de análisis 3D. Los resultados fueron alentadores para el uso

de Kinovea, con un ICC >0.85 para la confiabilidad intra-evaluador y un ICC >0.90 inter-evaluador.¹⁶ Como crítica a este trabajo, podrían mencionarse la altura de la cámara, que para analizar la extremidad inferior lo más recomendable sería ubicarla a la altura de la rodilla; el marcador del 2º metatarsiano, que si bien en todas las imágenes se va a medir igual, no da cuenta realmente del movimiento articular del tobillo; por último, considerar también que el ángulo de la cadera podría tomarse con la vertical. Sin embargo, esta medición del ángulo de la cadera ciertamente pretende considerar la posición de la pelvis; los autores proponen este enfoque como superador a la propuesta de Damsted et al.^{6,16}

Considerando que los análisis de marcha a partir de metodologías de bajo costo 2D han sido limitadas al análisis de los ángulos articulares y la velocidad de marcha, Zult et al. analizaron este patrón al sortear un obstáculo en personas con reducción de la vista, comparadas con adultos jóvenes y adultos mayores sanos. Entre los parámetros cinemáticos que valoraron, se mencionan: altura de cruce en dedos y talón; velocidad de cruce (pie); tiempo de apoyo simple (un pie) al cruzar, izquierdo y derecho; distancia al obstáculo del posicionamiento del pie, antes y después de cruzar.³¹

En comparación con el 3DMA, Littrell et al.¹⁷ desarrollaron un sistema de análisis de marcha de bajo costo en donde incluían a Kinovea como herramienta para el análisis cinemático, además de una plataforma Wii (Wii Balance Board) para medir la fuerza de reacción del suelo. Los resultados no fueron muy alentadores ya que, si bien este sistema tiene el potencial de brindar un análisis cuantitativo de la marcha, los ángulos de la pelvis y del pie no tuvieron buenas correlaciones con el 3DMA. Sin embargo, considerando los altos costos de estos equipos, el sistema propuesto podría responder a las demandas de la práctica clínica; aunque, considerando la recomendación de los autores de no utilizar la Wii Balance Board como una herramienta general para investigación en la marcha.¹⁷

Utilidad de Kinovea en el análisis de la carrera

Hay acuerdo en que la mínima tasa de cuadros por segundo para poder filmar este gesto es de 120 fps aunque, lógicamente, filmarlo a tasas mayores como ser 240 fps aumentaría la precisión en la toma de los diferentes momentos a analizar.⁷

Es posible realizar análisis de video a través del software Kinovea teniendo, al menos, dos planos de filmación: sagital derecho e izquierdo y el plano frontal.

En el proceso terapéutico (y no-lineal) de la rehabilitación, resulta de gran valor tener evaluaciones objetivas de diferentes gestos de movimiento para poder realizar comparaciones en los distintos estadios o fases.

Considerando que la biomecánica de la carrera juega un papel importante (no único) en el desarrollo de lesiones, cuando la presentación del paciente y los hallazgos del examen físico concuerdan con las anomalías

“

Las valoraciones de la marcha permiten determinar la eficacia de las intervenciones kinésicas.

Se ha utilizado Kinovea para la valoración de la marcha en los planos sagital y frontal.

”

“
Se encontraron resultados alentadores para utilizar las filmaciones y análisis 2D a partir de Kinovea
”

observadas en un análisis biomecánico, se presenta una línea de acción potencial en la intervención terapéutica. Por este motivo, para poder valorar los efectos de nuestras intervenciones como profesionales, es de gran utilidad contar con esta habilidad de realizar mediciones en los cambios de la cinemática de las extremidades inferiores.³²

En lo que respecta al análisis de la carrera, se ha estudiado la confiabilidad intra e inter evaluador del uso de Kinovea para las mediciones de los rangos de movimiento de cadera y rodilla en el momento del contacto inicial. Se encontraron resultados alentadores para utilizar las filmaciones y análisis 2D a partir de Kinovea, aunque considerando las recomendaciones de montaje y ubicaciones de la cámara para que la medición sea confiable.⁶ Esto resulta interesante a los efectos de conocer algunas dinámicas y poder actuar sobre las lesiones que aparecen en la práctica del running, sabiendo que éstas son la principal causa que detiene la participación en esta actividad.

