

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

Simetría del movimiento articular de los tobillos durante la marcha en escolares
con obesidad del Hospital Infantil de México Federico Gómez

T E S I S

Que para obtener el título de:

Licenciada en Fisioterapia



P R E S E N T A

Ana Elisabeth Olivares Hernández

Facultad de Medicina



DIRECTORA DE TESIS:

D en C. Claudia Gutiérrez Camacho

ASESORES DE TESIS

Dr. José Luis Alaniz Arcos

M en C. Ma. Elena Ortiz Cornejo

L.FT. Xochiquetzalli Tejeda Castellanos

INSTITUCIÓN DE AFILIACIÓN

Universidad Nacional Autónoma de México

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Clínica epidemiológica

Ciudad Universitaria, CD. MX.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Firmas



D. en C. Claudia Gutiérrez Camacho

Directora de Tesis



Dr. José Luis Alaniz Arcos

Asesor de Tesis



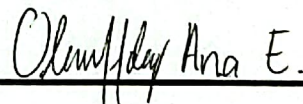
M en C. Ma. Elena Ortiz Cornejo

Asesora de Tesis



L.FT. Xochiquetzalli Tejada Castellanos

Asesora de Tesis



PSS. Ana Elisabeth Olivares Hernández

Sustentante de la Tesis

Índice

Resumen	4
Marco Teórico	5
Antecedentes	21
Planteamiento del Problema	24
Pregunta de Investigación	25
Justificación	25
Objetivos	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos	25
Métodos	26
Tipo de estudio	26
Lugar del estudio.....	26
Población	26
Tipo de muestreo.....	26
Duración del proyecto.....	26
Tamaño de muestra	27
Criterios de Selección	27
Criterios de Inclusión	27
Criterios de Exclusión	28
Procedimiento.....	28
Variables de estudio	31
Consideraciones Éticas	36
Plan de análisis estadístico	36
Resultados	37
Discusión	41
Referencias	45
Anexo 1. Carta de consentimiento informado	51
Anexo 2. Carta de asentimiento informado	57

Resumen

Introducción: La obesidad es un problema de salud a nivel mundial con un impacto negativo en el sistema musculoesquelético con alteración en la simetría del movimiento articular durante la marcha. La valoración oportuna de la marcha en los pacientes con obesidad permite reducir el riesgo de lesiones o deficiencias musculoesqueléticas, y limitaciones funcionales.

Objetivo: Describir el movimiento articular de los tobillos de escolares con obesidad durante la marcha desde el enfoque de la simetría a través del método SROD.

Métodos: Estudio transversal descriptivo en escolares con obesidad, puntajes $Z > 3$. Se valoró la marcha en el Laboratorio de Análisis de Movimiento, con un equipo BTS Bioengineering, modelo Smart DX5000®, se analizó la simetría del movimiento de ambos tobillos (flexión-extensión) durante las subfases de la marcha a través del método SROD.

Resultados: Encontramos falta de simetría de ambos tobillos durante el soporte terminal, prebalanceo y balanceo inicial con respecto a los valores de referencia, observando la mayor asimetría durante el despegue del pie y en el movimiento del tobillo derecho comparado con el izquierdo al inicio de ciclo, así como durante el balanceo inicial.

Conclusiones: El estudio de la simetría del movimiento articular de los tobillos en el paciente con obesidad es necesario para establecer objetivos de tratamiento orientados a la independencia y máxima funcionalidad. El método ROD es preciso para identificar las subfases afectadas y la ubicación de las asimetrías que presentan estos pacientes. Recomendamos, además, valorar la fuerza y el estado articular de los pacientes para explicar la falta de simetría del movimiento de los tobillos.

Palabras clave: Simetría articular, Marcha, Obesidad, Método SROD, Escolares.

Marco Teórico

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a la obesidad como la acumulación anormal o excesiva de grasa corporal que puede ser perjudicial a la salud. (1) La obesidad infantil se determina por patrones de crecimiento de acuerdo con la edad o con el índice de masa muscular (IMC) comparado con parámetros de niños de edades y sexo similares, (1) los parámetros de referencia más utilizados son:

- **Percentiles del IMC:** Los Centros para el control y Prevención de enfermedades (CDC por sus siglas en inglés) y la Academia Americana de Pediatría (AAP) recomiendan su uso para detectar el sobrepeso y la obesidad en niños y adolescentes de 2 a 19 años (Tabla 1). (1)

Tabla 1. Categorías del peso a partir del percentil del IMC

Categoría del peso	Rango Percentil
Bajo peso	Menos del percentil 5
Peso saludable	Percentil 5 hasta por debajo del percentil 85
Sobrepeso	Percentil 85 hasta por debajo del percentil 95
Obesidad	Igual o mayor al percentil 95

Fuente: Centros de Control y Prevención de Enfermedades. Acerca del IMC para niños y adolescentes. [Internet]. 2021 [Consultado 15 octubre 2021]. Disponible en:

https://www.cdc.gov/healthyweight/spanish/assessing/bmi/childrens_bmi/acerca_indice_masa_corporal_ninos_adolescentes.html#percentil-del-IMC

- **Puntuaciones Z:** La OMS creó patrones internacionales de crecimiento infantil para la evaluación del crecimiento físico y el estado nutricional de los niños desde su nacimiento hasta los 19 años, y estableció dos puntos de corte, el primero es de 0-5 años, y el segundo de 5-19 años.

Esta organización utiliza actualmente las puntuaciones z para describir la distancia que hay entre una medición (relación peso para la edad) y la media de la población. (Tabla 2) (2)

Tabla 2. Puntuaciones Z y su respectiva interpretación.

Puntuaciones Z	Interpretación
Por debajo de -3	Bajo peso severo
Por debajo de -2	Bajo peso
Intervalo entre 0 - 0.99	Estado nutricional adecuado
Por encima de 1 puntaje Z	En riesgo de sobrepeso
Por encima de 2 puntaje Z	Sobrepeso
Por encima de 3 puntaje Z	Obesidad

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Curso de Capacitación sobre la evaluación del crecimiento del niño: Registro de Crecimiento. [Internet]. 2009 [Consultado 15 octubre 2021]. Disponible en: https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2009/NINA_final.pdf

Se han identificado diversos factores de riesgo que contribuyen al desarrollo de la obesidad a cualquier edad, sin embargo, en pacientes escolares destacan los que a continuación se indican:

- *Estilos de vida sedentaria:* Niños que pasan frente a la televisión un promedio de 24.6 horas por semana mostraron una relación significativa con el incremento del IMC ($p=0.011$).⁽³⁾ Según Hancox, 40% de los niños que desde edades tempranas (± 5 años) han estado expuestos por varias horas a la televisión, a la edad de 15 años el 11 % cursaron con sobrepeso y 1% con obesidad.⁽⁴⁾ De acuerdo con Jiménez-Pavón, en niños escolares existe una asociación inversamente significativa ($r=-0.06$) entre la actividad física y adiposidad, de acuerdo con su investigación a menores niveles de actividad física habitual ($<13\ 000$ pasos/día) mayor adiposidad en estos individuos. ⁽⁵⁾

