

Estudio transversal de los parámetros de la marcha en niños sanos de 1 a 4 años con el software kinovea en comparación con los estándares de la literatura.

Transversal study of gait parameters in 1 to 4 years old healthy children with kinovea software in comparison to the standards in literature.

Autores: Laura Solar Rodríguez, Iago Acevedo Viéitez

Titulación: Grado en Fisioterapia

Centro universitario: Escuela Universitaria Gimbernat Cantabria

Nombre del director: Juan Gómez Iruretagoyena

Fecha de entrega: 9 de Junio de 2016

ÍNDICE

1. Resumen / Absstract	Pág.1
2. Introducción	Pág.4
3. Hipótesis	Pág.9
4. Metodología	Pág.10
5. Resultados	Pág.20
6. Discusión	Pág.30
7. Bibliografía	Pág.33
8. Anexos	Pág.38

Resumen:

La valoración de la marcha humana supone un aspecto fundamental de estudio dada la alta prevalencia de alteraciones de la marcha que existen hoy en día en la población infantil. En este estudio descriptivo, observacional y transversal pretendemos determinar los valores estándar de la cinemática de la marcha con el análisis de registros videográficos de la marcha en niños sanos entre 1 y 4 años. Utilizaremos una recogida de datos mediante vídeos y edición de los mismos. Para ello se ha tomado una muestra de 14 niños de una edad media de 2.23 años. Tras grabar los vídeos de la marcha desde el plano frontal y en plano sagital simultáneamente, se analizaron en el ordenador con el software *kinovea* versión 8.203. Las variables a estudiar fueron: velocidad, cadencia, tiempo de apoyo, tiempo oscilación, tiempo de zancada, longitud de paso, longitud de zancada y ancho de paso. Los resultados obtenidos indican que la longitud de la zancada y la longitud del paso se asemejan a los reportados por Sutherland y, por tanto, pueden tomarse como referencia de valores normales, a diferencia del tiempo de zancada, la velocidad y la cadencia que se alejan de los estándares de la marcha normal. Además, se demuestra que el *kinovea* es una buena herramienta para la evaluación de distancias, aunque no muy precisa en la evaluación del tiempo. Este estudio deja la puerta abierta a líneas nuevas de investigación con esta herramienta sencilla, económica y práctica para la evaluación clínica del día a día.

Palabras clave: marcha, *kinovea*, análisis, niño

Abstract

The analysis of human walking is a fundamental aspect in children evaluation because of the high prevalence of gait disturbances that exist today in children. In this descriptive, observational and cross-sectional study we aim to determine the

standard values of kinematic gait analysis with video recordings of gait in healthy children being 1 and 4 years. We use data collection through videos and edit them. For this we have taken a sample of 14 children with an average age of 2.23 years. After taking the videos of the march from the frontal plane and lateral plane simultaneously, they were analyzed on the computer with software version 8.203 Kinovea. The variables studied were: speed, cadence, stance time, swing time, stride time, step length, stride length and step width. The results obtained demonstrate the step length and stride length resemble those reported by Sutherland and therefore can be taken as a reference for normal values, as opposed to the time of stride, speed and cadence that desviate quite the standards normal gait. Also shows that the kinovea is a good tool for the evaluation of distances but with questionable evidence in the evaluation of time. However, this study leaves the door open to new lines of research to this simple, economical and practical tool for clinical assessment of everyday

Key words: Gait, kinovea, analysis, child

INTRODUCCIÓN

La marcha humana es un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano, en posición erguida, se mueve hacia delante siendo su peso soportado, alternativamente, por ambas piernas¹.

El estudio de la biomecánica de la marcha ha sido objeto de estudio desde tiempos anteriores a Galileo o Newton (S.XVII)². El primer análisis de movimiento a partir de fotogramas, tanto en humanos como en animales, vino de la mano de Muybridge en su trabajo “Animal Motion” 1887. Un siglo después (1983), fue Alexander quien, con un estudio mucho más elaborado, analizó las características de locomoción de diferentes animales con técnicas de análisis dimensional². Un estudio de la marcha consiste en obtener las características de ésta y compararlas con las consideradas como marcha humana normal. Este análisis abarca desde los métodos más sencillos de estudio, estudios observacionales; hasta los laboratorios más sofisticados del mercado, análisis instrumentados de la marcha.

Las alteraciones de la marcha son un motivo muy frecuente de consulta. Es habitual que los padres se muestren preocupados ante la posibilidad de que exista alguna anomalía que pueda interferir en la capacidad de que su hijo haga una vida normal. Sin embargo, hay muchos factores fisiológicos y anatómicos, de sobra conocidos por los profesionales, que entran dentro del desarrollo normal y que no deben ser motivo de preocupación³. Ahora mismo, hay un artículo escrito por Susana Collado que explica los distintos patrones de la marcha desde que el niño la inicia, aproximadamente a los 18 meses; hasta que llega a ser adulto. También se explica cómo hasta los 2 meses existe una serie de reflejos de las extremidades inferiores que constituyen la “marcha

automática", luego desaparece y no se vuelve a ver un movimiento parecido hasta que el niño/a comienza a caminar. Lo más destacable de este artículo para nosotros es que la marcha parecida a la del adulto se inicia entre los 5-7 años⁴.

Por eso, es importante hacer un buen diagnóstico diferencial entre una patología real que interfiera en el desarrollo del niño y un cambio anatomofisiológico que esté dentro de los parámetros de normalidad. Para ello, podemos basarnos en los análisis biomecánicos, que pueden ser una herramienta útil que nos ayuden en nuestra práctica profesional¹². De esta manera, el análisis de la marcha podría aplicarse como⁵:

- Facilitador del diagnóstico
- Marcador a la hora de personalizar tratamiento
- Control de actos invasivos (cirugías)
- Herramienta de investigación

Sin embargo, cuando hablamos de estudios biomecánicos de la marcha pensamos en laboratorios de estudio muy complejos con un coste elevado. El laboratorio de la marcha ofrece resultados que son más exactos y veraces a la hora de analizar la marcha de un niño o un adulto, sin embargo, el análisis con estudios videográficos puede ser más utilizado en la práctica clínica, ya que, aunque no sea tan exacto como un laboratorio de la marcha, nos ofrece mucha información importante para nuestra práctica clínica sin necesidad de grandes infraestructuras.

Dentro de esta nueva tecnología de bajo coste hay numerosos programas informáticos que nos ofrecen la posibilidad de analizar parámetros a partir de registros videográficos. En este trabajo hemos elegido Kinovea,⁹ un software gratuito para el análisis de videos en 2D⁶. Es un programa dinámico y con muchas herramientas que permite hacer

estudios de movimiento de todo tipo. Entre todas las herramientas que ofrece caben destacar las siguientes por el interés de aplicación en el análisis de la marcha humana:

- Seguimiento de los puntos de referencia de interés para el evaluador y exportación de su trayectoria en Excel
- Medición de ángulos y seguimiento de los mismos durante toda su trayectoria
- Medición de distancias y velocidad
- Aislar grupos de imágenes (interesante para las fases de la marcha)
- Superponer videos
- Visualizar dos videos simultáneamente

Por eso, la combinación de una cámara y Kinovea es una forma económica, sencilla y factible de llevar la tecnología de medición a la clínica.

