



UNIVERSIDAD ABIERTA INTERAMERICANA
FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD
LIC. EN KINESIOLOGIA Y FISIATRIA

ANÁLISIS DE LA MARCHA
A TRAVÉS DE APLICACIONES DE CELULARES INTELIGENTES

Tesista: NICOLÁS ZAPPELLI
Tutor: FERNANDO TELLECHEA
BUENOS AIRES, ARGENTINA
AÑO: 2021

Agradecimientos

En especial para Julia, Marisa y Luis quienes con su paciencia y confianza en mí ayudaron a hacer de este trabajo un aprendizaje único.

A mi tutor de tesis, Licenciado Fernando Tellechea, por estar siempre disponible para mis consultas y guiarme en esta difícil tarea.

A mis compañeros de cursada y profesores quienes fueron fuente de inspiración.

A todos ellos infinitas gracias.

ÍNDICE

1. Resumen.....	4	pág.
2. Palabras claves.....	4	pág.
3. Introducción.....	5	pág.
4. Problema. Hipótesis. Objetivo general. Objetivos específicos.....	7	pág.
5. Justificación.....	8	pág.
6. Marco teórico.....	10	pág.
6.1. Historia.....	10	pág.
6.2. Definición de la marcha.....	12	pág.
6.3. Contextualización.....	13	pág.
6.4 Bases teóricas.....	18	pág.
7. Diseño metodológico.....	19	pág.
7.1 Tipo de estudio.....	19	pág.
7.2 Estrategia de búsqueda.....	19	pág.
7.3 Criterios de inclusión y exclusión.....		pág.
7.4 Resultados de la búsqueda.....	20	pág.
7.5 Muestra.....	20	pág.
8. Resultados.....	21	pág.
9. Análisis estadísticos de las distintas apps.....	28	pág.
10. Conclusión.....	34	pág.
11. Bibliografía.....	35	pág.

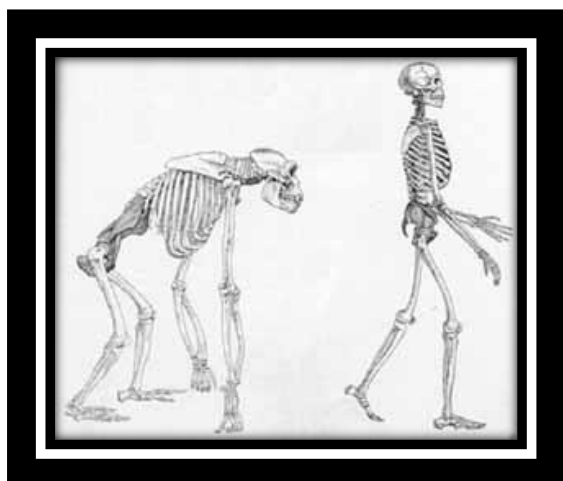
1. RESUMEN

El presente trabajo de revisión listó distintas aplicaciones de celulares inteligentes que pudieran ser utilizadas para analizar la marcha. La motivación de esta búsqueda se debió al interés de reducir el margen de subjetividad del observador sobre el objeto analizado. Pero a la vez buscando una tecnología que no implique un gran costo ni profesionales altamente especializados. Por lo que las aplicaciones de celulares inteligentes se presentaron como algo popular entre los kinesiólogos y como herramientas de fácil uso. Se indagó sobre distintas investigaciones que utilicen aplicaciones para el análisis de la marcha. Como también en las plataformas de AppStore y PlayStore. Los resultados de la búsqueda arrojaron tres aplicaciones que serían de utilidad para cualquier kinesiólogo que desee realizar un análisis de la marcha eficaz sin grandes costos y con la certeza de que estas herramientas tienen aval científico.

2. PALABRAS CLAVES

- Marcha
- Análisis
- Rehabilitación
- App(aplicaciones)
- Celulares

3. INTRODUCCIÓN



La marcha bípeda es la forma de los *homo sapiens* de desplazarse en el espacio. Esta acción definida es la distinción fundamental entre nosotros y nuestros parientes más próximos el chimpancé y el gorila. Andar erguidos y usar nuestras extremidades inferiores para sostenernos y desplazarnos nos permitió liberar las extremidades superiores para

otras funciones. Los humanos somos entonces simios bípedos. Esta idea es la opinión del destacadísimo paleoantropólogo Richard Leakey (1). Esta adaptación tiene aproximadamente 4 millones de años, pero en términos evolutivos es reciente.

Si la marcha que realizamos no es eficiente, consumiremos más energía de lo necesario y reduciremos nuestra capacidad de desplazamiento con lo cual quedaremos expuestos a lesiones, caídas y dolores. Y si por alguna razón, edad, patología o enfermedad congénita se comienzan a perder capacidades biomecánicas el cuerpo realizará compensaciones que pueden ser funcionales pero contraproducentes.

Podemos decir que tener problemas en la marcha causará reducción de la movilidad articular y pérdida de masa muscular generando un círculo vicioso donde la inmovilidad y los dolores se retroalimentaran negativamente.

Por otro lado, se ha demostrado que caminar tiene una acción beneficiosa tanto para el sistema cardiovascular como para el sistema nervioso y musculoesquelético. Dejar de hacerlo tendrá consecuencias sobre la manera en la que envejecemos y también sobre nuestro estado de salud en general.

Desde las actividades de la vida diaria dentro del hogar hasta practicar un deporte de alto rendimiento la marcha es la esencia de nuestro desplazamiento y al ser una actividad tan importante para vida y la salud su análisis adquiere un valor fundamental.

La marcha se puede ver afectada de múltiples maneras y nuestra terapia debe cambiar según las características de cada paciente.

¿Es posible realizar este análisis en la clínica diaria de una manera fácil, simple y fiable?

¿Es necesario reducir los márgenes de subjetividad del profesional que realiza la observación de la marcha?

¿Qué herramientas tecnológicas podrían ayudarnos para reducir esta subjetividad?

De entre la multitud de los avances tecnológicos desarrollados en las últimas décadas centraremos nuestra pesquisa en las aplicaciones desarrolladas para celulares inteligentes:

¿Puede un celular ser el soporte tecnológico del análisis de la marcha?

¿Existen aplicaciones eficientes para este análisis?

¿Qué parámetros permiten relevar las aplicaciones?

¿Puede un celular y una aplicación ser suficiente para generar un diagnóstico?

¿Sirve para monitorear el proceso de rehabilitación?

Me propongo hacer en este trabajo una revisión de las aplicaciones disponibles para celular que colaboren en el diagnóstico de la marcha de un paciente. Con el objetivo de listar aquellas que puedan ser relevantes para la práctica profesional. Para esto centraré la búsqueda en la base de datos de la Biblioteca Internacional de Medicina Americana así como en la base de datos de la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo por ser ambas fuentes actualizadas y de carácter global. También indagaremos en las plataformas de venta de aplicaciones móviles App Store(iOS) y PlayStore (Android) por ser las disponibles en nuestro país.