- *Genética:* En estudios familiares sobre obesidad, se encontró un carácter hereditario de entre el 25% - 55%;(6) si ambos padres tienen obesidad, el riesgo de que el niño la desarrolle será del 69%-80%, si solo uno de los padres tiene obesidad, el riesgo es de 41% al 50%. (7) Se distinguen tres principales factores genéticos relacionados con la obesidad: 1) genes de susceptibilidad; 2) una afección monogénica; 3) síndromes raros en los que la obesidad es uno de los elementos de un cuadro complejo.(8,9)
- *Culturales:* Según Shrewsbury *et al*, existe una asociación inversa caracterizada por altos valores de adiposidad en las familias con menor nivel socioeconómico ($p<0.05$). (10)
- *Alimentación:* La dieta rica en productos derivados del maíz, azúcares refinados, y el consumo de alimentos con densidad energética alta, impacta de manera directa en la prevalencia de obesidad y sobrepeso. Galván *et al*, reportaron en un estudio de población mexicana que el 87% de los participantes siguieron patrones de ingesta de alimentos ricos en azúcares y grasas (36% y 51%, respectivamente) y solamente el 13% de los niños encuestados sigue el patrón dietético diverso (rico en vegetales, frutas, productos lácteos fermentados, frijoles, hojas verdes y vegetales con almidón). (11)

Epidemiología

La obesidad infantil es un problema de salud pública mundial del siglo XXI. Según las proyecciones del Atlas de obesidad en la infancia, en 2017 el porcentaje de niños entre 5-9 años en

Estados Unidos fue del 25.4%, en 2020 hubo 158 millones de niños entre 5-19 años con obesidad a nivel mundial. (12) La Encuesta de Salud y Nutrición en México (ENSANUT) en 2018 reportó una prevalencia de 17.5% y en 2020 aumentó a 18.6 % en población de 5 a 11 años, (13,14) se estima que en 2030 habrá 6 millones 550 mil niños con obesidad en México en este mismo rango de edad. (12)

Complicaciones de la obesidad

La obesidad afecta a todos los sistemas corporales en general, en la tabla 3 se muestran las afectaciones que se tienen en estos: (15,16)

Tabla 3. Complicaciones de la obesidad en la infancia y adolescencia

Sistema	Afección
Neurológico	Hipertensión intracraneal idiopática
Endocrino	Resistencia a la insulina, diabetes tipo 2, pubertad precoz, en niñas ovario poliquístico, en niños hipogonadismo
Cardiovascular	Dislipidemia, hipertensión, hipertrofia válvula tricúspide, coagulopatía, inflamación crónica, disfunción endotelial
Pulmonar	Apnea obstructiva, asma, intolerancia al ejercicio
Gastrointestinal	Reflujo esofágico, esteatosis hepática, constipación
Renal	Esclerosis glomerular, intertrigo
Dermatológico	Estrías, acantosis nigricans
Psicológico	Baja autoestima, ansiedad, depresión, aislamiento social, bajo rendimiento escolar, desórdenes alimenticios
Musculoesquelético	Epifisiolisis de cadera, enfermedad de Blount, pie plano, dolor de espalda baja, daño articular en rodillas

Fuente: Lee, E. Y., & Yoon, K.-H. (2018). *Epidemic obesity in children and adolescents: risk factors and prevention. Frontiers of Medicine.* doi:10.1007/s11684-018-0640-1

Alteración músculo esquelética y obesidad

La afectación en la integridad y función del sistema musculoesquelético que ocasiona la obesidad favorece la aparición de enfermedades articulares tempranas como artrosis, problemas posturales lumbo pélvicos, discopatías lumbares y radiculopatías.(17) Por otro lado, según reporta Baquero Sastre, también se presenta un aumento en la lordosis lumbar de estos pacientes, la prevalencia de esta fue del 10.32%, debido a que la resistencia de los músculos extensores de columna cede por la fuerza generada en la zona abdominal. Las alteraciones en este sistema son principalmente la reducción de la fuerza(18) flexibilidad y resistencia, afectando la respuesta cardiopulmonar (19,20) y aumentando el gasto metabólico.(21)

En adultos (> 24 años) con sobrepeso y obesidad existe una reducción de la flexibilidad muscular, con un riesgo de retracciones musculares 3 veces mayor comparada con población sana de su misma edad (1.04 – 8.49; $p < 0.05$), lo cual acorta los brazos de palanca durante el movimiento articular, disminuyendo la generación de fuerza y potencia durante el mismo ocasionando desequilibrios en músculos agonistas y antagonistas de la zona.(21)

Esto, como consecuencia, afecta la estabilidad de los elementos articulares ante fuerzas externas que inciden sobre ellos, generando una descarga inequitativa de fuerzas provocando desgastes articulares y riesgos de lesiones, que a su vez podrían afectar la calidad de vida de estos pacientes. (22,23)

Otra alteración en el cuerpo producida por la obesidad es la anteriorización del tronco por el aumento de la masa abdominal, lo que produce inestabilidad corporal durante el movimiento.(24)

Bernard *et al*, analizaron el equilibrio de estos pacientes sobre una base inestable y observó que el control postural de los adolescentes con obesidad era menor que el de los sujetos de la misma edad con normopeso, lo cual se intensifica cuando se somete al sujeto a perturbaciones posturales

(empujes anteriores y posteriores) sobre esta superficie, presentando incapacidad para regular los desequilibrios anteriores (24,25) y se favorecen las posturas posteriores de modo que estas alteraciones musculoesqueléticas repercuten en la marcha (26) favoreciendo mecanismos compensatorios mediante la reorganización de la función neuromuscular mayormente para disminuir la carga total sobre la articulación durante la realización de ésta y favorecer el equilibrio y estabilidad articular. (21,27,28) Por su parte Villarrasa *et al*, analizaron la fuerza de reacción del suelo durante la marcha en pacientes escolares con obesidad. Para lo cual establecieron dos puntos máximos, la primera fue la fuerza de impacto producido por el contacto inicial del tobillo y la segunda la fuerza de propulsión requerida para el despegue del pie, encontrando que los pacientes con mayor peso corporal (pacientes con obesidad) presentan un incremento en la fuerza de propulsión durante la fase de despegue, debido a la masa grasa del individuo, lo cual resalta la importancia de los músculos del miembro inferior en la oposición a la resistencia generada por el peso corporal al caminar. (29)

Tomando en consideración que la obesidad repercute en las propiedades musculares, es importante resaltar que una reducción de la resistencia provoca que las estructuras no presenten un adecuado equilibrio entre sí, favoreciendo la fatiga y la disminución de la estabilidad articular y postural, precipitando así a cambios en la alineación de los segmentos. Estos cambios se manifiestan en alteraciones ortopédicas en las articulaciones como la rodilla y de estas específicamente el *genu valgum*. (30)

Importancia de la simetría del movimiento articular

De acuerdo con la literatura, cuando el movimiento entre las articulaciones del cuerpo es similar entre ellas, se requiere de un mínimo consumo energético para que éste se lleve a cabo, así como

una adecuada distribución de cargas mecánicas sobre las superficies articulares, lo que disminuye el riesgo de presentar lesiones o desarrollar patologías. (31,32)