Se ha comprobado la validez y confiabilidad de estas técnicas de medición, sobre todo en el plano sagital. La variabilidad de las mediciones en el plano frontal podría ser mayor, aunque en cualquiera de los dos casos, la experiencia del evaluador no sería un problema para buscar la consistencia de las mediciones en un mismo corredor. En el plano sagital, unos investigadores hicieron las mediciones con una semana de diferencia y mostraron una alta confiabilidad de ICC ≥ 0.75 en todas las mediciones, excepto una.⁷ En la variable de la flexión de rodilla, el SEM promedio para todos los evaluadores fue de 1.36° ,⁷ siendo similar a los valores reportados por un estudio previo.⁶ Cabe destacar que la metodología utilizada por Reinking et al. hizo que los evaluadores seleccionaran el frame (imagen) adecuada del video de carrera para analizar cada medida de rango articular propuesta.⁷

Otros investigadores comprobaron la confiabilidad de las mediciones de rodilla y cadera durante el contacto inicial, intra e inter evaluador y encontraron resultados alentadores para utilizar esta técnica de medición en la práctica clínica. Aunque hasta ese momento no había guías para cuantificar los ángulos articulares y mejorar la confiabilidad en los estudios 2D, la recomendación es evaluar el entorno clínico y la configuración del espacio en general (set-up). A pesar de lo dicho, queda sin saber si los intervalos encontrados en los ángulos medidos ($3-8^\circ$ el mismo día y $9-14^\circ$ entre días) son clínicamente relevantes y si afectan a la cuantificación de los mismos.⁶ Posteriormente, Souza y Roche-Seruendo describieron orientaciones esclarecedoras para estos análisis.^{32,33}

Otros autores determinaron la fiabilidad de 2D para los planos sagital y frontal midiendo la posición del tronco, la caída pélvica, aducción femoral, flexión de rodilla y tobillo en la fase de apoyo medio y la inclinación de la tibia y el pie en el contacto inicial. Además, a través del método de estimación secuencial, estimaron la mínima cantidad de pasos para poder establecer un promedio de los valores calculados (de cada ángulo articular).

lar) y así obtener datos más confiables, concluyendo en la recomendación de 7 pasos.¹²

Cabe destacar la limitación actual de la confiabilidad de test-retest cuando se utiliza un análisis de video 2D filmado en días diferentes (confiabilidad desconocida), en lugar de que el mismo video se califique en días diferentes, dificulta la interpretación de los cambios en los resultados cuando se repite la prueba de un corredor individual. Sin embargo, se comprobó una confiabilidad excelente inter e intraevaluador para detectar las fases de la carrera en el plano sagital en filmación a 120 fps, al ser evaluados los mismos videos en días diferentes.¹²

Aparte de las mediciones de ángulos articulares, se ha utilizado Kinovea para medir los tiempos de contacto y de vuelo durante la carrera en cinta, considerándose como el método *gold standard* (filmación a 1200 fps) para correlacionar con un nuevo instrumento.³⁴

Para la carrera de velocidad o sprint, también es posible utilizar Kinovea para cuantificar los diferentes tramos del sprint total y hacer los cálculos parciales estimando la velocidad. Más aún, también se ha propuesto un modelo biomecánico de dinámica inversa para estimar la fuerza aplicada en el plano sagital durante el sprint.³⁵ Este método fue validado comparativamente con plataformas de fuerza y radar, presentándose como una novedosa herramienta para los profesionales del deporte. Este estudio inspiró la creación de la aplicación My Sprint para analizar la fuerza, potencia, velocidad, efectividad mecánica y determinar el perfil de fuerza-velocidad.¹⁰

Utilidad de Kinovea y deporte

Los profesionales del deporte han utilizado en diversas ocasiones el software Kinovea para el análisis de gestos deportivos. Entre ellos, se incluyen diferentes deportes como ser el ciclismo,³⁶ halterofilia,³⁷ el beach-volley y carrera,¹⁰ artes marciales,³⁸ entre otros.