4. PROBLEMA

En la actualidad para generar el análisis de la marcha en un paciente se utiliza la observación directa o se indica la evaluación en un laboratorio donde se utilizan instrumentos de medición sofisticados y específicos. Si utilizamos la observación directa el análisis queda a expensas de la subjetividad del profesional que observa al paciente y si utilizamos la opción del laboratorio tal vez no sea accesible a nuestros pacientes o creamos un costo mayor. ¿Es posible realizar ese análisis a través de las aplicaciones de celulares inteligentes? ¿Tienen estudios científicos que las avalen? ¿Cuáles son? ¿Son las aplicaciones de celulares inteligentes un método fiable y práctico para el análisis de la marcha? ¿Son gratuitas las aplicaciones o son pagas?

HIPÓTESIS

Las aplicaciones de celulares inteligentes son una herramienta útil y accesible para contribuir a un análisis profesional de la marcha en nuestros pacientes.

OBJETIVO GENERAL

- Seleccionar aplicaciones para celulares inteligentes que sean eficientes y estén avaladas para analizar la marcha humana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisar aplicaciones de celulares inteligentes que analicen la marcha
- Listar las aplicaciones encontradas.
- Agrupar en categorías las aplicaciones según los parámetros que puedan relevar.
- Seleccionar las aplicaciones según aval científico y disponibilidad.

5. JUSTIFICACIÓN

El análisis de la marcha es una herramienta de evaluación necesaria para monitorear, diagnosticar, estudiar y motivar a los pacientes. Cuanto más preciso y efectivo sea más adecuadas serán las terapias a indicar.

Los avances en la tecnología han permitido un surgimiento de métodos muy efectivos a la hora de analizar la marcha. Por ejemplo, sistemas de cámaras optométrico con marcadores cutáneos asociados a plataformas de presión plantar y monitoreado por EMG. (2)

Sin embargo, estas herramientas exigen un espacio, un costo elevado y su especificidad es exclusiva para el análisis de la marcha. Por ende, para justificar esta inversión sería necesario una cantidad de pacientes muy elevada para un kinesiólogo que habita en una pequeña ciudad. Aproximadamente 18 millones de personas viven en centros urbanos del país que tienen una población menor a 100.000 habitantes (3). Asimismo, aquel licenciado que vive en una gran urbe probablemente no cuente con una cantidad de pacientes como para justificar esa tecnología tan particular específica y costosa.

Por otro lado, hacer un estudio con la tecnología disponible, como su celular, permitiría que el kinesiólogo proveyera a los pacientes un diagnóstico rápido sin necesidad de esperar turnos en centros especializados, postergar tratamientos y evitando un costo extra.

Estudiar la marcha es un factor clave para identificar alguna mecánica que no esté dentro de lo fisiológico. En pacientes con parálisis cerebral se utilizan para identificar distintas asimetrías e intervenir, en lo posible, en la marcha de estas personas. En individuos con Parkinson se utiliza para monitorearlos buscando la prevención de lesiones y caídas. En terapia de adultos mayores se centra en recolectar datos espacio-temporales tales como: frecuencia de la marcha, velocidad, longitud de zancada, cadencia y realizar un estudio de evaluación integral para establecer la probabilidad de caída de un geronte y trabajar en su prevención.

Las aplicaciones de celulares inteligentes representan una alternativa a la hora de analizar la marcha. Sin embargo, poco se sabe de esta posibilidad. Su eficacia,

su coste, los parámetros que miden, quienes las avalan son incógnitas que trataremos de despejar en este estudio para así, generar información útil.

6. MARCO TEÓRICO

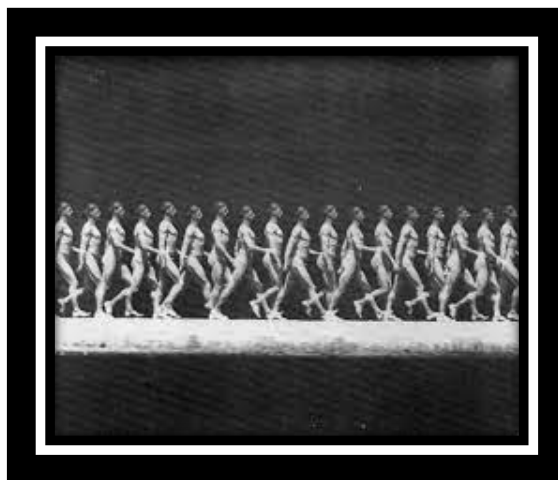
6.1 HISTORIA

El estudio de la marcha se puede remontar a la época de Aristóteles quien basaba su análisis en la observación directa en tiempo real. Tendremos que esperar a la revolución científica e industrial europea para que se desarrollen dispositivos que nos permitan medir parámetros objetivos.

Para obtener dichos datos se crearán dispositivos que mediarán entre el observador y el sujeto observado.

Así, los hermanos Weber (4) analizaron, midieron y describieron con un reloj, una cinta métrica y un telescopio la variación de la cadencia y longitud de paso según la velocidad de caminata. Todo esto basado en la observación directa ya que deberemos esperar unos años más para el desarrollo de las tecnologías de imágenes estáticas y dinámicas (fotos y videos).

El primero en analizar la marcha a través de captura de imágenes fue el médico y filósofo francés Etienne Jules Marey, quien a finales del siglo XIX desarrolla la técnica de cronografía. Con esto logra registrar sobre papel la marcha de un sujeto pudiendo descomponer la acción en tiempo y espacio. Estos estudios fueron realizado a través de un “fusil fotográfico”, un prototipo de cámara que él mismo diseñara.



(hombre desnudo caminando 1885)

Posteriormente en 1929 Adrian y Bronk (5) introdujeron la electromiografía convencional con lo cual se logró registrar la actividad eléctrica muscular y fue recién en 1947 con las investigaciones de Vern Inman, que la electromiografía se empieza a combinar con el análisis videográfico.

Todo esto significó un cambio importante ya que permitió determinar la relación entre el ciclo de la marcha y la actividad muscular. Por ejemplo, cómo la contracción excéntrica inicial de los flexores plantares frenan la rotación anterior de la tibia sobre el astrágalo, facilitando la traslación del vector del peso corporal hacia delante de la rodilla, contribuyendo a la estabilidad de esta. (6)

Para 1967 en Holanda, surgieron los primeros estudios que combinaban reflectores cutáneos pasivos con sistemas de captura de movimiento a través cámaras de televisión que captaban con precisión datos cinemáticos. Apareciendo así el primer sistema de conversión de movimiento digital 2D desde un análisis videográfico. A partir de entonces las investigaciones se dirigen a desarrollar un sistema de análisis de movimiento pero en 3D.