Por otro lado, la simetría de movimiento muestra especial énfasis en los factores de la función muscular como la potencia, (33) control (34) y coordinación de la actividad muscular entre miembros en el individuo de estudio. (35,36)

Peso como modificador de la simetría del movimiento articular

Las alteraciones asociadas a la ganancia ponderal (puntajes $Z > 3$) repercuten en la simetría del movimiento del miembro pélvico, afectando los parámetros de la marcha del niño con obesidad, funcionalidad e independencia para el salto y la carrera, así como también son expuestos a mayor riesgo de caídas comparado con pacientes sanos como se observa en la figura 1. (25)

El tobillo es una articulación primordial en el apoyo del pie en el suelo y en consecuencia en la marcha. Es una estructura móvil que requiere gran estabilidad ya que soporta entre 5 y 7 veces el peso corporal en la fase final del ciclo de marcha comparado con articulaciones como la rodilla y cadera.(37) El tobillo tiene funciones específicas durante la marcha, de primera instancia recibe el choque del miembro producido por la recepción de peso al contacto en el suelo lo cual requiere la estabilidad de las articulaciones que lo componen mediante la contracción muscular del compartimiento anterior de la pierna. Por otro lado, su función de frenando ante la caída del antepié y la regulación de la propulsión y progresión hacia delante hacen de esta articulación una clave para el adecuado desplazamiento del miembro y la correcta repartición de fuerzas hacia las articulaciones de cadera y rodilla. (38)

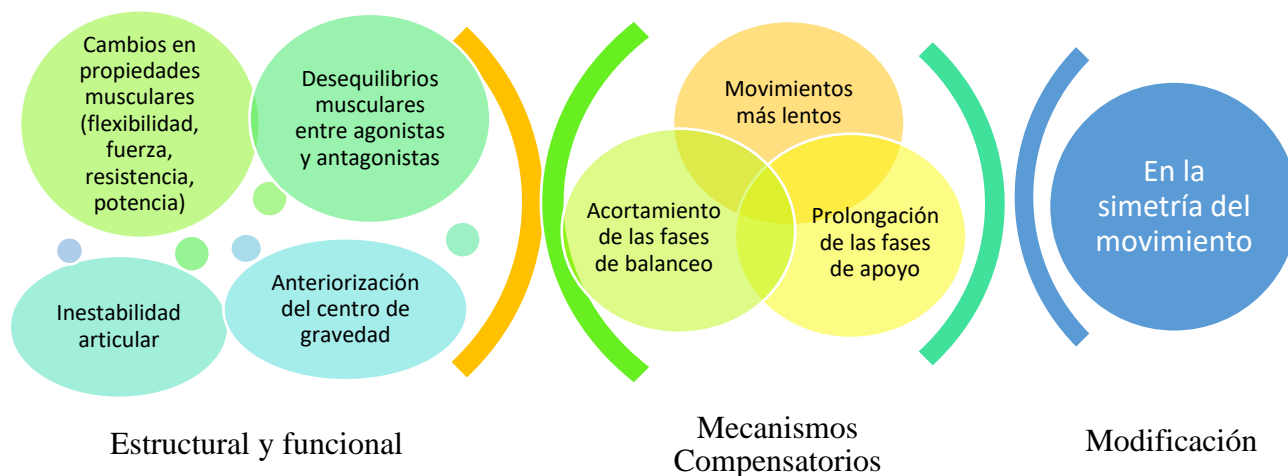


Figura 1. Peso como modificador de simetría

La estabilidad de esta articulación se logra a través de las superficies articulares, los ligamentos y las estructuras capsulares, quienes son influenciadas por los cambios en las características de la carga y posición articular en el espacio. (37) El tobillo se encuentra estabilizado por los músculos flexores dorsales y plantares. Una vez el talón entra en contacto con el suelo, los músculos extensores evitan la caída del antepié, resultando de ello una presión articular de aproximadamente el doble del peso corporal. Al apoyar la planta del pie, en situación ideal, la presión articular será igual al peso corporal; y finalmente, al despegue de los dedos del pie su fuerza está dada por la presión del suelo y la acción muscular. Cabe mencionar que la amplitud y dirección de los movimientos de la articulación del tobillo dependen del sentido de las fuerzas externas (cizallamiento, rotación y acción valguizante) generadas al contactar con el suelo. En la flexión dorsal el tobillo se encuentra sometido ante una resistencia tónica del músculo tríceps sural para limitar la flexión plantar, mientras que en la flexión plantar los músculos flexores del tobillo regulan el movimiento. El grupo muscular que estabiliza y favorece la flexión plantar del tobillo

está compuesto por: sóleo, gastrocnemios, tibial posterior, flexor largo de los dedos, flexor largo del dedo gordo, peroneo largo y corto. Por otro lado, los músculos: tibial anterior, extensor largo de los dedos, extensor largo del dedo gordo y peroneo tertius forman el grupo muscular que favorece la flexión dorsal de esta articulación. Cuando uno de los grupos musculares se altera, el grupo que favorece la acción contraria de igual manera se ve afectado, lo cual termina repercutiendo en la funcionalidad.(37–39)

No obstante, al haber cambios en la composición musculo esquelética en pacientes con obesidad su biomecánica es diferente. Autores han descrito que las alteraciones en el movimiento articular de tobillo se deben a las afectaciones en otras articulaciones como la reducción en la flexión de cadera que se asocia como una estrategia de compensación por la debilidad de los músculos extensores de cadera (40) durante el despegue del pie, y menor activación muscular para la extensión de rodilla(27) favoreciendo un cambio en la función de los músculos flexores plantares del tobillo en esta fase lo que causa un mayor gasto energético (50% más en niños escolares) al compensar la función de aquellos músculos con debilidad; (40–42) esto último implicaría el desarrollo del incremento del momento muscular a nivel de tobillo con el objetivo de mantener su equilibrio. (25) Así mismo, Devita *et al*, reportaron un incremento del 11% en el torque articular de tobillo en pacientes adultos con obesidad comparado con el grupo normopeso. (27)

Marcha Humana

La marcha puede definirse como una serie de movimientos cíclicos que permiten el avance de los segmentos corporales, generalmente con un mínimo gasto de energía.(43) Es el resultado de la

compleja interacción entre varios subsistemas (neuromuscular, músculo-tendinoso y osteoarticular) que trabajan coordinadamente para generar la dinámica corporal necesaria para el desplazamiento bípedo,(26) involucra y coordina estructuras como el cerebro, médula espinal, nervios periféricos, músculos, huesos y las articulaciones; gracias a ella podemos ser independientes para realizar nuestras actividades de la vida diaria como caminar, correr, practicar deportes y desplazarnos por diferentes terrenos.(39) Dada su naturaleza cíclica, podemos estudiarla dividiéndola en fases de apoyo y balanceo, (Tabla 4) que se llevan a cabo entre dos choques consecutivos (contacto inicial) del mismo pie, mientras que un miembro inferior se encuentra apoyado sobre la superficie, el miembro contralateral se encuentra en fase de balanceo a lo cual se le denomina ciclo de la marcha. (39,44)