Calvo et al.³⁶ utilizaron el seguimiento de trayectoria en diferentes segmentos corporales y en distintos planos en ciclismo. En el sagital: rodilla, tobillo, hombro y codos; en el frontal (de frente), rodilla y hombros; en el mismo plano, pero visto de atrás: columna, hombros y caderas. La comparación entre ciclistas amateur y profesionales, además de comparar diferentes tipos de platos (circular tradicional y ovalado), permitió encontrar diferencias a partir de los recorridos en el espacio de cada segmento mencionado. A partir de ello, se consideraban los errores en la trayectoria descrita (X,Y), permitiendo una mejor visualización para los movimientos y la postura. Incluso, además, pudiendo identificar las diferencias técnicas entre un grupo y otro; como así también movimientos que pudieran ser menos efectivos o predisponentes a lesiones.

En la disciplina de levantamiento de pesas, también se ha utilizado Kinovea. El rendimiento depende de la máxima carga levantada en uno o dos movimientos (snatch o clean and jerk). En esta disciplina, además

“
Aparte de las mediciones de ángulos articulares, se ha utilizado Kinovea para medir los tiempos de contacto y de vuelo durante la carrera en cinta.”



Figura 5. Trayectoria del centro de masas (CdM) durante el salto CMJ (imagen propia).

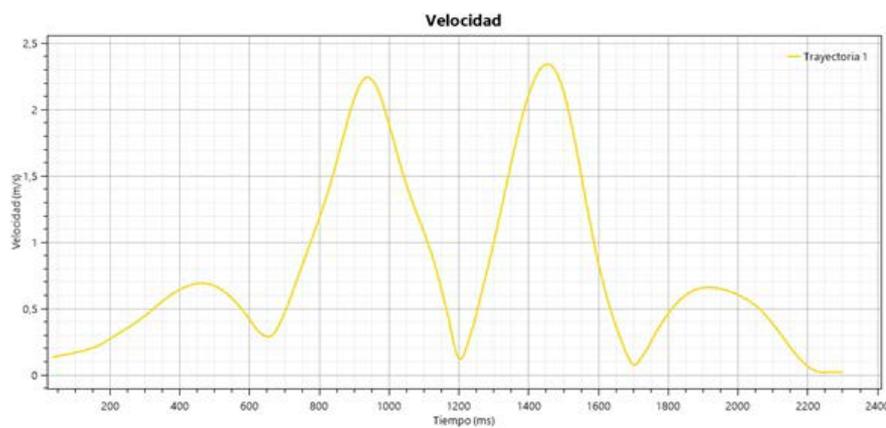


Figura 6. Velocidad del CdM durante el salto CMJ, realizada en Kinovea.

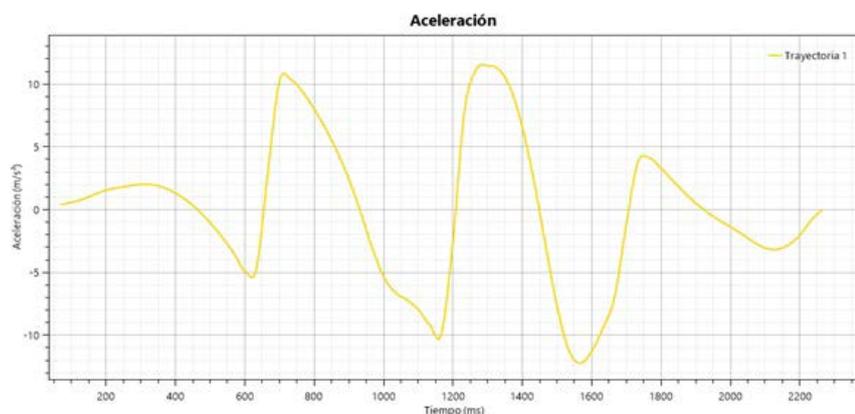


Figura 7. Aceleración del CdM durante el salto CMJ, realizada en Kinovea.