Aunque hay varias dudas de quien fue el primero en lograrlo ya para 1980 en EE.UU aparecieron los primeros softwares fotográficos 3D (7) (8) y así entramos en la era de las tecnologías digitales.

Estos avances fueron propulsados principalmente por la rama de la ortopedia. Diciplina que cambio los análisis de movimiento subjetivos realizados por los terapeutas por algo más objetivo y fiable. Para así lograr un equipamiento más adecuado y poder monitorear la evolución del paciente.

En junio de 2007 llega al mercado de celulares el primer teléfono inteligente. El iPhone. Este representa un nuevo escalón en el desarrollo de la tecnología. Estos dispositivos se fueron complejizando permitiendo la inclusión de cámaras, acelerómetros, GPS, giroscopio, magnetómetros junto a un sinnúmero de nuevas tecnologías.

El siguiente avance fue en 2008 con la llegada de la App Store de iPhone que además de popularizar el término "*app*" marco un nuevo camino en el desarrollo de softwares para telefonía móvil. Las apps o aplicaciones son softwares informáticos que permiten al usuario desarrollar tareas varias. Estos softwares tienen funciones

específicas y delimitadas según su finalidad. La mayoría de estas aplicaciones están desarrollada para algún sistema operativo específico como por ejemplo Android, iOS, BlackBerry OS, Windows Phone etc.

6.2. DEFINICIÓN DE MARCHA

Según el Dr. Pedro Vera Luna la marcha es "una serie de movimiento alternantes, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia adelante del centro de gravedad". (9)

En la marcha normal los brazos acompañan el movimiento del cuerpo en un balanceo en diagonal constante que permite reducir el coste energético de la marcha al generar una sinergia con las piernas.

La pelvis oscila en dos planos diferentes según (10) durante la marcha. En el plano horizontal las oscilaciones serán laterales mientras que en el plano sagital las oscilaciones serán verticales. Pero estas no describirían el movimiento de la cadera en concreto sin sumar otros dos movimientos. Esta rota sobre un eje anteroposterior generando un balanceo que se puede apreciar por el movimiento de las dos fositas sacras y además sufre una rotación sobre el eje vertical.

Durante la marcha fisiológica siempre hay un miembro apoyado sobre el suelo mientras que el otro avanza en el aire, cuando el que está en el aire hace contacto con la superficie el otro empieza a despegarse para así avanzar.

Con fines didácticos se divide la marcha en dos fases: fase de apoyo y fase de balanceo. Durante este mecanismo suceden dos tipos de apoyos: el unipodal, cuando un solo miembro está apoyado y el bimodal cuando ambos miembros se encuentran en contacto con el suelo.

Por otro lado, el centro de gravedad se corre sobre el eje de la extremidad apoyada para permitir el avance del otro miembro.

6.3 CONTEXTUALIZACIÓN

Resulta útil analizar como los kinesiólogos realizan la observación directa de la marcha en sus pacientes ¿Qué es la observación directa? ¿Cómo se lleva adelante esta práctica? ¿Qué carga de subjetividad hay en este análisis? ¿Cuánto respaldo científico tiene en la actualidad?

Este método genera debate entre los distintos estudiosos.

En su libro "Whittle's Gait Analysis" David Levine expresa que la observación visual del paciente mientras camina es la forma más versátil y a la vez más compleja de realizar este estudio (11). Describe el método como una herramienta muy importante y recalca que en el contexto clínico se utiliza en gran medida sin ningún equipamiento e incluso sin video 2D.

Argumenta ciertas limitaciones de esta observación destacando cuatro puntos:

1. El método es de carácter transitorio por ende no genera un registro.
2. El ojo del observador es incapaz de apreciar movimientos en velocidades altas.
3. Es imposible observar las distintas fuerzas expresadas por el movimiento.
4. Los resultados dependen exclusivamente de la habilidad del observador.

Concluye que los profesionales del área deberían ser educados sobre el tema, entrenados para una gran agudeza visual y adquirir experiencia para que esta habilidad pueda ser fiable. Para este autor la subjetividad de este análisis es plena.

Por otro lado, el Fisioterapeuta y Profesor Chris Whatman de la Universidad de Auckland en 2012 realizó un estudio sobre las diferencias de la observación directa entre kinesiólogos con distintas experiencias. Sobre un grupo de cuarenta y cuatro kinesiólogos los categorizó en inexpertos, novatos y experimentados estos analizaron 6 videos en plano sagital y frontal. Concluyendo que los resultados tenían una alta correlación entre ellos y que los más experimentados tenían mejores resultados. Sin embargo, el estudio no fue realizado a simple vista, sino que los

terapeutas observaban el video y utilizaban diferentes escalas de movimiento. Este método ya no es estrictamente observación directa por que el ojo del observador esta mediatizado por una cámara y una pantalla lo que permite la reiteración en distintas velocidades y el registro para posteriores evaluaciones. (12)

El Prof Whatman en 2013 insiste sobre la idea que la valoración visual de los kinesiólogos es una herramienta válida para identificar distintas desalineaciones de pelvis y de rodilla en el plano frontal. El concepto del autor de observación directa incluye siempre video 2D y un procedimiento de observación basado en escalas de movimiento. (13)

En 2015 Dr Liam Maclachlan de la Universidad de Queensland de Australia se propuso una búsqueda de estudios que realizaran métodos de análisis a través de observación directa en tiempo real o con video contra sistemas de análisis de movimiento 3D. El relevamiento arrojó 6 estudios todos ellos realizados a través de observación directa sobre video 2D. Finalmente, concluye que el análisis 2D tiene niveles de correlación altos comparados con los sistemas de avanzada, pero no así el análisis directo en tiempo real el cual no arrojó ningún hallazgo. (14)

Evidentemente la observación directa en tiempo real carece de bibliografía reciente que la respalde.

Otra autora, la Dra Jenny Nae de Suecia en 2017 analiza la capacidad de evaluación visual de los terapeutas en pacientes con o sin desordenes musculoesquelético. Sus resultados informan que la evaluación fue fiable solo en pacientes sin desórdenes mientras que en los pacientes con desordenes la fiabilidad debe ser aún demostrada. Esta autora centra la observación en una guía numérica que estandariza los datos a registrar. (15)

Esta autora coincide en que el análisis a través de observación directa sin ningún tipo de instrumental no está avalado en los estudios recientes.

Por otro lado, se realizó una búsqueda sobre si el análisis de la marcha a través de videografía 2D cuenta con aval científico.