Tabla 4. Fases y subfases que componen el ciclo de la marcha

	Fase de apoyo	Fase de balanceo
Definición	Fases en las cuales el pie se encuentra en contacto con el suelo o superficie, equivale del 60 al 62% del ciclo de la marcha.(45)	En esta fase no hay apoyo de la extremidad dado que se encuentra avanzando. Equivale al 38-40% del ciclo de la marcha.(45,46)
Subfases	<ul style="list-style-type: none"> ● Contacto inicial (0-2 % del ciclo) ● Respuesta a la carga (hasta 10% del ciclo) ● Soporte medio (11-30% del ciclo) ● Soporte terminal o final (31-50% del ciclo) ● Pre-balanceo o fase previa a la oscilación (51-60% del ciclo) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Balanceo Inicial (50-73% del ciclo) ● Balanceo Medio (74-87% del ciclo) ● Balanceo Terminal (88-100% del ciclo)

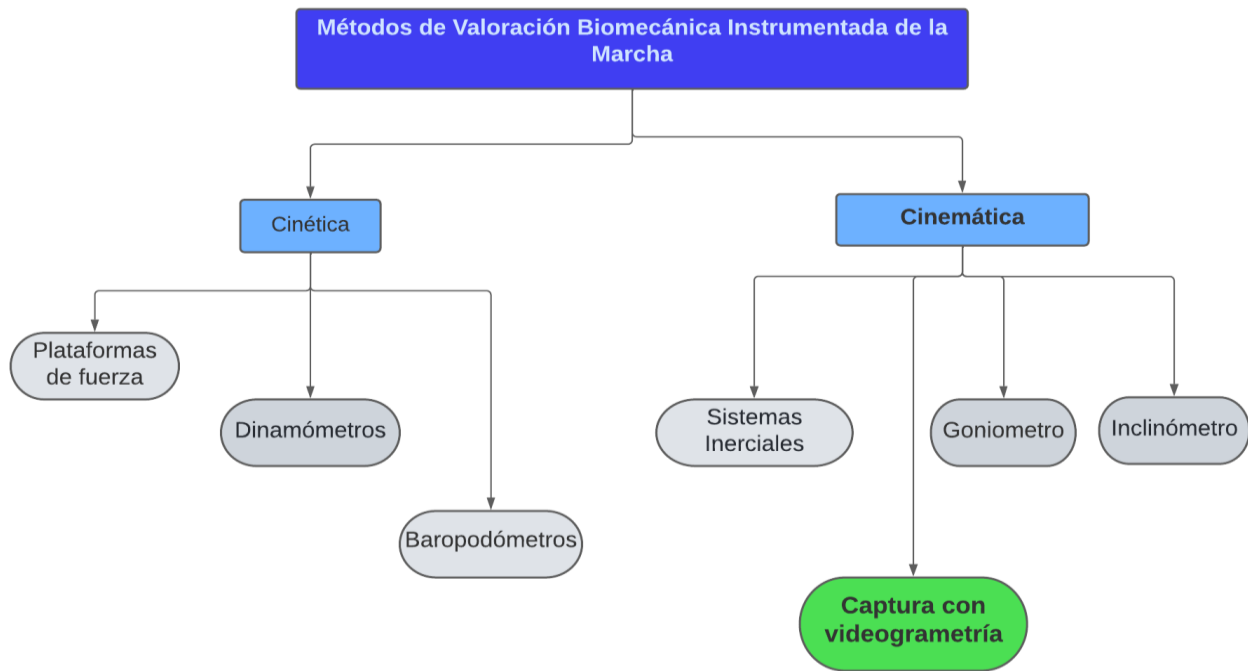
En el caso específico de los niños, las modificaciones en el patrón de la marcha se atribuyen principalmente al proceso de desarrollo y crecimiento de los sistemas corporales asociados a la misma, aunado al crecimiento de la longitud de los miembros pélvicos y la maduración del sistema nervioso, las características más relevantes se presentan en el primer año de vida donde el contacto inicial del talón se encuentra ausente, sin embargo a partir de los 4 años existe un aumento en el movimiento articular del tobillo (dorsi y plantiflexión).(47) Otros modificadores de la marcha son los trastornos musculares o patologías con afectación en el movimiento ya sea de manera directa como afectaciones propiamente en el músculo o en articulaciones, o indirectas como el aumento de peso que generan alteraciones en la funcionalidad del individuo. (48–50) Aunado a ello el movimiento cíclico de la marcha al realizarse repetidas veces puede conllevar a una carga asimétrica en columna, lo que a largo plazo puede causar dolor lumbar y articular en miembros inferiores ($r= 0.29$ para dolor vs ángulo de Cobb $p=0.03$). (51)

Evaluación de la marcha

El estudio de la marcha representa una valiosa herramienta para conocer la integridad funcional de las diferentes estructuras involucradas, identificación y diagnóstico oportuno de enfermedades, etc. (52,53) en condiciones de salud que involucran alteraciones en la función muscular y control postural como la obesidad.(54) Los parámetros biomecánicos por medio de los cuales se estudia la marcha son: espaciales (analizan el movimiento del cuerpo en el espacio), temporales (aquellos dependientes del tiempo), cinéticos (estudian las fuerzas de reacción potencias articulares y momentos articulares en los diferentes ejes) y cinemáticos (definen los ángulos articulares y movimiento de segmentos sin atender a sus causas).(45) Existen otros métodos de análisis del ciclo

completo de la marcha, desde el método visual-clínico, hasta los sistemas más modernos como los laboratorios integrados por varios instrumentos complejos de alta tecnología (Figura 2).

Figura 2. Métodos de Valoración Instrumentada de Biomecánica



Fuente: Viosca Herrero E, Prat Pastor J, Soler Gracia C, Peydro de Moya MF, Vivas Broseta MJ, Pitarch Corresa S, et al. Valoración Funcional: Cuadernos de Biomecánica. España; 2010;1(1):17. (55)

La videogrametría permite el estudio del movimiento articular en diversas patologías, (56–58) donde se utiliza el sistema de ejes ortogonales (59) que plantea que los movimientos se dan en tres planos; plano frontal: oblicuidad de la pelvis y aducción-abducción de cadera, plano sagital: basculación de pelvis, flexo-extensión de cadera, flexo-extensión de rodilla, dorsi-plantiflexión de tobillo, plano transversal: rotación pélvica, cadera y rodilla, así como el ángulo de progresión del pie. (46) (60) Cuando el comportamiento angular es diferente entre ambos miembros entonces hay una marcha asimétrica, que puede estar causado por la inestabilidad articular. (61)

Simetría articular durante la marcha

La simetría de movimiento hace referencia al comportamiento similar de ambos miembros pélvicos durante el ciclo de la marcha(62,63) en pacientes sanos la marcha tiende a ser simétrica con desviaciones mínimas (64) mismas que pueden presentarse por diversos factores, uno de ellos es la relacionada con la lateralidad del individuo. (65)

El estudio de la simetría puede darse desde dos enfoques, el primero es comparativo con la banda de normalidad y la segunda es con su homólogo. Hasta el momento no existe un consenso internacional que establezca a partir de cuántos grados de asimetría se considera patológica, (62) no obstante, se han descrito angulaciones para que una marcha se considere “normal o sana”, la cual debe cumplir con los parámetros artrocinemáticos mencionados en la tabla 5. (66)

Tabla 5. Rangos articulares funcionales de tobillo en las fases y subfases de la marcha.