Hay numerosos estudios de la marcha en los cuales se utilizan diferentes métodos de evaluación, por ejemplo: hay un estudio en el que comparan la marcha en niños con autismo y sin autismo. Utilizan una herramienta de trabajo que se llama “GAITRite” es una especie de alfombra con sensores de presión conectada con un ordenador que registra, por medio de la presión plantar, los pasos que da el/la niño/a en este instrumento de análisis. Con esto, se calculó la cadencia, velocidad del paso, longitud del paso y ancho del paso en el grupo de niños con autismo y en el grupo control, y se vio que los parámetros: cadencia, velocidad y longitud del paso se reducían y que sólo aumentaba el parámetro de ancho del paso en niños con autismo¹⁸.

Actualmente, se utilizan como valoración objetiva otros programas en estudio como “CoreMeter” para validar el MarkWir¹³, que registra el movimiento y funciona con un sensor de Nintendo-Wii, a diferencia del Kinovea, que utiliza documentos videográficos

Otro sistema utilizado actualmente es el “RehaGait”¹⁷, que consiste en unas zapatillas con unos sensores incorporados que valen para cuantificar la longitud de la zancada, la velocidad, la cadencia del paso... Pero que tiene grandes limitaciones porque no es capaz de medir las angulaciones de los movimientos de la extremidad inferior y en una pendiente del 15% o más, presenta fallos de entre 5-15% en cuanto a la medida de la velocidad y de la longitud de zancada.

Con respecto al Kinovea, no existen estudios de investigación que evidencien la validez de la utilización de este software informático ni en niños, ni en adultos. La herramienta más utilizada son los estudios en 3 dimensiones de la marcha, utilizando un laboratorio de la marcha compuesto por aproximadamente 8 cámaras diferentes planos, también tienen una herramienta que capta la presión plantar y así calculan las longitudes del paso y la calidad del mismo, los vídeos luego irán a un programa específico que analizará los parámetros espacio-temporales, así como la calidad de la marcha en diferentes patologías como parálisis cerebral, artrogriposis¹⁵... Y diferentes marchas como la propia de la diplegia espástica o la marcha tipo agazapada (“crouch gait”)¹⁶.

En estos estudios biomecánicos, se utilizan gráficas cuantitativas de todos los movimientos de la extremidad inferior^{(24) (26)}, aunque falta una herramienta que permita analizar tanto el aspecto cuantitativo de la marcha como el cualitativo, es decir, la calidad del movimiento y la funcionalidad del mismo.

El software kinovea es más frecuente verlo en estudios biomecánicos de la carrera, para cuantificar los ángulos de movimiento en los que se desenvuelven la cadera y la rodilla en todas las fases de la carrera¹⁴.

Para evidenciar la validez de la utilización de este nuevo programa informático kinovea, hemos hecho un estudio videográfico de la marcha en población infantil. En el que nuestra labor es establecer un estándar en los valores espacio-temporales de la marcha en niños de edades comprendidas entre 1 año y medio (inicio de la marcha) y 5 años, porque a partir de esta edad el niño adquiere un patrón de la marcha parecido a la del adulto.

Este estudio tiene la intención de proporcionar un estándar de los datos cinemáticos de la marcha, y así, saber cuándo un niño no está dentro de los parámetros de normalidad de la marcha. Con este fin, utilizaremos una herramienta eficaz de análisis visual de la marcha del niño, utilizándose para la valoración inicial, para la evolución del tratamiento fisioterápico o para la evaluación final, entre otras aplicaciones. Serviría como un sistema muy fácil de utilizar que nos permitiría monitorizar la marcha de la población infantil.

HIPÓTESIS

Nuestra hipótesis es establecer un estándar de la marcha en niños sanos entre 1 y 4 años, para así poder detectar posibles déficits en los parámetros espaciotemporales de la marcha de los más pequeños. Nuestro propósito es obtener unos parámetros cuantitativos de la marcha normal en niños y compararlos con los datos encontrados en la literatura y así, evidenciar la fiabilidad del estudio observacional de la marcha en video y analizado con el kinovea, además de validar una herramienta sencilla y barata para la práctica clínica. De esta manera, podríamos estandarizar todos los valores de las variables de estudio y obtener parámetros de normalidad por los que guiarnos en futuras evaluaciones clínicas para el hallazgo precoz de alteraciones en la marcha.

El objetivo secundario de este estudio sería comprobar la eficacia del software kinovea en el uso clínico de la consulta de fisioterapia. Ya que, lo más utilizado en la clínica es la observación y la evidencia clínica se basa en estudios biomecánicos de la marcha, proponemos una alternativa asequible para cualquier terapeuta como es el análisis en vídeo. Para tener parámetros medibles objetivamente como pueden ser los ángulos de flexo-extensión de rodilla o cadera, cadencia...

METODOLOGÍA

Para probar la eficacia del kinovea como herramienta de estudio de la marcha en niños se llevó a cabo un estudio descriptivo, transversal y observacional.

Para la selección de sujetos se buscaron todas las guarderías de la localidad de Torrelavega. El equipo de investigadores se ofrecía a ir a sus instalaciones para hacer un estudio de la marcha a sus alumnos de manera gratuita. El único requisito que se pedía era el rango de edad de los niños y una sala lo suficientemente grande para poder realizar las grabaciones. Tras un primer contacto telefónico con la dirección de todas las guarderías, cinco en total, sólo una quiso participar en el estudio. En acuerdo con la dirección de la guardería se concretó un día para realizar los registros videográficos. Así, 18 niños con un rango de edad entre 1 y 4 seleccionados aleatoriamente por la dirección del centro (ya que así pusieron ellos las condiciones). Para formar parte del estudio, los sujetos debían cumplir los siguientes criterios:

- Menores de edad entre los 1-4 años
- Menores de edad con bajo peso, normopeso y sobrepeso
- Sexo femenino y masculino
- Menores de edad aparentemente sanos

De la misma manera, todos aquellos alumnos que cumplieran alguno de los siguientes puntos quedarían fuera del estudio

- Menores de edad fuera de los rangos de edad establecidos
- Menores de edad dentro de los rangos de edad que no hayan adquirido la marcha

- Menores de edad con lesiones musculoesqueléticas recientes (menos de 6 meses)
- Menores de edad con patologías asociadas a desordenes musculo esqueléticos o del sistema nervioso, física o psicológica, que puedan llegar a alterar el adecuado desarrollo de la marcha
- Retraso en el desarrollo psicomotor.
- Menores de edad a quienes los padres no hayan firmado la autorización para la participación en el estudio.

Para analizar los criterios de exclusión, nos fijamos en las patologías más importantes en niños de 1 a 4 años.