En 2016 el Dr Souza de la Universidad de California, San Francisco buscando validar la utilización de sistemas de análisis de movimiento en 2D y diseña un plan sistemático de análisis con herramientas de poco costo. Detalla por ejemplo a que

velocidad debería ir la de cinta de correr, la frecuencia de muestreo óptima de las cámaras, los planos que deberían filmarse, donde colocar los marcadores cutáneos, tiempos para la entrada en calor, como diferenciar distintas fases del ciclo de la marcha y como reconocer el ángulo de la tibia con calcáneo y su respuesta a la carga, etc. (16)

A través de este protocolo procedimental el Dr Souza afirma que es confiable el análisis a través de video 2D siempre y cuando se siga un procedimiento establecido que permita recoger datos en forma sistemática.

En 2018 un estudio realizado por el Lic. López especialista en fisioterapia de la universidad de Sydney, Australia, pesquisa que evidencias científicas fundamentan la fiabilidad de los métodos 2D de análisis de la marcha cinemático en tareas simples sobre plano sagital contra sistemas establecidos de tecnología 3D. (17)

Los resultados obtenidos demuestran que los métodos 2D pierden fiabilidad cuando se exige precisión en el análisis.

Podemos observar que para este Licenciado a mayor complejidad tecnológica los resultados son más precisos.

Pasaremos ahora a relevar artículos científicos en el motor de búsqueda Pubmed. Se destacarán algunos de ellos que nos brindan una perspectiva fundada del uso de celulares inteligentes para medir la marcha o el movimiento humano. Son varias las investigaciones realizadas.

Distintas son las poblaciones analizadas y los parámetros relevados.

Los autores confirman que el uso de celulares es válido para el análisis de la marcha.

Ya 2015 un estudio realizado por Robert Ellis de la Universidad de Singapur afirma que esta variante, el uso de los celulares y sus aplicaciones, es un método alternativo a los convencionales sobre todo cuando estos últimos no son posibles de aplicar por las razones argumentadas anteriormente, falta de espacio, poco presupuesto, escasa cantidad de pacientes, etc. (18)

La fisioterapeuta Monica Finkbiner de la Universidad de Detroit propone en 2017 un protocolo de medición cinemática con videografía a través de smartphome.

Donde especifica ciertos parámetros que en el análisis del plano sagital en 2D se deberían seguir. (19)

Bajo este protocolo, que no detallaremos, afirma que el uso de celulares inteligentes es fiable para medir parámetros cinemáticos. Observándose un error promedio de entre 2-6° el cual sería clínicamente aceptable en la práctica diaria.

Asimismo, un estudio realizado para la revista científica "Gait and Posture" por P. Silsupadol et al. de Tailandia apoya la idea de que estos dispositivos son útiles para medir parámetros espaciotemporales en un ambiente natural.

Releva datos como distancia de paso, tiempo de paso, velocidad de marcha y cadencia de la misma. Además, concluye que la ubicación del sensor(celular) no genera cambios en las mediciones, pero recomienda 3 ubicaciones específicas: pegados al cuerpo, en cinturón o en mochila. (20)

Otros investigadores como VanWye y Hoover pusieron a prueba estos métodos comparándolos con sistemas de análisis ya validados.

En 2018 se testeó la fiabilidad de un análisis de marcha realizado a través de filmaciones 2d de un iPhone aplicando la app Speed up TV para poder luego procesar esos videos.

Concluyo que esta alternativa constituye una opción útil para sustituir el análisis visual de los terapeutas, además afirma que para aquellos clínicos con poca experiencia pueden verse beneficiados del uso de esta herramienta. (21)

El Dr Ishikawa de Japon en 2019 utiliza el celular para monitorear el TUG (timed-up-and-go test) y afirma que es una herramienta válida para establecer la habilidad de la marcha de pacientes ancianos o en personas con desordenes motrices como por ejemplo los derivados del Parkinson.

Este test consiste en tomar el tiempo para realizar determinadas actividades de la vida diaria.

En 2019 para mejorar la evaluación de este test fue propuesta la app "Senior Quality". La app tuvo buena respuesta y se desarrolló otra de mejor calidad llamada "Hacaro iTUG". Que permite analizar eficazmente los tiempos del test independientemente de su ubicación en el paciente. (22)

Por otro lado, la validez de los celulares inteligentes fue puesta a prueba por sistemas de sensores inerciales por Howell quien evaluó la marcha en pacientes que sufrieran conmoción cerebral. Argumentando que los desórdenes de la marcha son un claro signo de daño en el sistema nervioso. Así, confirma que el dispositivo es capaz de medir parámetros espaciotemporales con la misma eficacia que los sistemas de más alto estándar. (23)

Recientemente otros colegas en el año 2020 pusieron a prueba un método combinado entre celulares inteligentes y softwares para computadoras (KINOVEA) comparados con sistemas de análisis de laboratorios.

El método testeado logro analizar un salto y sus parámetros derivados con suficiente exactitud como para que sus desviaciones no sean clínicamente considerables frente a lo observado por el método de análisis de laboratorio. (24)

En ese mismo año se testeo la app móvil (My Proprioception) para medir rango de movilidad articular y propiocepción de la rodilla y tobillo en un movimiento de flexión y extensión de ambas articulaciones. El autor afirma que la app es capaz de monitorear eficazmente el ROM de ambas articulaciones. Sin embargo, refiriéndose específicamente a la propiocepción del tobillo la capacidad de la app pierde sustentabilidad ya que los datos obtenidos no fueron precisos. (25)

Un estudio cinemático en plano sagital 2d dirigido por Pueo fue realizado a través de la app "coach eye's". Esta app esta permite analizar cuadro por cuadro (60Hz) posibilitando aplicar mediciones de ángulos y puntos clave.

Comparado contra otro método optométrico la app logro una precisión alta, la diferencia entre métodos fue apenas de 1 a 2 grados. Esta diferencia se debe a una menor capacidad de registro cuadro por cuadro de la app y no permite tener la exactitud que tienen el método estándar. (26)

Mas allá de que hay aceptación en la utilización de celulares inteligentes para el análisis de la marcha la Dr. Anika Steinert en su artículo de investigación (27) opina que aunque esta tecnología sea barata, móvil, y accesible no logra detectar parámetros relevantes con la misma exactitud que los métodos de laboratorio.

En conclusión, en la comunidad científica se observa una aceptación no unánime de la utilidad y fiabilidad de los celulares para el análisis de la marcha.

Aunque si es mayoritaria.

La mayoría de los estudios realizados comprueban la eficacia del celular como sensor inercial. No obstante, el análisis cinemático no está abalado unánimemente. La ubicación del dispositivo para medir parámetros espaciotemporales no induce a errores significativos, sin embargo, la mayoría de los investigadores establecen la tercera vértebra lumbar como el mejor punto para medir fundándose en que es el punto más cercano al centro de gravedad durante la marcha.