Articulación/ Fase de la marcha		Tobillo
A P O Y O	Contacto inicial	Posición neutra 0°
	Apoyo plantar	15° plantiflexión
	Apoyo medio	5° dorsiflexión
	Despegue de talón	15° - 20° dorsiflexión
	Elevación de talón y despegue del pie	pasa rápidamente a 20-40° plantiflexión
B A L A N C E O	Balanceo inicial	0° neutro
	Balanceo medio	0° neutro
	Balanceo terminal	0° neutro

Fuente: Voegeli VA. Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. Rev Esp Reumatol. 2003; 30(9): 469-77.

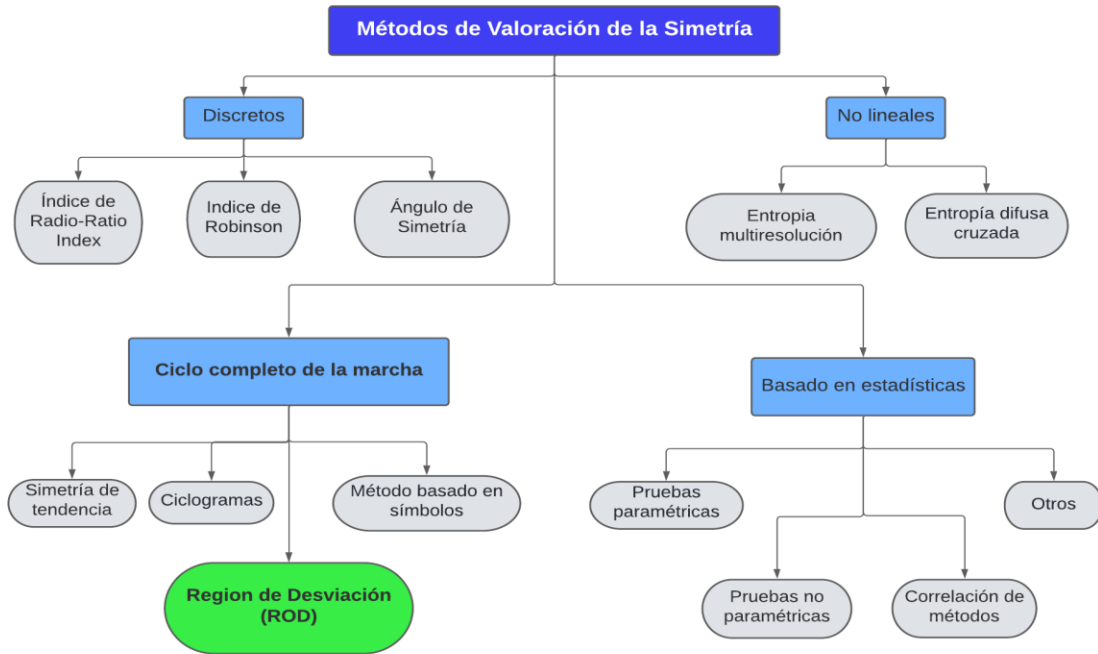
La presencia de una alteración en estos parámetros es manifestada a través de modificaciones en la marcha, caracterizadas por el inadecuado funcionamiento articular y/o muscular.(42) El término “asimetría” está asociado a la cantidad de discrepancia entre el movimiento de los miembros

izquierdo y derecho. (67) Una marcha asimétrica puede conllevar a una pérdida de densidad mineral ósea y osteoporosis en el miembro afectado, (68) así como la recepción de mayor carga en el miembro contralateral que a largo plazo puede generar un mayor riesgo de presentar osteoartritis y lesiones musculoesqueléticas.(69)

La presencia de algunos trastornos visuales o auditivos, patologías ortopédicas, neurológicas, cardiovasculares o sistémicas, frecuentemente se acompañan de alteraciones en el rango de movilidad, la fuerza, el tono y los reflejos de los miembros inferiores (70,71) los cuales son factores que influyen en la simetría de la marcha, con una consecuente alteración de la movilidad de un sujeto. Wheelwright *et al.* reportaron que la edad, el sexo, la longitud de las piernas no parecen estar relacionadas con la presencia de asimetrías en miembros inferiores de los pacientes estudiados; (72) sin embargo, otro factor como el incremento o disminución del peso corporal sugiere una falta de simetría del movimiento que provoca mayor inestabilidad en el paciente.

Existen diversos métodos para evaluar la simetría de la marcha, desde métodos que evalúan el movimiento de los segmentos del cuerpo mediante el uso de ecuaciones que calculan la simetría entre miembros por parámetros de marcha (ej. espaciotemporal) hasta métodos más complejos que estudian la evolución de una sola variable discreta en los ciclos consecutivos de la marcha mediante la descomposición de la información en diversos niveles calculando la entropía del movimiento (67) Para el estudio de la simetría durante el ciclo completo de la marcha se han reportado el uso de 4 principales métodos (Figura 3):

Figura 3. Métodos de valoración de la simetría de la marcha



Fuente: S. Viteckova *et al.* (2018) Biomedical Signal Processing and Control 42 89–100

1. Estudio del movimiento mediante ciclogramas

Los cuales están basados en el hecho de que la marcha implica movimientos cíclicos de las diversas articulaciones del cuerpo humano que pueden ser representados gráficamente. (67)

2. Método basado en símbolos

El ciclo de la marcha es dividido en 10 porciones, para el análisis se toman todos los valores entre dos mediciones consecutivas. Los valores de asimetría van de 0 al 100 donde 0 indica perfecta simetría. (67,73,74)

3. Tendencia de simetría:

Este método es utilizado para identificar el comportamiento angular de la articulación que no es simétrica. Una de las desventajas de la implementación de este método es que no se puede identificar el momento en el que ocurren las desviaciones de simetría. (67,75)

4. Regiones de desviación

Es utilizado para cuantificar el desplazamiento angular de las articulaciones e identifica las regiones del ciclo de la marcha donde se presentan.(67) Existen principalmente dos métodos de análisis de la región de desviación: la global y la que evalúa el movimiento de cada lado respecto a su normativa. Provee de una medida cuantitativa para describir y comparar los patrones de movimiento de la marcha. Evalúa la desviación de simetría entre articulaciones de manera bilateral o la desviación de una articulación en relación con el comportamiento normal saludable.(35)

Existen dos modalidades para el estudio de la región de desviación:

4.1 Simetría de las regiones de desviación- Symmetry Regions of Deviation (SROD)

Son calculados de la diferencia entre ángulos bilaterales (izquierda y derecha) de una articulación dada en un ciclo de la marcha. Este resultado de la diferencia angular entre hemicuerpos de una articulación (cadera, rodilla, tobillo) es promediado sobre el total del número de ciclos de la marcha.(35) La siguiente fórmula indica la diferencia de los ángulos por articulación,

$$\Delta \theta_j^i = \theta_{j,Affected}^i - \theta_{j,Unaffected}^i$$

Valores negativos indican que el valor menor corresponde al lado afectado, sugiriendo así asimetría en el movimiento. Después es comparado con el movimiento normal de la articulación.