A la hora de diagnosticar retrasos en el desarrollo del niño una herramienta que tienen los pediatras es fijarse en la manera que éstos tienen al caminar. La marcha debería ser observada porque, por ejemplo, viendo que hay un aumento de la base de sustentación cuando la marcha ya esta alcanzada y perfeccionada puede sugerir un problema cerebeloso, o la debilidad de los músculos glúteos (mayor, medio y menor) pueden facilitar que el peso del cuerpo caiga fuera de la pierna apoyada, con el resultado mecánico de que la pelvis también se desplaza hacia fuera de la pierna apoyada (marcha de Trendelemburg)²³.

Una lesión muy típica en niños de corta edad (desde el nacimiento en adelante), es la displasia del desarrollo de la cadera²⁰. Esta lesión influye en el crecimiento de la cadera y puede causar luxaciones, subluxaciones y/o inestabilidad en la cadera. La articulación de la cadera no se forma estable y los huesos del acetábulo y la cabeza femoral no son congruentes entre sí, esto provoca que la estabilidad en bipedestación se afecte y, como

consecuencia, el desarrollo de la marcha del niño no sea normal²⁷. Por ello, es importante la exploración física y la observación de la marcha en caso de que el niño la tenga adquirida, para que se realice un tratamiento precoz a fin de que se resuelva la displasia de la cadera.

Otra patología típica en niños es el autismo, se han demostrado relaciones entre el autismo y el fallo en los circuitos del cerebelo²¹, por ello, estos niños a veces presentan problemas para mantener el equilibrio, para caminar, para los movimientos de los ojos, para el alcance de objetos y para la manipulación. Estos movimientos pueden ser valorados por la exploración física inicial y también a través de registros de vídeos, estos últimos nos permitiría monitorizar y evaluar la evolución del niño en el tiempo. Los parámetros más afectados de la marcha en niños con autismo²² son éstos:

- Parámetros espaciotemporales: éstos son la longitud del paso y de la zancada, el ancho del paso, la cadencia, la velocidad, el tiempo de doble apoyo... La longitud del paso y de la zancada en niños con autismo se ve reducida con respecto a en niños sanos.
- Parámetros cinemáticos: referidos a los movimientos de las articulaciones y a los ángulos en puntos específicos del ciclo de la marcha. Los niños con autismo tienen una flexión dorsal de tobillo menor de lo normal en la fase en la que el pie contacta con el suelo.
- Parámetros cinéticos: se refieren a los momentos de los movimientos de un miembro del cuerpo, por ejemplo, en los niños con trastorno del espectro autista (TEA) se reduce el momento de flexión plantar de tobillo, pero los demás movimientos del pie son normales. Otro momento reducido es el de la flexión de cadera.

- Variabilidad en la marcha: investigan los efectos de los factores externos en la marcha de niños con TEA, por ejemplo, cuando le pidieron a los niños que aumentasen la velocidad de la marcha éstos tendieron a aumentar su base de sustentación.

En patologías como la parálisis cerebral (PC), se pueden ver aumentos en los movimientos de la parte superior del cuerpo a la hora de transmitir el movimiento de la pelvis a la cabeza, esto es debido a un fallo en la estabilización de la pelvis²⁵.

Tras aplicar los criterios de inclusión en la muestra proporcionada por el centro, un sujeto fue descartado por estar diagnosticado por su pediatra de retraso en el desarrollo psicomotor por prematuridad. Tres sujetos más abandonaron a mitad del estudio las grabaciones, por lo que finalmente la muestra del estudio son 14 niños, 7 varones y 7 mujeres, con una media de edad de 2,23 años.

Para el día de las grabaciones los investigadores prepararon un protocolo de actuación para estandarizar la manera de realizar el análisis de la marcha y así sentar las bases para que la herramienta sea reproducible en un futuro por los mismos o distintos evaluadores e intentar minimizar al máximo el porcentaje de error²⁹. El esquema era el siguiente:

1. Toma de medidas del espacio.
2. Delimitar el espacio de estudio. (Recorrido que tendrá que hacer el sujeto bien señalizado).
3. Colocación de las cámaras totalmente perpendiculares al plano de estudio.
4. Registro de la fecha de nacimiento

5. Resaltar con un rotulador fosforito las referencias óseas por el protocolo de Davis^{7*}(el sujeto debe realizar el estudio descalzo y en ropa interior)
6. Se realizan dos grabaciones de cada sujeto.

El protocolo pudo llevarse a cabo en excepción del punto 5, que por petición de la dirección del centro los sujetos realizaron el estudio con ropa y calzado.

En consecuencia, el protocolo de Davis^{7*}, el cual consiste en resaltar prominencias óseas como acromion, EIAS, trocánter mayor, cóndilo femoral externo, cabeza del peroné, maleólo lateral, cabeza del quinto metatarsiano, C7, S1 y ambos calcáneos para que sea más preciso delimitar los segmentos corporales a la hora de realizar en análisis del video. Existen múltiples protocolos para detectar puntos anatómicos relevantes en el análisis de los registros videográficos, como por ejemplo, Newintong, Gage, Dacis, Helen Hayes, Kadaba o el model VCM igual de válidos que el de Davis⁸.

La forma más básica de describir la marcha es mediante la evaluación de los parámetros espaciotemporales. Aunque estos parámetros varían entre sujetos y también entre el mismo sujeto, son representativos de cada persona cuando las condiciones intrínsecas y extrínsecas (terreno, calzado, carga, edad, fatiga...) se mantienen constantes⁴. Para este estudio se han elegido las variables de estudio más representativas a la hora de describir un tipo de marcha^{10, 30}:

- Tiempo de apoyo(s) : periodo de tiempo desde que el pie hace el contacto inicial hasta el despegue final de la misma extremidad.
- Tiempo de oscilación(s): periodo de tiempo desde el instante en el que el pie se despegas del suelo hasta el contacto inicial de la misma extremidad.

- Tiempo de zancada(s): periodo de tiempo desde el contacto inicial de un ciclo de la marcha hasta el siguiente contacto inicial de la misma extremidad,
- Longitud de paso(cm): distancia lineal entre el contacto inicial de una extremidad y el contacto inicial de la extremidad contralateral
- Longitud de zancada(cm): distancia lineal entre el contacto inicial de una extremidad y el siguiente contacto inicial de la misma extremidad
- Ancho de paso(cm): Distancia entre ambos calcáneos.
- Cadencia(pps): número de pasos por unidad de tiempo
- Velocidad(cm/s): distancia recorrida por unidad de tiempo

Para el estudio de los parámetros de la marcha se necesita como mínimo un ciclo de la marcha (dos pasos o una zancada)¹⁰ por eso, el pasillo en el que los niños van a realizar su marcha, deben ser suficientes para lograr más de un ciclo de la marcha a cadencia libre. En niños el largo de zancada promedio es de 1,07m⁸. Por eso se delimitó un recorrido de 3 metros en una sala destinada, única y exclusivamente, ya que esta distancia, sería suficiente para establecer una marcha natural puesto que podrían llegar a realizar más de dos ciclos completos. El registro videográfico con dos cámaras simultáneamente, una en el plano frontal (Nikon d3330) y otra en el plano sagital (iPad mini 3).