Todos los autores coinciden en la necesidad de preservar una marcha estable y saludable. Esta genera beneficios protectivos para la salud desde un punto de vista holístico.

La marcha ayuda a la salud cerebral, al control del sobrepeso, prevención de enfermedades, cuidado de sistema musculoesquelético y cardiovascular y ayuda a un mejor estado emocional.

6.4 BASES TEÓRICAS

Desde mi punto de vista, reducir los márgenes de subjetividad en el análisis de la marcha puede redundar en un mejor diagnóstico ¿existen tecnologías accesibles que nos permitan ser más objetivos en este análisis?

La observación directa tiene una excesiva carga de subjetividad, apoyo esta mirada en los trabajos del David Levine fisioterapeuta de la facultad de Tennessee que cuestiona la observación directa en tiempo real para el análisis de la marcha.

Buscar tecnologías económicas, accesibles y eficientes puede redundar en un avance en nuestras capacidades de diagnóstico y monitoreo.

Los celulares son herramientas tecnológicas que están disponibles. Estos están provistos de cámaras, pantalla, conectividad, aplicaciones móviles, acelerómetros, giroscopios, softwares y GPS. Son pequeñas computadoras.

Estas tecnologías están ya validadas científicamente

Desde estas perspectivas orientare mi pesquisa.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1 TIPO DE ESTUDIO

Se realizó una búsqueda de artículos científicos sobre el análisis de la marcha en humanos a través de aplicaciones móviles para celulares inteligentes en la biblioteca internacional y digital PubMed. No se delimitó temporalmente la búsqueda, aunque por lo reciente de la tecnología de los teléfonos inteligentes y más aún de las aplicaciones para estos, la información se empieza a generar a partir del año 2012. Asimismo, se indagó en las plataformas de ventas de aplicaciones móviles para celulares conocidas como AppStore y Play Store.

7.2 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La búsqueda de información se realizó a través de dos fuentes. Por un lado, en la biblioteca internacional Medline empleando los siguientes términos en lengua inglesa: Gait analysis; gait; smarthphone; smarth phone; application; mobile application; app; smarthphone app; assessment; cellular phone; gait assessment; gait measurement y mobile health. Por otro lado, en las plataformas de ventas de aplicaciones para celulares inteligentes, la búsqueda se realizó con los siguientes términos, también en lengua inglesa: Gait; gait analysis; fall; analisis de la marcha; marcha y gait assessment.

7.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Los criterios de inclusión fueron todos los artículos de investigación que desarrollan estudios de análisis de la marcha, sobre sujetos sanos y no sanos a través de app móviles. Los criterios de exclusión fueron todos los artículos que se enfocaban en la detección de personas para el ámbito de seguridad, artículos relacionados a salud en general y estudios sobre animales.

En tanto a las aplicaciones detectadas en las plataformas fueron incluidas aquellas que pudieran considerarse útiles para medir la marcha o algún aspecto específico de ella. Fueron descartadas aplicaciones dedicadas al análisis de la corrida o apps dedicadas a deportes específicos.

7.4 RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA

De la búsqueda de artículos académicos encontrados, se han revisado sesenta y tres. Tras la lectura del título y del resumen de cada uno, cuarenta y ocho artículos fueron descartados. El criterio para determinar su exclusión fue el de carecer de contenido relevante a los fines kinesiológicos de la presente investigación.

Por el contrario, de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión anteriormente explicitados, se han seleccionado quince artículos para el trabajo. Asimismo, han sido relevadas 9 app de las distintas plataformas de ventas de app móviles para celulares inteligentes.

7.5 MUESTRA

La muestra final quedó conformada por veinticuatro aplicaciones móviles.

8. RESULTADOS

Listado de app móviles encontradas:

- Gait Analyzer
- GaitAnalysisPro
- Eye Coach
- Sensor Data
- Gait Track
- Speed up tv
- Apecs
- Floodlight
- PnO Data Solutions
- POCKET GAIT
- iHandy Level
- Balance Gait Test
- Senior Quality
- HACARO-iTUG
- Fall Register
- EncephaLog
- PAGAS
- Hopkins Pd
- Sportus-Analisis Profesional
- WL Analysis
- Loasol
- Smart MOVE
- SMART GAIT
- Gait-Record

AVAL CIENTIFICO	NOMBRE DE LA APP	DISPONIBLE EN EL MERCADO	SISTEMA OPERATIVO	FUNCION	COSTO
Unicompartm ental knee arthroplasty results in a better gait pattern than total knee arthroplasty: Gait analysis with a smartphone application	Gait Analyzer	SI	ANDROID Y IOS	Datos espacio-temporales	5 USD
No se hallaron trabajos de respaldo	GaitAnalysisPro	SI	IOS	Datos espacio-temporales	14 USD
Validity and reliability of a smartphone motion analysis app for lower limb kinematics during treadmill running	Coach's Eye	SI	IOS Y ANDROID	Datos cinemáticos	5 USD en IOS versión gratis en Android
No se hallaron trabajos de respaldo	Sensor data	SI	ANDROID	Permite utilizar los sensores del celular. No procesa la información. Cuantifica datos.	Gratis
Health Monitors for Chronic Disease by Gait Analysis with Mobile Phones	Gait Track	NO	ANDROID	x	x

Management of a patient's gait abnormality using smartphone technology in-clinic for improved qualitative analysis: A case report	Speed Up Tv	SI	iOS	Solo reproduce los videos en cámara rápida o lenta.	Gratis
No se hallaron trabajos de respaldo	Apecs	SI	iOS	Postura	Gratis
No se hallaron trabajos de respaldo	Foodlight	NO	ANDROID Y IOS	x	x
Accuracy and repeatability of smartphone sensors for measuring shank-to-vertical angle	PnO Data Solutions	SI	iOS	Datos cinemáticos	Gratis
A Mobile Phone-Based Gait Assessment App for the Elderly: Development and Evaluation	POCKET GAIT	NO	ANDROID	Datos espacio-temporales	x
Reliability and validity of a smartphone app to measure joint range	iHandy Level	SI	iOS	Dorsiflexión de tobillo	GRATIS

No se hallaron trabajos de respaldo	Balance Gait Test	SI	ANDROID	Datos espacio-temporales	Versión gratuita o con suscripción
Gait analysis in a component timed-up-and-go test using a smartphone application	Senior Quality	SI	iOS	Analiza el TUG	GRATIS
No se hallaron trabajos de respaldo	HACARO -iTUG	SI	iOS	Analiza TUG	GRATIS
Desarrollo de una aplicación de sensado y monitoreo de las caídas y marcha humana para teléfono inteligente.	Fall Register	NO	ANDROID	Detección de caídas	x
Pilot study of the encephalog smartphone application for gait analysis	Encephalog	NO	iOS Y ANDROID	TUG	x
PAGAS: Portable and accurate gait analysis system	PAGAS	NO	ANDROID	Datos espacio-temporales	x