4.2 Regiones de desviación individual- Individual Regions of Deviation (IROD).

Determina la magnitud y tiempo del comportamiento asimétrico de las articulaciones de manera individual en un ciclo de la marcha.(35)

Las representaciones de los segmentos del miembro por trayectoria son utilizadas para cuantificar la complejidad y variabilidad del movimiento, permite cuantificar las diferencias entre segmentos de los miembros inferiores por medio de una representación geométrica de las trayectorias de un sistema en movimiento, como la marcha. Esta técnica es efectiva para distinguir diferencias grupales en el patrón de movimiento entre sujetos y ciclos de marcha.(35)

Antecedentes

Las modificaciones de la simetría entre miembros pélvicos se han relacionado con el incremento del peso y sugiere que el incremento de éste puede ocasionar inestabilidad ante el movimiento en el paciente. Algunas de las probables causas de asimetría son los factores mecánicos asociados a diferencias en la composición corporal y el rendimiento muscular de los miembros.

Como se muestra en la Tabla 6, Pulido-Valdeolivas *et al.* mediante la implementación de un heatmap como método de descripción multivariante de la muestra reportaron la presencia de asimetrías importantes de movimiento articular bilateral del tobillo en pacientes escolares normopeso durante las subfases de la marcha; Máxima dorsiflexión en apoyo (dz: 0.73°, der 12.24 – izq 11.51°), máxima dorsiflexión en fase oscilante (dz: 1.43°; der 4.20° - izq 2.77°) (40) Los autores concluyeron que cuando los valores salieron de este rango de “normalidad” se originó un tiempo de apoyo demasiado largo al final del ciclo; de igual manera expresaron que este método de análisis proveyó información que permitió conjuntar el grupo de variables que tienden a variar de manera conjunta y repercutir así en la funcionalidad del individuo. Los autores mencionan que la principal limitación de su investigación es que la metodología empleada es de carácter solo

descriptivo o exploratorio, por lo que los resultados mostrados deben comprobarse con el empleo de otras técnicas que permitan demostrar sólidamente lo que se intuye con este análisis. (70)

Pau M *et al.*, evaluaron la simetría artrocinemática en pacientes adultos con obesidad (diferencia entre el mínimo y máximo de los ángulos con sus respectivas desviaciones estándar) en los movimientos de cadera, rodilla, y tobillo. (Tabla 6) Entre sus hallazgos describen que la obesidad se asoció con una disminución en la extensión de cadera, plantiflexión de tobillo y flexión de rodilla. Los autores concluyeron que dichas alteraciones pueden ocasionar una disminución de la velocidad de marcha (0.13 m/s) y una prolongación en la duración de la fase de apoyo (2.72% del ciclo de la marcha) para reducir el estrés articular, compensar la deficiencia de fuerza muscular y la alteración propioceptiva de la articulación. Como ambos miembros pélvicos requieren un mayor contacto con el suelo, las modificaciones incrementan el tiempo empleado en la cinemática del miembro pélvico (28.96 % del ciclo de la marcha) en una condición de cadena cerrada.(31) En la articulación de tobillo los déficits en la flexión plantar y dorsal pueden estar aunados a una reducción de la fuerza en los músculos que la rodean. Sugieren que los cambios en la biomecánica de la articulación no son inmediatos sino progresivos. Dichas alteraciones en la simetría representan en conjunto una estrategia para reducir el estrés articular y para compensar la reducción en la fuerza muscular y la propiocepción articular.

Por otra parte, la investigación de dichos autores presenta limitaciones como una muestra exclusivamente en adultos jóvenes, así como una heterogeneidad en términos de severidad de la obesidad.

Tabla 6. Antecedentes

Referencia	Población: Sexo y edad en años (rango)	Objetivo	Instrumentos de Medición	Resultados
Pulido-Valdeolivas, I. <i>et al.</i> , 2013	27 escolares con normopeso M: 14 niños F:13 (6-13) España	Describir la simetría de los parámetros cinemáticos y espaciotemporales de la marcha en pacientes normopeso	Representación multivariante de los datos: Heatmap y dendrograma	Asimetrías reportadas en tobillo fueron: <ul style="list-style-type: none"> • Máxima dorsiflexión en apoyo (Dz: 0.73°, der 12.24 – izq 11.51°) • Máxima dorsiflexión en fase oscilante (Dz: 1.43°; der 4.20° - izq 2.77°) • Ángulo medio de progresión del pie (Dz: 2.28°; der -7.70° - izq -5.42°) <p>Dz= Diferencia entre tobillo derecho e izquierdo</p>
Massimiliano Pau, <i>et al.</i> Sensors, 2021	26 adultos con obesidad vs 26 normo peso. (28.5) Italia	Describir la simetría de parámetros cinemáticos y espaciotemporales asociada a obesidad	Área del Ciclograma: Área bajo la curva obtenida del diagrama comparativo de ángulo contra ángulo. (ángulos ²) En caso de simetría del movimiento el área es nula porque se asume el mismo valor en cada parámetro del ciclo de la marcha.	Valores de simetría bilateral reportados en pacientes con obesidad con el método de área del ciclograma, $Ob = (103.84^\circ)^2$, Asimetría bilateral $Ob = 10.19^\circ$ Asimetría entre grupos de comparación= $(26.16^\circ)^2$ $Np = (77.68^\circ)^2 (59.59)$, $Ob = (103.84^\circ)^2 (63.05)$ Np= Normopeso, Ob= Obesidad

Planteamiento del Problema

La obesidad infantil es considerada un problema de salud pública a nivel mundial debido al incremento en su incidencia durante los últimos años. En México se ha visto un aumento en la incidencia de esta condición de salud. Además de las implicaciones cardiovasculares y la predisposición a desarrollar enfermedades crónico-degenerativas a temprana edad, la obesidad contribuye a que los pacientes presenten alteraciones en los sistemas corporales como en el músculo esquelético, en donde se limitan ciertas actividades de la vida diaria, por ejemplo, la marcha. Las alteraciones en la biomecánica de ésta pueden relacionarse con el incremento en el riesgo de presentar lesiones causando limitaciones funcionales y aumentando el riesgo de caídas debido a la asimetría del movimiento articular.

En relación con su impacto en la marcha, una alteración en la simetría indica patrones de movimiento menos saludables, incrementando fuerzas y torques en articulaciones como cadera, rodilla y tobillo, que perturba el sistema musculoesquelético e induce la pronta degeneración articular, así como la presencia de osteoartritis por la alteración de la biomecánica y el estrés ante grandes tensiones por encima de la resistencia normal de los tejidos. Esta asimetría tiene implicaciones en los componentes musculoesqueléticos de otras regiones corporales, como la columna vertebral, y repercute en la funcionalidad del tobillo, dado que es la primera articulación de contacto que estabiliza el movimiento ante las fuerzas que interactúan sobre él. La inadecuada distribución de fuerzas en todo el miembro inferior puede incrementar el riesgo de caídas en estos pacientes.