Previa grabación de los vídeos, fue necesario concretar ciertas medidas para que el programa pudiese hacer una calibración de las longitudes de cada paso, zancada... En el plano frontal (Fig.1) se midió la longitud de las dos mesas, que fueron 250 centímetros, así especificamos la horizontal en la cuadrícula de perspectiva. Para la vertical, tenemos la medición de los 3 metros de distancia que tiene que recorrer el niño. En el plano

sagital (Fig.2) medimos dos puntos para cuadrar la vertical del plano, sería desde que la cámara capta el plano en la parte inferior de la toma hasta que llegamos a la estantería que se ve al fondo, la distancia de la vertical sería 510 centímetros. Para calcular la horizontal, nuevamente nos guiaríamos por los 3 metros que tiene que recorrer el niño.

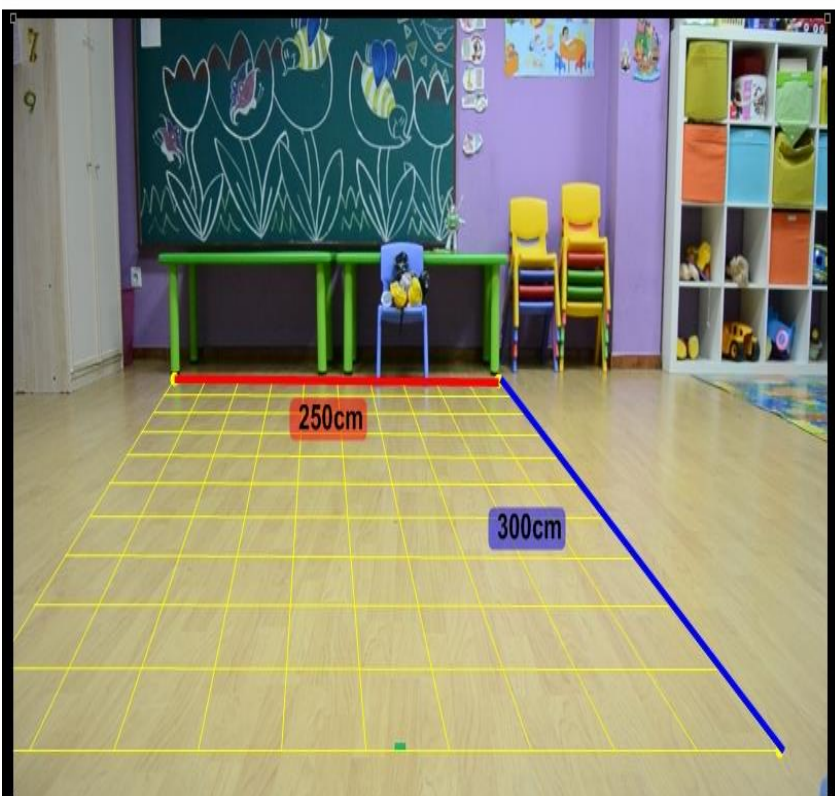


FIG. 1

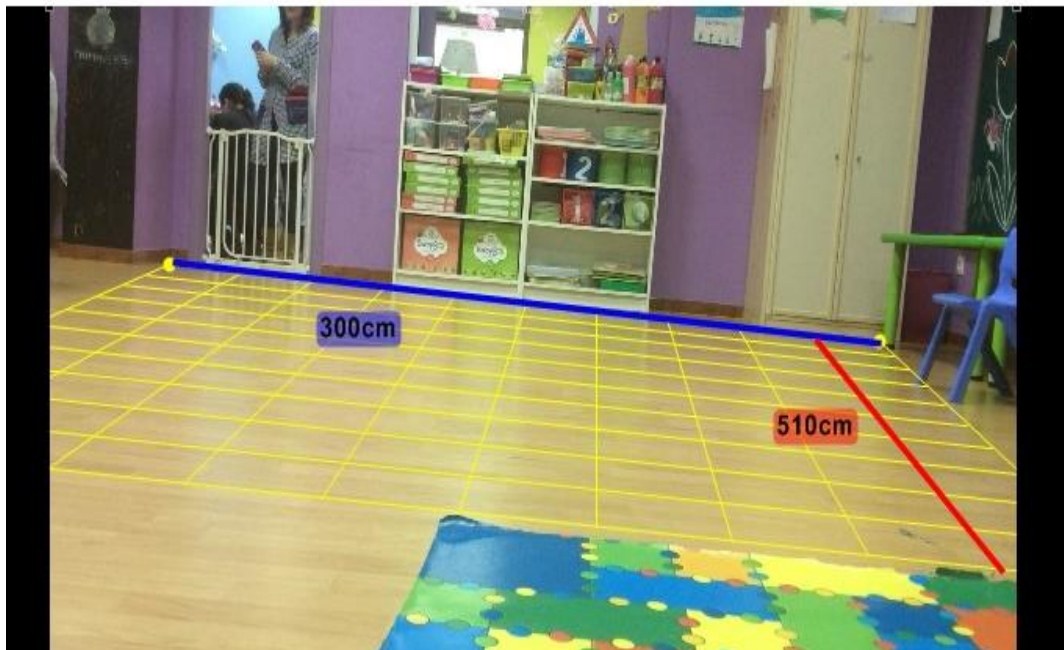


FIG.2

Una vez delimitado el espacio de la sala con marcas en el suelo para establecer el área de trabajo, se llama a cada sujeto uno por uno para comenzar las grabaciones. Tras finalizar esto, ya podemos pasar los vídeos de la cámara al ordenador y editarlos con el software Kinovea versión 8.203 siguiendo estos pasos:

1. Recortar cada vídeo desde que el niño inicia la marcha hasta que da el último paso y llega a la línea que indica 3 metros. Aproximadamente darán 10 pasos dependiendo de la longitud del paso de cada niño.
2. Se pondrá una cuadrícula de perspectiva en la que calibraremos las distancias de la imagen con las reales. Las distancias (anteriormente descritas) serán la de la horizontal y la de la vertical, teniendo los lados paralelos las mismas distancias.

Una vez tenemos estos dos pasos anteriores hechos, comenzaremos con el vídeo del plano frontal. En este plano calcularemos los parámetros de ancho del paso, cadencia de la marcha y velocidad promedio.

3. Para calcular el ancho del paso, tendremos que analizar el 4º paso del niño (cuando ya se empieza a normalizar el patrón de la marcha) y medir el ancho desde el centro del tobillo atrasado hasta el centro del tobillo adelantado con la herramienta de “línea” y luego, haremos click en la opción de “mostrar medida”.

Esta medida se hará cuando el niño se encuentre con los dos talones en contacto con el suelo, antes del despegue del talón del pie atrasado.

Se harán dos medidas, cuando el pie adelantado sea el derecho: ancho del paso derecho; y cuando el pie adelantado sea el izquierdo: ancho del paso izquierdo.