Using Smartphones and Machine Learning to Quantify Parkinson Disease Severity The Mobile Parkinson Disease Score	Hopkins Pd	NO	ANDROID	datos espacio-temporales	x
No se hallaron trabajos de respaldo	Sportus-Analisis Profesional	NO	ANDROID	x	x
No se hallaron trabajos de respaldo	Loasol	NO	iOS	Datos espacio-temporales	x
A validated smartphone-based assessment of gait and gait variability in Parkinson's disease	Smart MOVE	NO	iOS	Datos espacio-temporales	x
A wearable smartphone-enabled camera-based system for gait assessment	SMART GAIT	NO	iOS	Datos espaciotemporales	x

No se hallaron trabajos de respaldo	Gait-Record	SI	ANDROID	Datos espaciotemporales	1,35 USD
-------------------------------------	-------------	----	---------	-------------------------	----------

Las aplicaciones en verde son aquellas que están disponibles en el mercado y están avaladas científicamente.

Aquellas en blanco están disponibles en el mercado, pero no evalúan específicamente la marcha sino solamente algunos parámetros, o no cuentan con evaluación y aval científico las cuales pueden ser útiles, pero no son el objetivo de esta tesis.

Con color rojo hemos señalado las aplicaciones con las cuales no continuaremos trabajando por no estar disponibles en el mercado o en otros casos por estar en lengua asiática y no tener versión disponible en lengua inglesa ni española.

9. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LAS DISTINTAS APPS

Luego de relevar en los mercados de aplicaciones para los sistemas operativos iOS y Android así como en distintas publicaciones se seleccionaron veinticinco de ellas.

El cincuenta y ocho por ciento de las apps relevadas fueron encontradas a través de artículos científicos y solo seis de ellas, el veinticinco por ciento están disponibles en el mercado.

A su vez, sobre el total de las apps el cincuenta por ciento están disponibles en el mercado. El resto no han sido desarrolladas aun por sus investigadores y son proyectos a futuro o simplemente testeos de los acelerómetros o los giroscopios ya disponibles de fábrica en los celulares.

Los sistemas operativos sobre los que corren estas apps son iOS y Android. Algunas apps son aptas para ambos sistemas operativos.

El cuarenta y uno por ciento de ellas son desarrolladas para Android, el treinta y siete por ciento para iOS y solo el veintidós por ciento están disponibles para ambas plataformas.

Los parámetros relevados son varios, pero hay una clara dominancia de las aplicaciones que miden datos espacio-temporales.

El treinta y siete por ciento de los softwares están destinados a monitorear los datos espacio temporales durante la marcha a través de los acelerómetros incluidos en los celulares.

El diez y seis por ciento están destinados a analizar los datos cinemáticos y a monitorear los tiempos del test TUG.

Por último, analizando el costo de los productos más del cincuenta por ciento son gratuitas y un veinticinco por ciento del total de los costos son en dólares llegando a quince dólares la más costosa de ellas.

Además, cabe resaltar que algunas aplicaciones cuentan con versiones gratuitas y una versión paga la cual tiene mayor capacidad de relevamiento y procesamiento

de los datos. También suelen agregarse herramientas de análisis u otras capacidades en estas versiones premium.

Estos pagos se realizan por única vez y permiten utilizar la versión completa de la aplicación por tiempo ilimitado.

Luego de analizarlas de forma preliminar seleccionaremos las tres aplicaciones que cumplieran con nuestros requisitos.

Estas son:

1. Gait Analyzer
2. Coach's Eye
3. PnO Data Solutions



1- Gait Analyzer es una app móvil desarrollada hace cuatro años por Control One LLC su precio es de cinco dólares americanos en el año 2021 y está diseñada para los sistemas operativos iOS y Android. Solo disponible en lengua inglesa.

La app se basa en el monitoreo de parámetros de la marcha censados por los sensores triaxiales propios de los distintos celulares. Los parámetros que describe son velocidad de la marcha, tiempo del paso, distancia de paso, cadencia y simetría es decir parámetros espacio temporales.

La app requiere para poder registrar estos datos que el paciente lleve el celular en la cintura y camine 20 metros rectos sin desniveles.

La app permite monitorear tanto tareas simples, como caminar, o tareas dobles como pararse y caminar o caminar mientras se conversa. Permite subir los datos a la nube de iOS (iCloud) y obtener esta información desde cualquier dispositivo. Posibilita entonces hacer un registro histórico a través de los datos obtenidos en distintos análisis, así como supervisión y capacitación.

El trabajo publicado por la revista científica "Gait and Posture" en 2017 realizó un estudio sobre 33 adultos sanos que caminaban a tres velocidades distintas, rápido, a una velocidad cómoda autodeterminada y lenta durante diez metros.

Se analizó la marcha relevando parámetros espacio temporales a través de la app "sensor data" una versión beta de "Gait Analyser" contra un sistema de avanzada (GAITRite) (20).

El autor concluye que no hay diferencias importantes entre los sistemas. Los datos más fiables se dieron cuando el celular se ubicaba pegado al cuerpo, en la mochila o ajustado al cinturón. También asegura que la aplicación provee información útil y que puede lograr mediciones en un ambiente no controlado.

Por otro lado, en 2019 un estudio realizado para la revista "Gait and Posture" analizó la marcha en jóvenes y adultos mayores a través de la app móvil "Sensor Data" con el celular pegado al cuerpo. Se buscó reconocer si la marcha sufría variaciones y se analizaron parámetros espacios-temporales mientras los pacientes realizaban tareas dobles como caminar sosteniendo el celular, caminar y mirar el celular, caminar mientras les preguntaban cosas y caminar y escribir en el celular. El autor determinó que las tareas cognitivas y visuales influyen en la marcha especialmente en adultos mayores (29).

Asimismo, en 2021 un estudio realizado para la revista científica "Joint Diseases and Related Surgery" evaluó la marcha de pacientes operados con artroplastia total de rodilla contra artroplastia unicompartmental de rodilla. El estudio fue realizado con la app "gait analyser" (V 0.9.95.0 Control One LLC,NM,USA) (28).

En los dos últimos trabajos (28, 29), los autores dan por sentada la capacidad de la app para recabar datos, analizar y comprar evoluciones y su monitoreo.



2- Coach's Eye es una app desarrollada por TechSmith Corporation tanto para iOS como para Android. Con más de cuatro años en el mercado y resalta como una de las diez apps mejor valoradas en el ámbito del deporte de AppStore. La aplicación esta solo disponible en inglés.

Está destinada a los entrenadores de deportes e impulsada para brindar la posibilidad de una rápida revisión de la técnica de un movimiento o en nuestro caso de la marcha.