Utilidad de Kinovea en la postura

Se ha utilizado el software Kinovea para el procesamiento de datos en relación al estudio de la postura, utilizando cuatro cámaras comunes, sumado a este software para la digitalización de la imagen y luego cargar los datos en una hoja de Excel, comprobando la precisión y validez de los resultados encontrados al contrastarlo con el 3DMA.⁴¹

La cifosis y la lordosis suelen medirse a través de radiografías, en función de los ángulos Cobb. Se ha sugerido que Kinovea está preparado para realizar mediciones de posturografía, con la capacidad de medir los ángulos de cifosis y lordosis con una gran confiabilidad. Se encontraron ICC=0.90 y 0.81 para la cifosis e ICC=0.91 y 0.87 para la lordosis; intra e inter evaluador, respectivamente. Es de destacar, que su validez depende de las habilidades de los evaluadores y que, según los resultados en-

“
Kinovea permite el cálculo de ángulos, distancias, coordenadas y diferentes parámetros espacio-temporales desde una grabación de video.”

contrados, Kinovea demostró buena repetibilidad pero no demostró una validez aceptable de las mediciones.⁴²

Por último, también se utilizó este software para medir ciertos parámetros de la postura con carga de una mochila, en estudiantes de ambos sexos, de primer grado (7 años, en promedio). En dicho estudio, además de otras herramientas, se utilizaron fotos con una vista lateral para identificar ángulos en relación a la postura de la cabeza y sus modificaciones al cargar una mochila.⁴³

CONCLUSIÓN

El análisis de video se ha convertido en una herramienta al alcance de gran parte de la población, sin necesidad de tener grandes conocimientos en el tema. Kinovea permite el cálculo de ángulos, distancias, coordenadas y diferentes parámetros espacio-temporales desde una grabación de video. Se ha demostrado su confiabilidad con ICC >0.90 en la mayoría de los estudios y validez en el análisis de diferentes movimientos contrastados con distintos dispositivos. Es necesario remarcar que la confiabilidad de las mediciones estará sujeta al operador y al tipo de video utilizado en cuanto a la calidad y la cantidad de imágenes por segundo que puede realizar (fps). Con estas consideraciones y por todas las potencialidades y ventajas mencionadas, podría ser una gran herramienta de evaluación utilizada por el kinesiólogo deportivo.

A partir de lo expuesto en esta revisión, queda claro que se abren numerosas líneas de investigación a partir de los artículos mencionados. Con sus respectivas limitaciones, dejan puerta abierta para seguir indagando sobre esta valiosa herramienta al alcance de todos los profesionales del ejercicio y la salud, no solo en la práctica clínica sino también en la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pueo B. High speed cameras for motion analysis in sports science. 2016 [citado 7 de julio de 2021]; Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/61909>
2. Neumann DA. Fundamentos de rehabilitación física. Cinesiólogía del sistema musculoesquelético. Paidotribo; 2007. 79-88 p.
3. Choppin S, Lane B, Wheat J. The accuracy of the Microsoft Kinect in joint angle measurement. Sports Technol. 2014;7(1-2):98-105.
4. Jiménez-Del-Barrio S, Mingo-Gómez MT, Estébanez-de-Miguel E, Saiz-Cantero E, Del-Salvador-Miguélez AI, Ceballos-Laita L. Adaptations in pelvis, hip and knee kinematics during gait and muscle extensibility in low back pain patients: A cross-sectional study. J Back Musculoskelet Rehabil. 2020;33(1):49-56.
5. Pueo B, Penichet-Tomas A, Jimenez-Olmedo JM. Validity, reliability and usefulness of smartphone and kinovea motion analysis software for direct measurement of vertical jump height. Physiol Behav. 1 de diciembre de 2020;227:113144.
6. 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. abril de 2015;10(2):147-54.
7. Reinking MF, Dugan L, Ripple N, Schleper K, Scholz H, Spadino J, et al. Reliability of two-dimensional video-based running gait analysis. Int J Sports Phys Ther. junio de 2018;13(3):453-61.