4. Para calcular la cadencia, pulsaremos la opción de cronómetro y calcularemos el tiempo que hay desde el primer paso hasta que llega a la marca de 3 metros. Con división del número de pasos que da el niño y el tiempo que marca el cronómetro obtendremos la cadencia ($\text{Cadencia} = \text{número de pasos} / \text{tiempo}$)
5. En el caso de la velocidad, tendremos que desvelar la distancia recorrida, con la opción “línea” calcularemos desde la punta del pie antes de dar el primer paso hasta la punta del pie adelantado cuando da el último paso. La velocidad sería dividir la distancia recorrida por el tiempo anteriormente calculado.

En el plano sagital haremos una cuadrícula de perspectiva como la descrita en el plano frontal.

6. En este plano calcularemos todos los parámetros temporales, para ello utilizaremos la opción cronómetro. Calculamos los tiempos de apoyo de cada pie, de oscilación y de zancada.

El tiempo de apoyo comienza desde el apoyo del talón de un pie hasta el despegue de la punta del pie del mismo.

El tiempo de oscilación comienza desde el despegue de la punta del pie del suelo hasta el apoyo del talón del mismo.

El tiempo de zancada es aquel que va desde el apoyo del talón de un pie hasta el apoyo del talón del pie contrario.

7. Calculamos también la longitud del paso y de zancada de cada pie, sabiendo que la longitud del paso es la distancia desde el apoyo de talón de un pie hasta el apoyo del talón del pie contrario y la longitud de zancada es la distancia desde el apoyo de talón de un pie hasta el apoyo de talón del mismo pie.

Con la herramienta “línea” y luego “mostrar medida” es posible saber la medida de estas dos longitudes.

8. En este plano también calculamos la cadencia y la velocidad de la misma forma que lo hacíamos en el plano frontal.

Una vez tenemos todos los resultados de los parámetros espaciotemporales nos disponemos a juntarlos y a analizarlos uno a uno viendo las desviaciones que pueden haber en algunas medidas y realizando la media de cada parámetro para establecer un “estándar”. Para que la media sea más precisa, eliminaremos el dato más alto y más bajo de cada parámetro analizado

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el análisis de parámetros se encuentran esquematizados en la Tabla 1. Los datos representados en verde son los datos por exceso que no se incluyen dentro de la estadística, de la misma manera que los representados en rojo son los que no se incluyeron por defecto.

A partir de estos datos se realiza una media de cada parámetro excluyendo los valores más altos y más bajos respectivamente de cada variable. Tomaremos esta media como valor representativo para comparar nuestros parámetros de normalidad en la marcha infantil. Los valores de referencia reportados de la literatura serán los descritos por Sutherland et al en 1988¹¹. Tabla 2

	T. Apoyo DCHA (s)	T. Apoyo IZDA (s)	T. Oscilación DCHA (s)	T. Oscilación IZDA (s)	T. Zancada DCHA (s)	T. Zancada IZDA (s)	Largo paso DCHA (cm)	Largo paso IZDA (cm)	Largo zancada DCHA (cm)	Largo zancada IZDA (cm)	Ancho paso DCHA (cm)	Ancho paso IZDA (cm)	Cadencia (pps)	Velocidad (cm/s)
1	0.52	0.50	0.31	0.35	0.77	0.85	29.5	33.43	49.39	46.06	30.9	28.57	1.2	21.3
2	0.70	0.67	0.40	0.33	1.03	1	39.07	36.65	71.69	7828	30	25.89	1.83	60.5
3	0.37	0.40	0.33	0.37	0.74	0.67	27.4	33.12	57.47	55.66	19.21	16.57	3.125	81.2
4	0.67	0.83	0.50	0.47	1.07	1.23	21.84	24.64	4218	46.26	15.64	17.15	1.7	40.7
5	0.77	0.87	0.37	0.44	1.17	1.33	29.53	29.5	60.49	65.24	18.09	18.01	1.55	44.65
6	0.67	0.57	0.33	0.37	1	0.87	22.87	31.5	57.41	49.25	19.25	17.68	1.9	44.3
7	0.50	0.47	0.30	0.37	0.80	0.77	37.03	36.42	64.29	63.38	21.05	16.42	2.5	75.55
8	0.85	0.98	0.33	0.31	1.29	0.131	26.08	19.94	44.56	43.32	19.96	15.41	1.28	30.48
9	0.5	0.43	0.20	0.20	0.70	0.67	42.47	41.14	82.27	75.59	29.63	20.63	2.85	57.74
10	0.63	0.70	0.30	0.30	0.93	1.00	50.58	5712	107.74	111.36	29.88	29.08	2.05	88.34
11	0.70	0.67	0.27	0.27	0.97	0.93	31.12	28.37	57.14	58.80	34.50	28.10	1.98	51.48
12	0.44	0.43	0.27	0.24	0.70	0.67	24.36	25.43	49.31	49.99	27.38	25.66	2.53	58.00
13	0.97	0.93	0.37	0.23	1.34	1.17	23.45	22.5	37.00	42.06	28.59	25.62	1.57	23.42
14	0.77	0.73	0.30	0.27	1.07	1.00	39.44	32.30	76.31	70.54	29.19	28.78	1.93	58.42
	0.60	0.65	0.32	0.32	0.96	0.96	31.03	31.25	59.38	58.70	25.26	22.42	1.97	52.20

Tabla

1

Datos Normativos de la Marcha

Parámetros de la Marcha	1 año	1.5 años	2 años	2.5 años	3 años	3.5 años	4 años	5 años	6 años	7 años	Adulto
Longitud del paso (cm)	22	25	28	31	33	37	39	42	44	48	65.5
Longitud de la zancada (cm)	43	50	55	62	67	74	78	84	89	97	129.4
Tiempo de zancada (sg)	0.68	0.70	0.78	0.77	0.77	0.74	0.78	0.77	0.82	0.83	1.06
Cadencia (pasos/min)	176	171	156	156	154	160	152	153	146	144	114
Velocidad (cm/sg)	64	71	72	81	86	99	99	108	109	114	121.6
Soporte Unipodal (% ciclo)	32	32	34	35	35	36	36	37	37	38	40
Despegue pie contrario (% ciclo)	17	18	17	16	16	14	14	13	13	12	12
Contacto pie contrario (% ciclo)	49	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Despegue (%ciclo)	67	68	67	66	66	65	64	63	64	62	60