A pesar de que se ha demostrado la importancia de la participación del tobillo durante la marcha, es escasa la evidencia sobre la simetría de movimiento de dicha articulación en pacientes con obesidad.

Pregunta de Investigación

Desde el enfoque de la simetría ¿Cómo es el movimiento articular de los tobillos de escolares con obesidad durante las fases de la marcha comparado con los valores de referencia establecidos por el laboratorio de marcha?

Justificación

La obesidad genera desequilibrios musculares, falta de estabilidad articular, reducción de la fuerza, la flexibilidad y la resistencia del músculo: así mismo, provoca asimetrías en la marcha con mayor consumo energético, alteraciones en los patrones de movimiento y en la funcionalidad del individuo. Estos patrones podrán ser diagnosticados de manera más precisa mediante el estudio de la simetría para establecer objetivos más precisos de tratamiento y con ello favorecer una buena funcionalidad e independencia del escolar, disminuyendo a su vez el riesgo de caídas.

Objetivos

Objetivo General

Describir el movimiento articular de los tobillos de escolares con obesidad durante la marcha desde el enfoque de la simetría.

Objetivos Específicos

1. Describir el patrón de movimiento articular de los tobillos (dorsiflexión y plantiflexión) según las diferentes subfases de la marcha.

2. Comparar el movimiento articular de los tobillos de pacientes con obesidad respecto a los valores de referencia establecidos a través del Laboratorio de Análisis del Movimiento
3. Analizar la simetría del movimiento de los tobillos a través del método de regiones de desviación (SROD).

Métodos

Tipo de estudio

Transversal descriptivo

Lugar del estudio

Clínica de obesidad, Consulta Externa de Pediatría Ambulatoria y el Servicio de Dermatología del Hospital Infantil de México Federico Gómez

Población

Escolares (6-12 años de edad) con obesidad

Tipo de muestreo

Por conveniencia de casos consecutivos

Duración del proyecto

1 año

Tamaño de muestra

Para el cálculo del tamaño de muestra se tomaron los valores de asimetría entre miembros obtenidos del estudio realizado por Pau M *et al* 2021, (31) se utilizó la fórmula de diferencia de media para población finita

$$n = \frac{N * Z^2 * S^2}{(D^2(N - 1) + Z^2) S^2}$$

Parámetro: Grados de diferencia de simetría entre miembros

donde,

$$N = 34$$

$$Z^2 = 1.96^2$$

$$S^2 = 10.19^2$$

$$D^2 = 0.10^2$$

$$\begin{aligned} &= \frac{34 * 1.96^2 * 10.19^2}{0.10^2 * (34-1) + 1.96^2 * 10.19^2} \\ &= 32 \end{aligned}$$

Total de pacientes a incluir: 32

Criterios de Selección

Criterios de Inclusión

- Niños de 6-12 años
- Ambos sexos
- Con obesidad, por encima de >3 puntaje Z

Criterios de Exclusión

- Alteraciones endocrinológicas con incremento endógeno de peso
- Alteraciones en el sistema nervioso central
- Síndromes genéticos con incremento ponderal: Prader-Willi, del tumor Wilms-aniridia (WAGRO), de Alstrom, Bardet-Biedl, de Carpenter y de Cohen.
- Tratamiento farmacológico asociado a incremento ponderal: glucocorticoides, ácido valproico, ciproheptadina, progestágenos, anti-inflamatorios, quimioterapia.
- Algún tipo de epilepsia.
- Escolares post operados de bypass gástrico.
- Con alguna enfermedad neuromuscular que implique atrofia y/o distrofia muscular.
- Afección en extremidades inferiores (traumática o cirugía) en los últimos 6 meses.
- Amputación de alguna extremidad.

Procedimiento

1. Se revisaron los expedientes de los pacientes de la clínica de obesidad y de la Consulta Externa de Pediatría del Hospital Infantil de México Federico Gómez con la finalidad de identificar aquellos que cumplían con los criterios de inclusión.
2. Los potenciales participantes fueron localizados en los servicios del hospital antes mencionados para ser invitados a participar en su próxima cita. Se explicó con detalle en qué consistía el estudio. Aquellos que aceptaron a participar se programó una cita y se les dieron las indicaciones.

3. Se procedió a la lectura y firma del consentimiento informado por parte del responsable del cuidado del menor de edad y del asentimiento informado para los pacientes que cumplan con la edad requerida.

4. La evaluación se realizó en el Laboratorio de Análisis del Movimiento del Departamento de Rehabilitación del Hospital Infantil de México Federico Gómez, para lo cual, el día de la cita del paciente se le solicitó asistir con pantalón tipo short de lycra de longitud a media pierna y camiseta de manga corta, sin reflejante de luz, ajustada al cuerpo para facilitar la colocación de los marcadores.

5. Medición antropométrica

Previo al estudio el evaluador especializado en valoración de la marcha realizó mediciones antropométricas al paciente, estos datos posteriormente fueron introducidos al equipo del laboratorio:

- i. Peso y talla se midieron con báscula con estadímetro médico de tipo mecánico marca Seca modelo 755®.
- ii. Se calcularon los puntajes Z del peso, talla e IMC según sexo y edad.
- iii. Se midió la distancia entre espinas ilíacas anterosuperiores, y profundidad de pelvis derecha e izquierda con antropómetro proporcionado por el propio laboratorio de marcha.
- iv. Longitud de piernas derecha e izquierda: se colocó al participante en posición de decúbito dorsal, las piernas extendidas y los pies formando ángulo de 90° con relación a la pierna y las puntas de los dedos orientados hacia arriba. Se midió con cinta métrica la distancia entre el epicóndilo externo del fémur y el borde inferior del pie.

6. Evaluación de la marcha

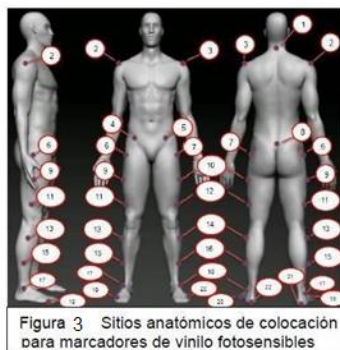
La valoración de la marcha se realizó en el Laboratorio de Análisis de Movimiento, que cuenta con un equipo marca BTS Bioengineering, modelo Smart DX5000® que se encuentra ubicado en el edificio de Rehabilitación y Foniatría Hospital Infantil de México Federico Gómez. Los parámetros fueron medidos a través de las cámaras de fotogrametría y procesadas automáticamente por el equipo.

El estudio de la marcha se realizó de la siguiente manera:

- I. Se colocaron los marcadores fotorreflejantes de vinilo de 15 mm conforme al protocolo de Davis como se muestra en la Tabla 7 y Figura 4.