8. Schurr SA, Marshall AN, Resch JE, Saliba SA. Two-dimensional video analysis is comparable to 3d motion capture in lower extremity movement assessment. *Int J Sports Phys Ther.* abril de 2017;12(2):163-72.
9. Puig-Diví A, Escalona-Marfil C, Padullés-Riu JM, Busquets A, Padullés-Chando X, Marcos-Ruiz D. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PloS One.* 2019;14(6):e0216448.
10. Buscà Safont-Tria B, Recasens MQ, Rius JMP. High speed cameras in sport and exercise. Practical applications in sports training and performance analysis. *Aloma Rev Psicol Ciènc Educ Esport.* 14 de noviembre de 2016;34(2):13-23.
11. 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.* febrero de 2014;28(2):528-33.
12. Dingenen B, Barton C, Janssen T, Benoit A, Malliaras P. Test-retest reliability of two-dimensional video analysis during running. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* septiembre de 2018;33:40-7.
13. Grigg J, Haakonssen E, Rathbone E, Orr R, Keogh J. The validity and intra-tester reliability of markerless motion capture to analyse kinematics of the BMX Supercross gate start. *Sports Biomech.* septiembre de 2018;17(3):383-401.
14. Kinovea [Internet]. [citado 21 de julio de 2021]. Disponible en: <https://kinovea.org/>
15. Adnan NMN, Patar MNAA, Lee H, Yamamoto S-I, Jong-Young L, Mahmud J. Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* abril de 2018;342:012097.
16. Fernández-González P, Koutsou A, Cuesta-Gómez A, Carratalá-Tejada M, Miangolarra-Page JC, Molina-Rueda F. Reliability of Kinovea® Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects. *Sensors.* 2 de junio de 2020;20(11):3154.
17. Littrell E. Development and Assessment of a Low-Cost Clinical Gait Analysis System. *J Appl Biomech.* 2018;19.
18. ElRahim RMA, Embaby EA, Ali MF, Kamel RM. Inter-rater and intra-rater reliability of Kinovea software for measurement of shoulder range of motion. *Bull Fac Phys Ther.* 1 de diciembre de 2016;21(2):80-7.
19. El-Raheem RMA, Kamel R, Ali MF. Reliability of Using Kinovea Program in Measuring Dominant Wrist Joint Range of Motion. *Trends Appl Sci Res.* 2015;10(4):224-30.
20. Moral-Muñoz JA, Esteban-Moreno B, Arroyo-Morales M, Cobo MJ, Herrera-Viedma E. Agreement Between Face-to-Face and Free Software Video Analysis for Assessing Hamstring Flexibility in Adolescents. *J Strength Cond Res.* septiembre de 2015;29(9):2661-5.
21. Guzmán-Valdivia CH, Blanco-Ortega A, Oliver-Salazar MA, Carrera-Escobedo JL. Therapeutic Motion Analysis of Lower Limbs Using Kinovea. 2013;3(2):7.
22. Elwardany SH, Eleiny KEA, Hospitals CU, Cairo, Department EHE-SS, Therapy F of P, et al. Reliability of Kinovea Computer Program in Measuring Cervical Range of Motion in Sagittal Plane. *Open Access Libr J.* 2015;02(09):1.
23. Abbas SJ, Abdulhassan ZM. Kinematic Analysis of Human Climbing up and Down Stairs at Different Inclinations. *undefined.* 2013;
24. Silva FM da, Canêz DB, Madeira AR, Ferreira GD. Dynamic Knee Alignment and Pelvic Balance: Comparison Regarding Gender in Young Soccer Athletes. *Rev Bras Ortop.* abril de 2021;56(2):175-80.
25. Schaun GZ, Ribeiro YS, Vaz MS, Vecchio FBD. Correlation between Agility, Lower Limb Power and Performance in a Sport-Specific Test in Female Volleyball Players. *Int J Sports Sci.* 2013;3(5):141-6.
26. Moir G. Three Different Methods of Calculating Vertical Jump Height from Force Platform Data in Men and Women. *Meas Phys Educ Exerc Sci.* 1 de octubre de 2008;12:207-18.
27. Lee Y, Min KE, Park J. Correlation and Reliability of Two Field Tests for Vertical Jump Height. *Asian J Kinesiol.* 31 de enero de 2020;22(1):9-14.
28. Pérez-Castilla A, Piepoli A, Delgado-García G, Garrido-Blanca G, García-Ramos A. Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *J Strength Cond Res.* mayo de 2019;33(5):1258-65.