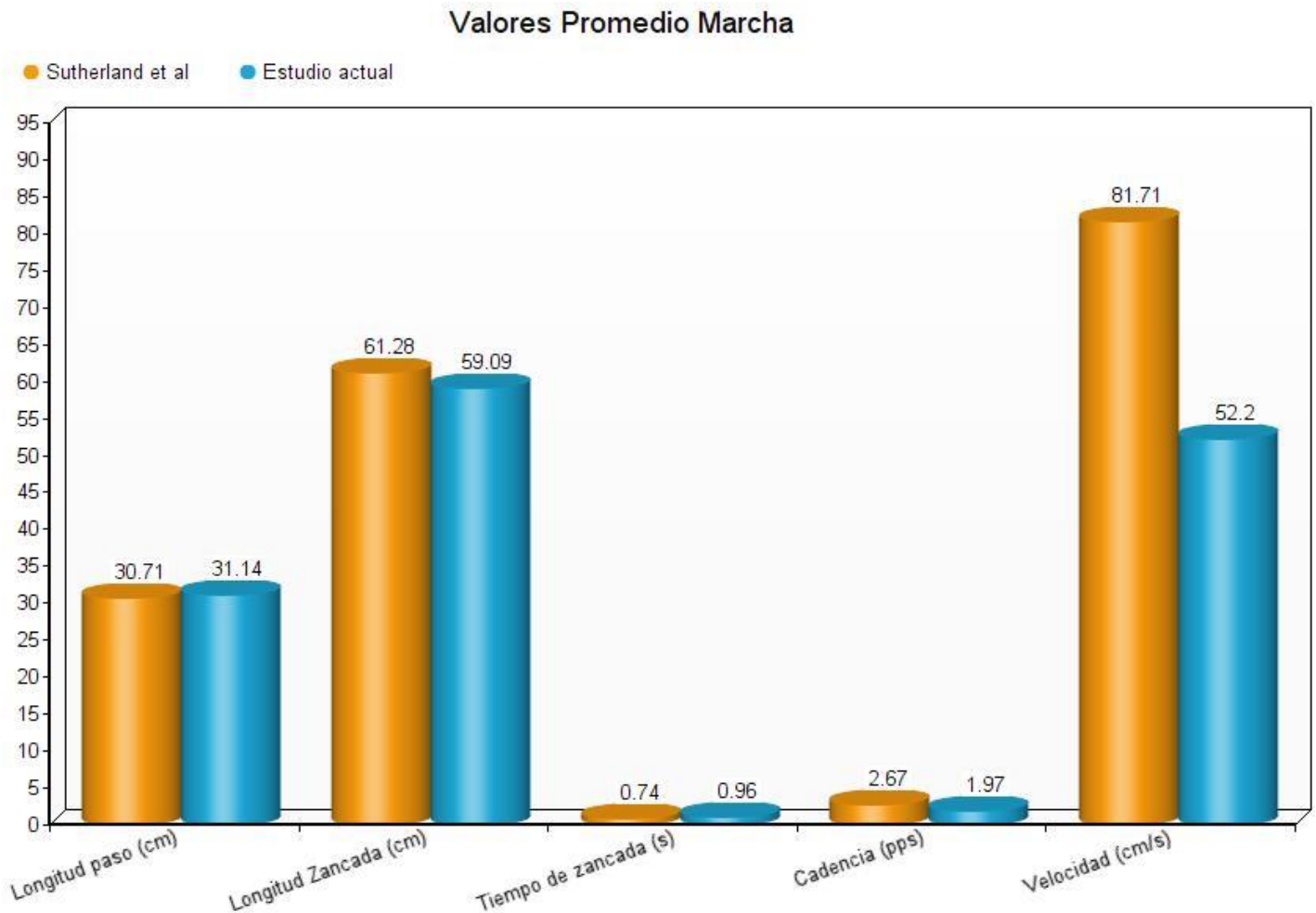
Tabla2.

Dado que Sutherland et al especifican cada parámetro en cada 0.5 años, procederemos a realizar una media de los valores comprendidos en el rango de edad entre 1 y 4 años.

	Sutherland et al (1-4a)	Estudio Actual (1-4a)	% de Diferencia
Longitud del paso (cm)	30.71	31.14	1.4 %
Longitud Zancada (cm)	61.28	59.09	3.7%
Tiempo Zancada (s)	0.74	0.96	22.9%
Cadencia (pps)	2,67	1,97	35.5%
Velocidad (cm/s)	81.71	52,2	56.5%

Tabla 3

En el Gráfico 1. Podemos ver la comparativa entre los datos reportados en la literatura y el estudio actual.



Una vez comparados los datos de los dos estudios, vamos a comprobar la homogeneidad de los resultados de cada uno de los parámetros utilizados en el estudio. Para ello, utilizaremos dos parámetros estadísticos de dispersión: la desviación típica o estándar y el coeficiente de variación de Pearson.

La desviación típica o estándar mide la dispersión de un conjunto de valores con respecto a una media aritmética. Este parámetro nos permite situar los valores máximos y mínimos de una manera aproximada y ver la homogeneidad o heterogeneidad de los datos analizados. La desviación estándar nos da la precisión de los valores, cuánto menor sea el valor de la desviación estándar los resultados serán más precisos y más homogéneos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m)^2}{n-1}}$$

Fuente: (ver bibliografía³¹)

Donde:

σ = desviación estándar.

x_i = valor analizado.

m = media aritmética.

n = número de valores analizados.

Por otra parte, el coeficiente de variación de Pearson (C.V) permite establecer un porcentaje de la dispersión de los valores analizados, cuánto mayor sea este porcentaje, mayor será la heterogeneidad de las cantidades analizadas. En nuestro caso, un

coeficiente de variación entre 15-20% indicaría que la dispersión de los valores es moderada y un porcentaje mayor del 20% es que los valores están altamente dispersos y el estudio puede no ser completamente preciso.

El hándicap de este coeficiente de varianza (C.V) es que con valores menores de 1 en la media aritmética puede dar resultados inexactos, dado que cuando la media aritmética es 0 o muy próxima a este valor el C.V. pierde significado, ya que puede dar valores muy grandes, que no necesariamente implican dispersión de datos.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100\%$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación.

σ = desviación estándar de la población.

μ = media aritmética de la población.

Fuente: (ver bibliografía¹⁹)

Aquí el coeficiente de variación de Pearson se calcularía haciendo el cociente de la desviación típica o estándar entre la media aritmética.

En la Tabla 4 vemos volcados los resultados del análisis de dónde sacamos que estos valores que serían completamente fiables para calcular el coeficiente de varianza: velocidad, cadencia, longitud de paso, longitud de zancada y ancho de paso. En valores de tiempo de apoyo, tiempo de oscilación estos coeficientes de variación podrían ser excesivamente altos. En la Tabla 4 se destacan en amarillo los valores de la media aritmética fiables para calcular el C.V.

Dados los altos valores obtenidos en las desviaciones estándar y los coeficientes de correlación, se ha decidido no continuar con un análisis bioestadístico en el cual se

rechazase una hipótesis nula. En este caso, la hipótesis nula sería que ambos estudios no pueden ser comparados y que no hay validez del estudio.

El cálculo del valor “P” permite realizar una asociación estadísticamente significativa entre dos grupos valores con los mismos parámetros. El valor que indica dicha asociación es, por consenso de la comunidad científica, igual o menor a 0,05. Este valor lleva implícito una seguridad del 95% de que esos valores estén relacionados³².