Las herramientas básicas de esta app son:

- Captura videos de 60, 120, 240 cuadros por segundo dependiendo de la calidad de la cámara del celular.
- Permite zoom durante la grabación.
- Permite analizar videos importados desde otras bases.
- Feedback, devolución rápida con el paciente o el atleta.
- Permite comparar dos videos al mismo tiempo.
- Permite dibujar líneas, flechas, círculos, cuadrículas o a diagramar a mano alzada.
- Compartir los videos generados vía email, WhatsApp, YouTube y Facebook.

La app tiene dos versiones disponibles todas ellas pagas. La más económica y cuesta cinco dólares durante el año en curso, la versión superior cuesta quince dólares y suma otras herramientas: medición de ángulos, posibilidad de asociar un contador de segundos y señaladores específicos en el video.

Además ofrece una membresía vip la cual cuesta ciento veinte dólares al año y permite almacenar 150GB de información, compartir videos en HD, respaldo de la información en la nube, acceso desde cualquier punto en la web, entre otras ventajas.

Esta es una app destinada para el análisis cinemático de videos 2D. A través de sus herramientas permite al observador generar puntos de interés y compartirlos con colegas o con sus pacientes/deportistas, medir ángulos y observar detalles que a simple vista no se observan.

Tiene limitaciones, pero su accesibilidad y fácil aplicación hace que la propuesta sea interesante.

Los resultados dependerán del observador debido a que la aplicación de las herramientas está totalmente definida por el analizador, es decir, si este no encuentra bien el eje de la articulación sus mediciones se verán afectadas, es por ello que se recomienda el uso de marcadores cutáneos.

La app fue puesta a prueba contra sistemas de análisis 3d por el fisioterapeuta Mousavi, Seyed Hamed en su estudio del 2020 para la revista científica "Physical

Therapy in Sport" en esta investigación se afirma que los datos obtenidos por la aplicación son suficientemente acertados como para ser tenidos en cuenta. (26)



3- PnO Data Solutions

Esta app permite un análisis cinemático a través de videos 2D con la opción cuadro por cuadro lo cual da la posibilidad al usuario de analizar detalladamente cada movimiento. Se pueden aplicar distintos dibujos como flechas, círculos y cuadrículas para que con estos el observador señale puntos de importancia. También permite analizar dos videos al mismo tiempo y aplicar estas herramientas a ambos videos

La aplicación requiere un registro en la página web de la app (30) para así poder generar un usuario. Este usuario es condición para usar la app. Los videos analizados pueden ser exportados a otros dispositivos o subidos a una red interna entre aquellos que disponen de la app.

El usuario deberá seleccionar los aspectos de interés y aplicar la gama de herramientas que la app ofrece. En la página oficial de la aplicación se pueden encontrar videos explicativos de todos los aspectos y como utilizarla. Inclusive dentro de los tutoriales de la página se encuentra uno que explica un protocolo de análisis de la marcha a través de video 2D. (31)

A modo de confirmar la existencia y disponibilidad de la app se descargó la app PnO Data Solutions en un iPhone 6s. Este es un dispositivo de gama media y si bien hubo inconvenientes a la hora de descargarlo fue posible. Esta app esta solo disponible para la plataforma de iOS y se encuentra como "PnO Data Live Mobile".

La app esta destina a permitir un análisis sobre un video o imagen y compartirla con otros usuarios.

Un limitante a la hora de utilizarla es el tamaño de la pantalla así como el hecho de aplicar las herramientas a mano alzada, lo que reduce la precisión.

La app fue puesta a prueba en 2020 en una investigación presentada en la revista científica "Prosthetics and Orthotics International" donde chequearon la capacidad de la app con un sistema de avanzada. Los resultados fueron positivos y

la autora concluye que la app es útil y demuestra ventajas potenciales sobre todo cuando los sistemas de estándar dorado no son posibles. (32)

10. CONCLUSIÓN

En esta investigación se relevaron y analizaron quince apps móviles que contribuyan al análisis de la marcha. Se indagó su disponibilidad en el mercado, el sistema operativo por ellas utilizado, la función que desempeñaban, su costo y su validez científica. Podemos concluir entonces que existen apps disponibles en el mercado. Dentro de ellas, algunas se encuentran de manera gratuita, otras tienen un valor económico, y otras también cuentan con trabajos científicos que respaldan su eficiencia para analizar la marcha humana. Algunas de ellas permiten incluso la supervisión y la colaboración entre profesionales. Hecho no menor dada la importancia que otros investigadores le otorgan al entrenamiento de los novatos en el análisis de la marcha.

En mi recorrida bibliográfica he comprobado que existen jóvenes y destacados especialistas del movimiento que las utilizan, revisan, comparan y las recomiendan a lo largo y ancho del mundo. Algunos cuestionan la precisión de estas aplicaciones mientras otros hacen hincapié en los procedimientos y protocolos para establecer de qué manera hacer las mediciones y organizar su registro. Entre ellas, destacaremos a Gait Analyzer, Coach's Eye y PnO Data Solutions como las únicas que poseen aval científico y se encuentran disponibles en el mercado.

Al principio de mi investigación creía que era necesario mediar entre la observación y el observado con algún dispositivo tecnológico. En los últimos años, los avances tecnológicos han cambiado y mejorado nuestras vidas en muchos aspectos. No debemos perder de vista que los celulares de por sí, con su software básico, ya permiten la recolección de ciertos datos cuantitativos que ayudarán a mejorar la evaluación general. Estas tecnologías disponibles también pueden ayudarnos a ser mejores profesionales. Esto es así porque el análisis y la corrección de la marcha de nuestros pacientes los puede ayudar a llegar a la edad adulta siendo más activos. Es unánime la idea de que la actividad física y las caminatas son una fuente de salud y longevidad.

Llegando al final de esta investigación, creo poder confirmar que es posible y necesaria la mediación entre observador y observado a través de un dispositivo tecnológico. Ya no es necesario hacer exclusivamente observación directa en tiempo real para diagnosticar trastornos de marcha en nuestros pacientes. Contar

con una herramienta tecnológica que medie entre quien observa y quien es observado disminuye la subjetividad del análisis y puede mejorar el posterior tratamiento de la marcha. Comprobamos que existen los dispositivos y las apps, que están disponibles en el mercado y al alcance de todos y aún más, que muchas de ellas cuentan con respaldo científico.