29. Jimenez-Olmedo J, Penichet-Tomás A, Villalon L, Pueo B. Validity and reliability of smartphone high-speed camera and Kinovea for velocity-based training measurement. *J Hum Sport Exerc.* 1 de enero de 2020;16.
30. Sánchez-Pay A, Courel-Ibáñez J, Martínez-Cava A, Conesa-Ros E, Morán-Navarro R, Pallarés JG. Is the high-speed camera-based method a plausible option for bar velocity assessment during resistance training? *Measurement.* 1 de abril de 2019;137:355-61.
31. Zult T, Allsop J, Tabernero J, Pardhan S. A low-cost 2-D video system can accurately and reliably assess adaptive gait kinematics in healthy and low vision subjects. *Sci Rep.* 5 de diciembre de 2019;9(1):18385.
32. Souza RB. An Evidence-Based Videotaped Running Biomechanics Analysis. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 1 de febrero de 2016;27(1):217-36.
33. Roche-Seruendo LER. Enfoque metodológico para el análisis 2d de vídeo en la carrera. *Rev Int Deport Colect.* 2017;(30):69-92.
34. Ogueta-Alday A, Morante JC, Rodríguez-Marroyo JA, García-López J. Validation of a new method to measure contact and flight times during treadmill running. *J Strength Cond Res.* mayo de 2013;27(5):1455-62.
35. Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports.* 1 de junio de 2016;26(6):648-58.
36. Calvo JA, Álvarez-Caldas C, San Román JL, Gutiérrez-Moizant R. New Procedure for the Kinematic and Power Analysis of Cyclists in Indoor Training. *Sensors.* enero de 2020;20(21):6135.
37. Vidal Pérez D, Martínez-Sanz JM, Ferriz-Valero A, Gómez-Vicente V, Ausó E. Relationship of Limb Lengths and Body Composition to Lifting in Weightlifting. *Int J Environ Res Public Health.* enero de 2021;18(2):756.
38. Ishac K, Eager D. Evaluating Martial Arts Punching Kinematics Using a Vision and Inertial Sensing System. *Sensors.* 10 de marzo de 2021;21(6):1948.
39. Souissi MA, Elghoul Y, Souissi H, Masmoudi L, Ammar A, Chtourou H, et al. The Effects of Three Correction Strategies of Errors on the Snatch Technique in 10–12-Year-Old Children: A Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res [Internet].* 13 de julio de 2021 [citado 19 de julio de 2021]; Disponible en: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/9000/The_Effects_of_Three_Correction_Strategies_of.94318.aspx
40. Souissi MA, Ammar A, Trabelsi O, Glenn JM, Boukhris O, Trabelsi K, et al. Distance Motor Learning during the COVID-19 Induced Confinement: Video Feedback with a Pedagogical Activity Improves the Snatch Technique in Young Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 16 de marzo de 2021;18(6):3069.
41. Delgado-García G, Vanrenterghem J, Mildenberger C, Gallego LR, Chicano-Gutiérrez JM, Manuel Soto-Hermoso V. Accuracy and reliability of a low-cost methodology to assess 3D body posture based on commercial cameras and Excel templates. *Measurement.* 1 de marzo de 2021;173:108638.
42. Sharifnezhad A, Raissi GR, Forogh B, Soleymanzadeh H, Mohammadpour S, Daliran M, et al. The Validity and Reliability of Kinovea Software in Measuring Thoracic Kyphosis and Lumbar Lordosis. *Iran Rehabil J.* 1 de junio de 2021;19(2):129-36.
43. Jurak I, Rađenović O, Bolčević F, Bartolac A, Medved V. The Influence of the Schoolbag on Standing Posture of First-Year Elementary School Students. *Int J Environ Res Public Health.* octubre de 2019;16(20):3946.