La significación estadística depende de la magnitud de la diferencia y del tamaño muestral. Por estas dos razones no se pudo llevar a cabo la significación estadística y la potencia del estudio, por la diferencia de valores y la muestra tan reducida.

Así concluimos que hay valores como la longitud de paso y la longitud de zancada que sí se asemejan a los reportados por Sutherland. Sin embargo, el tiempo de zancada, la velocidad y la cadencia difieren bastante de los resultados de dicho autor.

Por otro lado, en cuanto al software kinovea y sacando nuestras propias conclusiones de la comparativa de datos, podríamos decir que es muy eficaz a la hora de medir distancias como el largo del paso o el largo de la zancada, pero no tanto para medir tiempos. Una línea de investigación interesante en el futuro podría ser un estudio mas analítico y detallado de este softwer.

	Media Aritmética	Desviación típica/estándar	Coefficiente de variación
Tiempo apoyo DCHA	0,6755	0,1731	25,63%
Tiempo apoyo IZDA	0,6711	0,1976	29,44%
Tiempo oscilación DCHA	0,3056	0,0585	19,16%
Tiempo oscilación IZDA	0,2778	0,0492	17,71%
Tiempo zancada DCHA	0,9778	0,2345	23,98%
Tiempo zancada IZDA	0,9556	0,2099	21,96%
Longitud paso DCHO	34,0078	9,3370	27,46%
Longitud paso IZDO	32,9867	11,3004	34,36%
Longitud zancada DCHA	63,9344	22,4745	35,15%
Longitud zancada IZDA	64,2222	22,3885	34,86%
Cadencia	2,0025	0,4990	24,92%
Velocidad	53,5475	19,8712	37,11%
Ancho paso DCHO	28,8922	3,8807	13,43%
Ancho paso IZDO	25,3044	4,5433	17,95%

DISCUSIÓN

El estudio que hemos realizado se ha basado en la bibliografía escrita en los últimos tiempos, comparando así nuestros resultados con los descritos hasta la actualidad. Pudiendo realizar un estándar en comparación con lo analizado hasta ahora.

La falta de literatura con respecto a los análisis de la marcha en niños en fases iniciales de la marcha fue un factor limitante a la hora de realizar el estudio, porque tuvimos poca información con la que contrastar la recogida por nosotros. Así, no pudimos comparar todos nuestros datos con estudios realizados en épocas anteriores.

La muestra con la que contamos en un inicio fue de 18 niños en total, 2 de los cuales no quisieron realizar el estudio por falta de motivación o por miedo a la situación de ser grabados por dos cámaras. Otros dos niños se pararon en medio del camino que habíamos trazado, por lo que, los parámetros de cadencia y de velocidad se iban a ver afectados por lo que descartamos esos vídeos. Finalmente, el total de niños analizados fueron 14. En uno de los niños analizados encontramos que los valores de velocidad y cadencia no se pudieron analizar porque se detiene en el trayecto de 3 metros que tiene que caminar.

A la hora de grabar a estos niños utilizamos dos cámaras (una en cada plano), pero éstas eran de diferente resolución, por lo que puede haber diferencias mínimas entre las medidas en el plano sagital con respecto a las medidas frontal por culpa del “pixelado” y resolución diferente de las dos cámaras.

Para que el estudio fuese lo más fiable posible, nos repartimos los vídeos entre los dos autores del mismo, así cada uno analizaría 7 vídeos y así, si captábamos algún fallo, nos lo comunicábamos para mejorar el análisis de cada vídeo.

Un hándicap con lo que nos encontramos a lo largo del trabajo, fue la imprecisión a la hora de manejar el ratón del ordenador, ya que no siempre los puntos que medíamos quedaban del todo exactos. Por lo tanto, los datos descritos pueden no ser del todo concretos con respecto a la realidad y los errores pueden ser mínimos, pero existen.

Otro punto a tener en cuenta fue la diferencia de altura y desarrollo de la marcha entre niños que acababan de aprender a caminar y niños de 4 años con un patrón de marcha correctamente adquirido. Para minimizar estas diferencias propusimos eliminar el valor más alto y el más bajo de cada parámetro a la hora de hallar la media aritmética.

Por otra parte, las referencias anatómicas a la hora de medir el ancho o en largo de paso entre otros, no pudieron ser todo lo exactas que nos hubiera gustado ya que no se nos permitió ni descalzar a los sujetos ni quitarles la ropa para marcar las referencias óseas y delimitar mejor las distancias.

Tener una guía o estándar de los principales parámetros de los niños es una ventaja a la hora de valorar a cada uno de ellos, porque sin una referencia, la valoración no sería exacta en todos los casos.

También aportamos una herramienta para valorar cuantitativamente y cualitativamente la marcha de los niños, y no sólo se puede utilizar para la marcha, si no que se puede utilizar para la motricidad fina de las manos, para valorar la postura estática del niño, así como otros movimientos que influyan en las Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD).

Los inconvenientes del estudio es que la herramienta Kinovea se está empezando a utilizar actualmente y no existe suficiente evidencia acerca este software. Este estudio es pionero en la utilización del Kinovea en niños. Quizás en futuras investigaciones

sería interesante evaluar la validez del Kinovea evaluando a cada niño por separado para ver si los datos coinciden entre ellos. Respecto al análisis de los videos, sería conveniente que varios investigadores utilizaran este softwer con los mismos vídeos y así observar las variaciones de análisis de medidas.

Los datos pueden no ser del todo exactos, por ello, hacemos una aproximación a la hora de hacer el estándar de la marcha según los resultados que hemos analizado.

Sería interesante que se realizasen estudios más completos de la marcha, tanto en niños como en adultos, con este software porque es muy útil y fácil de utilizar en la clínica, y pueden prevenir muchos problemas de la marcha que se nos escapan con el simple análisis visual observacional, y no sólo en la valoración sino también como feedback de tratamiento²⁸. Animamos a toda la comunidad tanto de clínicos como de investigadores a probar una herramienta sencilla y económica pero muy válida y versátil para análisis biomecánicos de cualquier tipo.

Proponemos líneas nuevas de investigación que sigan este enfoque con una muestra más amplia y pudiendo aplicar el protocolo completo. Poder contar con cámaras de mejor resolución incrementaría la eficacia del estudio. Otra variable interesante en futuras investigaciones, sería realizar varias muestras videográficas de cada niño en días diferentes para evitar resultados tan dispares y así poder realizar la significación estadística.