No obstante, destacaremos y coincidiremos con todos los terapeutas citados, que la formación, las capacidades y el entrenamiento del observador siguen siendo relevantes y centrales para el estudio de la marcha. La tecnología más avanzada no es útil si no sabemos usarla y analizarla correctamente.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Leakey R. Nuestros orígenes. Cap. 5. pág. 81
2. Armand S, Decoulon G, Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy. EFORT Open Rev. 2016;1(12):448–60.
3. Ministerio del Interior Obras Públicas y Vivienda. Plan estratégico territorial. Argentina urbana.2018
4. Klöpfer-Krämer I, Brand A, Wackerle H, Müßig J, Kröger I, Augat P. Gait analysis – Available platforms for outcome assessment. Vol. 51. 2020.
5. [Internet] Basal Ganglia Anatomy, Physiology and Computation. <https://marlin.life.utsa.edu/adrian-and-bronk.html>
6. Meinders M, Gitter A, Czerniecki JM. The role of ankle plantar flexor muscle work during walking. Scand J Rehabil Med. 1998;30(1):39–46.
7. Mündermann L, Corazza S, Andriacchi TP. The evolution of methods for the capture of human movement leading to markerless motion capture for biomechanical applications. J Neuroeng Rehabil. 2006;3:1–11.
8. Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis: Part II kinematics. Gait Posture. 2002;16(2):159–79.
9. Vera P. Biomecánica de la Marcha Humana Normal y Patológica. Valencia. Publicaciones del Instituto de Biomecánica 1999.
10. Kapandji A. I. "Fisiología articular 5º Edición Miembro Inferior." 110-115 p.
11. David L, Richards J, Whittle J. W. Whittle's gait analysis. El Sevier Health Sciens (US). 2012.
12. Whatman C, Wayne H, Patria V. Physiotherapist agreement when visually rating movement quality during lower extremity functional screening tests. Physical Therapy in Sport. 2012;13(2):87-96
13. Whatman C, Hume P, Hing W. The reliability and validity of physiotherapist visual rating of dynamic pelvis and knee alignment in young athletes. Physical Therapy in Sport. Whatman C, Hume P, Hing W. 2013;14(3): 168-174
14. Maclachlan L, White SG, Reid D. Observer rating versus three- dimensional motion analysis of lower extremity kinematics during functional screening test: a systematic review. Int J Sports Phys Ther. 2015 Aug; 10(4): 482–492.

15. Nae J, Creaby MW, Cronström A, Ageberg E. Measurement properties of visual rating of postural orientation errors of the lower extremity – A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport*. 2017 Sep; 27:52-64. doi:10.1016/j.ptsp.2017.04.003.
16. Souza RB. An evidence-based videotaped running biomechanics analysis. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2016 Feb; 27(1): 217–236.
17. Lopes TJA, Ferrari D. Reliability and validity of frontal plane kinematics of the trunk and lower extremity measured with two-dimensional cameras during athletic tasks: A Systematic review with meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2018 Oct; 48(10):812-822.
18. Ellis RJ, Ng YS, Zhu S, Tan DM, Anderson B, Schlaug G. A validated smartphone-based assessment of gait and gait variability in Parkinson's disease. *PLoS One* 2015 Oct 30; 10(10):e0141694. doi:10.1371/journal.pone.0141694. eCollection 2015.
19. Finkbiner MJ, Gaina KM, McRandall MC, Wolf MM, Pardo VM, Reid K. Video movement analysis using smartphones (ViMAS): A pilot study. *J Vis Exp* 2017 Mar 14(121):54659. doi: 10.3791/54659.
20. Silsupadol P, Teja K, Lugade V. Reliability and validity of a smartphone-based assessment of gait parameters across walking speed and smartphone locations: Body, bag, belt, hand, and pocket. *GaitPosture*. 2017 Oct; 58:516-522. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.09.030. Epub 2017 Sep 23.
21. VanWye WR, Hoover DL. Management of a patient's gait abnormality using smartphone technology in-clinic for improved qualitative analysis: A case report. *Physiother Theory Pract* 2018 May; 34(5):403-410.
22. Ishikawaa M, Yamadab I, Yamamotoc K, Aoyagid Y. Gait analysis in a component timed-up-and-go test using a smartphone application. *J Neurol Sci* 2019 Mar 15; 398:45-49. doi: 10.1016/j.jns.2019.01.023. Epub 2019 Jan 16.
23. Howell DR, Lugade V, Taksir M, Meehan WP. Determining the utility of a smartphone-based gait evaluation for possible use in concussion management. *Phys Sportsmed*. 2020 Feb; 48(1):75-80. doi: 10.1080/00913847.2019.1632155. Epub 2019 Jun 26.
24. 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. Agosto 2020. *Physiology & Behavior*. 227: 113144. DOI:10.1016/j.physbeh.2020.113144.
25. Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P, González-Hernández JM, Fernández-Domínguez JC. Assessing the concurrent validity and reliability of an iPhone application for the measurement of range of motion and joint position sense in knee and ankle joints of young adults. *Physical Therapy in Sport*. Vol. 44, July 2020, Pag 136-142
 26. Mousavi SH, Hijmans JM, Moeini F, Rajabi R, Ferber R, van der Worp H. Validity and reliability of a smartphone motion analysis app for lower limb kinematics during treadmill running. *Phys Ther Sport*. 2020 May;43: 27-35. doi:10.1016/j.ptsp.2020.02.003. Epub 2020 Feb 8.
 27. Steinert A, Sattler I, Otte K, Röhling H, Mansow-Model S, Müller-Werdan U. Using new camera-based technologies for gait analysis in older adults in comparison to the established GAITrite system. *Sensors (Basel)*. 2019 Dec 24;20(1):125. doi: 10.3390/s20010125.
 28. Çankaya D, Aktı S, Ünal SB, Sezgin AR. Unicompartmental knee arthroplasty results in a better gait pattern than total knee arthroplasty: Gait analysis with a smartphone application. *Jt Dis Relat Surg*. 2021 Apr; 32(1): 22–27.
 29. Prupetkaew P, Lugade V, Kamnardsiri T, Silsupadol P. Cognitive and visual demands, but not gross motor demand, of concurrent smartphone use affect laboratory and free-living gait among young and older adults. *Gait & Posture*. Vol 68, Feb 2019, Pag 30-36
 30. [Internet] PnO Data Solutions. <http://live.pnodata.com/Live/Description.aspx>.
 31. Fatone S, Stine R. Capturing quality clinical videos for two-dimensional motion analysis. Fatone S, Stine R. Capturing quality clinical videos for two-dimensional motion analysis. *Journal of Prosthetics and Orthotics*. 2015 Jan 20;27(1):27-32. <https://doi.org/10.1097/JPO.0000000000000051>
 32. Nguyen BT, Baicoianu NA, Howell DB, Peters KM, Steele KM. Accuracy and repeatability of smartphone sensors for measuring shank-to-vertical angle. *Prosthet Orthot Int* 2020 Jun;44(3):172-179. doi: 10.1177/0309364620911314. Epub 2020 Apr 21.