BIBLIOGRAFÍA

1. Inman VT., Ralston H.J., Todd F. Human Walking. 2nd ed. Williams & Wilkins. Michigan University; 1981
2. Prat J. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Valencia: Instituto biomecánico de Valencia; 1993
3. Ibañez A., Baar A., Gana N., Cambios fisiológicos de la rotación de la marcha durante el desarrollo, Rev. Chilena Pediatría, 2008; 79(1): 45-49
4. Collado S. Análisis de la Marcha Humana con Plataformas dinamométricas. Influencia en el transporte de cargas. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 2002. No revisado
5. Sociedad Española de Rehabilitación Infantil. Libro de las Jornadas Científicas Madrid 28 y 29 de Marzo 2014. Vol. 5: 27-30
6. Garcés L., Baydal J.M. Tecnología Asequible para el Análisis de la Marcha en Consulta S.ERI Vol4. Pag 27
7. Chester VL, Tingley M, Biden EN. Comparison of two normative paediatric gait databases. Dyn Med. 2007;6:8.
8. Villa A., Gutierrez E., Pérez J.C., Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. Rev. Ingeniería Biomédica, 2008; 2(3): 16-26
9. Web del software kinovea: www.kinovea.org
10. Agudelo A.I., Briñes T.J., Guarín V., Ruiz J.P, Zapata M.C. Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. CES Movimiento y Salud, 2013;1 (1)29-43.
11. Sutherland D, Olshen R et al. The development of mature walking. 1980; 62: 336-53
12. Villalobos J., Parodi A., Díaz R., Estandarización de valores cinemáticos en niños sanos. Rev. Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación 2005; 17:47-53
13. Padulo J, Vando S, Chamari K, Chaouachi A, Bagno D, Pizzolato F. Validity of the MarkWiiR for kinematic analysis during walking and running gaits. Biol Sport. 2015 Mar;32(1):53-8.
14. Damsted C, Nielsen RO, Larsen LH. Reliability of video-based quantification of the knee- and hip angle at foot strike during running. Int J Sports Phys Ther. 2015 Apr;10(2):147-54.

15. Eriksson M, Bartonek Å, Pontén E, Gutierrez-Farewik EM. Gait dynamics in the wide spectrum of children with arthrogryposis: a descriptive study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2015;16:384.
16. Hicks JL, Delp SL, Schwartz MH. Can biomechanical variables predict improvement in crouch gait? *Gait Posture.* 2011 Jun;34(2):197–201.
17. Donath L, Faude O, Lichtenstein E, Nüesch C, Mündermann A. Validity and reliability of a portable gait analysis system for measuring spatiotemporal gait characteristics: comparison to an instrumented treadmill. *J Neuroeng Rehabil.* 2016;13:6.
18. Lim B-O, O'Sullivan D, Choi B-G, Kim M-Y. Comparative gait analysis between children with autism and age-matched controls: analysis with temporal-spatial and foot pressure variables. *J Phys Ther Sci.* 2016 Jan;28(1):286–92.
19. Imagen: Fórmula del coeficiente de variación de Pearson <http://www.monografias.com/trabajos88/dispersion-relativa/image001.png>
20. Kotlarsky P, Haber R, Bialik V, Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? *World J Orthop.* 2015 Dec 18;6(11):886–901.
21. Mosconi MW, Wang Z, Schmitt LM, Tsai P, Sweeney JA. The role of cerebellar circuitry alterations in the pathophysiology of autism spectrum disorders. *Front Neurosci.* 2015;9:296.
22. Kindregan D, Gallagher L, Gormley J. Gait deviations in children with autism spectrum disorders: a review. *Autism Res Treat.* 2015;2015:741480.
23. Newton RW, Wraith JE. Investigation of developmental delay. *Arch Dis Child.* 1995 May;72(5):460–5.
24. Souza RB. An Evidence-Based Videotaped Running Biomechanics Analysis. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2016 Feb;27(1):217–36.
25. Summa A, Vannozzi G, Bergamini E, Iosa M, Morelli D, Cappozzo A. Multilevel Upper Body Movement Control during Gait in Children with Cerebral Palsy. *PLoS ONE.* 2016;11(3):e0151792.
26. Cranage S, Banwell H, Williams CM. Gait and Lower Limb Observation of Paediatrics (GALLOP): development of a consensus based paediatric podiatry and physiotherapy standardised recording proforma *J Foot Ankle Res.*
27. Macias Merlo L. Desarrollo y valoración de la marcha. El paso patológico y las ayudas ortóticas. En: Macias Merlo L. Fagoaga Mata J. *Fisioterapia en pediatría.* Madrid: McGraw-Hill-Interamericana; 2002

28. Baker R. Gait analysis methods in rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 3, March 2006
29. Diaz C. A., Torre A., Ramirez J. I., Garcia L. F., Álvarez N. Descripción de un dispositivo destinado al análisis de la marcha en dos dimensiones, CineMED. Revista EIA, 5, 85-92, Junio 2006.
30. Chambers HG, Sutherland DH. A practical guide to gait analysis. J AM Acad Orthop Surg. 2002; 10: 222-31
31. Imagen: Fórmula de la desviación estándar.
http://2.bp.blogspot.com/plSVCroNpx0/TdV_t7V95EI/AAAAAAAAABFI/Pk3XcyoAmtY/s1600/desviaciones-estandar.jpg
32. Estudio de la significación estadística y de la potencia de un estudio – Docencia Rafalafena. URL: <http://studylib.es/doc/406486/significacion-estadistica>

ANEXOS

SOLICITUD DE REGISTROS VIDEOGRÁFICOS

D. Iago Acevedo Viétez con DNI 44493545E y Dña. Laura Solar Rodriguez con DNI 58428079Y; ambos alumnos de La Escuela de Fisioterapia Gimbernata Cantabria, adscrita a la Universidad de Cantabria, y respaldados por el tutor Juan Ignacio Gómez Iruretagoyena, presentan el Trabajo de Fin de Grado “*Estudio transversal de los parámetros de la marcha en niños sanos de 1 a 4 años con el Kinovea, en comparación con los estándares de la literatura*”.

Por la presente, solicitan su colaboración en la investigación, la cual consistirá en:

Analizar la marcha de el máximo número de niños y niñas posible, entre 1 y 4 años, sin ningún tipo de alteración en la marcha, a partir de registros videográficos. Estos registros se llevarán a cabo de la siguiente manera:

- El niño caminará una distancia de 3-4 metros en línea recta de lado a lado de la sala.
- Se le grabará desde dos planos: plano frontal y uno lateral.
- Estas grabaciones serán posteriormente analizadas en el software “Kinovea”

Por ello, se solicita:

- Permiso y consentimiento de grabación de un mínimo de 4 niños/as de su centro escolar para poder llevar a cabo la investigación.

Se especifica que el uso de las imágenes y vídeos será de uso exclusivo para el Trabajo de Fin de Grado “*Estudio transversal de los parámetros de la marcha en niños sanos de 1 a 4 años con el Kinovea, en comparación con los estándares de la literatura*” evitando así su transmisión por las redes y cumpliendo la Ley Orgánica de Protección de Datos (LOPD). Los investigadores se compromete al cumplimiento de la normativa aplicable al mismo, incluyendo la LO 15/1999 de protección de datos de carácter personal y el RD 1720/2007, de 21 de Diciembre, por el que se aprueba el reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999.

Iago Acevedo Viétez
Iruretagoyena

Laura Solar Rodríguez

Juan Gómez

Investigador
Gimbernat

Investigador

Escuelas U.