Tabla 7 Sitios anatómicos para colocación de marcadores de vinilo fotosensibles

1	Apófisis espinosa de C7	12	Borde superior de rodilla izquierda
2	Acromion derecho	13	Borde inferior de rodilla derecha
3	Acromion izquierdo	14	Borde inferior de rodilla izquierda
4	Espina iliaca anterosuperior derecha	15	Punto medio entre el marcador 13 y 17
5	Espina iliaca anterosuperior izquierda	16	Punto medio entre el marcador 14 y 18
6	Trocánter mayor derecho	17	Maléolo externo derecho
7	Trocánter mayor izquierdo	18	Maléolo externo izquierdo
8	Sacro	19	Cabeza del 5º metatarsiano derecho
9	Punto medio entre el marcador 6 y el 11	20	Cabeza del 5º metatarsiano izquierdo
10	Punto medio entre el marcador 7 y 12	21	Talón derecho
11	Borde superior de rodilla derecha	22	Talón izquierdo



- II. Se le solicitó al paciente caminar una trayectoria de 5 m en el laboratorio de marcha hasta obtener 5 grabaciones válidas (aquella en la que se observó al menos 2 pasos continuos con todos los marcadores visibles) con la finalidad de evaluar:

Angulación del pie con respecto a la pierna a través del plano transversal (ángulo de paso).

III. Se determinó el comportamiento del tobillo en el plano ságitro-transversal dado en ángulos trigonométricos (ángulo de tobillo).

7. Evaluación de la simetría cinemática

Se procedió a extraer los resultados de cada paciente del análisis de marcha en formato de texto. Posteriormente los datos por paciente fueron capturados en un archivo a través del software Microsoft Excel® donde se clasificó cada parámetro con sus respectivos valores de acuerdo con el porcentaje del ciclo de la marcha. Se generó una base de datos global con la cual se sacaron medias y desviaciones estándar para poder realizar el comparativo con los datos obtenidos del laboratorio de marcha.

Con tales valores se crearon gráficos a través del software Microsoft Excel® de los tobillos de cada lado (izquierdo-derecho). Se analizó la simetría de cada movimiento (flexión-extensión) respecto al porcentaje del ciclo de la marcha con la metodología de la región de desviación SROD.

Variables de estudio (Tabla 8)

- Variables Desenlace: Movimientos de tobillos (dorsiflexión y plantiflexión) según las subfases de la marcha.
- Variable Predictora: Obesidad (Peso >3 de puntaje Z)
- Variables Antecedentes: Edad, sexo, talla.

Tabla 8. Variables de estudio

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Tipo de variable	Unidad de medición o categoría
Edad	Tiempo que ha vivido una persona u otro ser vivo contando desde su nacimiento.	Años y meses cumplidos a partir del nacimiento del individuo y hasta el momento de realizar la medición. Se obtuvo mediante interrogatorio directo.	Cuantitativa/ continua	Años y meses
Sexo	Condición orgánica que distingue a los machos de las hembras.	Identificación que hace el sujeto de su sexo, al marcar el espacio correspondiente a la letra F si pertenece al sexo femenino, o a la letra M si responde al sexo masculino.	Cualitativa/ nominal dicotómica	Femenino/ Masculino
Talla	Estatura de una persona, medida desde la planta del pie hasta el vértice de la cabeza.	A partir del estadímetro de la báscula, se determinó la longitud del individuo en cm de pies a cabeza descalzo y sin accesorios en cabeza en la báscula marca seca modelo 755. Se relacionó con su respectivo puntaje Z (talla para la edad) de acuerdo con los valores establecidos por la OMS.	Cuantitativa/ continua	Centímetros, Puntajes z

		<p>Para marcar un punto en la curva de longitud/talla para la edad se marcaron los años y meses cumplidos sobre la línea vertical (no entre las líneas verticales), posteriormente se marcó la talla sobre las líneas horizontales de tal manera que concordara con la edad del paciente y finalmente se verificó la ubicación de este punto y su relación con la línea trazada del puntaje z más próxima.</p>		
Peso	Indicador de la masa corporal de un individuo expresada en kg o libras.	<p>Se midió el peso corporal con báscula mecánica médica marca seca modelo 755. Se relacionó con su respectivo puntaje Z (peso para la edad) de acuerdo con los valores establecidos por la OMS.</p> <p>Para marcar puntos en la curva de peso para la edad se marcaron los años y meses cumplidos sobre la línea vertical, posteriormente se marcó el peso sobre las líneas horizontales de tal manera que concordara con la edad del paciente y finalmente se verificó la ubicación de este</p>	Cuantitativa/ continua	Kilogramos de peso, Puntajes z

		punto y su relación con la línea trazada del puntaje z más próxima.		
Simetría en parámetros cinemáticos de la marcha	Comportamiento idéntico de los parámetros que analizan el movimiento de los segmentos corporales cuantitativamente.	<p>El equipo BTS bioengineering a través de los marcadores posicionados en la articulación definió su comportamiento en el plano coronal determinado en ángulos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ángulo de tobillo 	Cuantitativa /continua	Grados
IMC	Indicadores que se utilizan con mayor frecuencia para medir el tamaño y los patrones de crecimiento de niños y adolescentes en los Estados Unidos.	<p>Se calculó el IMC y se relacionó con su respectivo Puntaje Z (IMC para la edad) de acuerdo con los valores establecidos por la OMS. La fórmula para la obtención del IMC fue la siguiente:</p> $IMC = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Altura} * \text{Altura (m}^2\text{)}}$ <p>Para marcar puntos en la curva de IMC para la edad se marcaron los años y meses cumplidos sobre la línea vertical (no entre las líneas verticales), posteriormente se marcó el IMC sobre las líneas horizontales de tal</p>	Cuantitativa/ continua	Kilogramos de peso divididos entre la altura Puntajes z

		manera que concordara con la edad del paciente y finalmente se verificó la ubicación de este punto y su relación con la línea trazada del puntaje z más próxima.		
--	--	--	--	--

Consideraciones Éticas

El presente proyecto de investigación se encuentra apegado a la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, cumple con los lineamientos de la Declaración de Helsinki, sus enmiendas y con las normas internacionales para las buenas prácticas en la investigación clínica, considerándose una investigación con *riesgo mínimo*. Este protocolo de investigación empleó datos generados en la Unidad de Investigación de Fisioterapia a través del protocolo con número de registro HIM-2020-042, el cual fue sometido y aprobado por los Comités de Investigación y de Ética del Hospital Infantil de México Federico Gómez.

Plan de análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de los datos para lo que empleamos medidas de tendencia central (media o mediana) y dispersión (desviación estándar o rangos intercuartiles) de acuerdo con el caso correspondiente para las variables cuantitativas, en el caso de las variables cualitativas se realizó el reporte a través de frecuencias relativas y absolutas. Los datos se procesaron con el paquete estadístico IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Versión 25 para crear un patrón general de movimiento.

Las medias y desviaciones estándar de los ángulos de movimiento de los tobillos de los pacientes incluidos que fueron reportados por el equipo BTS Bioengineering del Laboratorio de Análisis del Movimiento, se graficaron de acuerdo con los valores de referencia generados por este, empleando el software Microsoft Excel®. Para el análisis de simetría se realizaron dos comparativas, respecto al lado contralateral y con respecto a los valores de referencia.

Resultados

Se incluyó un total de 32 escolares con obesidad con predominio de pacientes del sexo masculino. En la tabla 9 se observan, además, sus edades, talla, peso e índice de masa corporal (IMC).

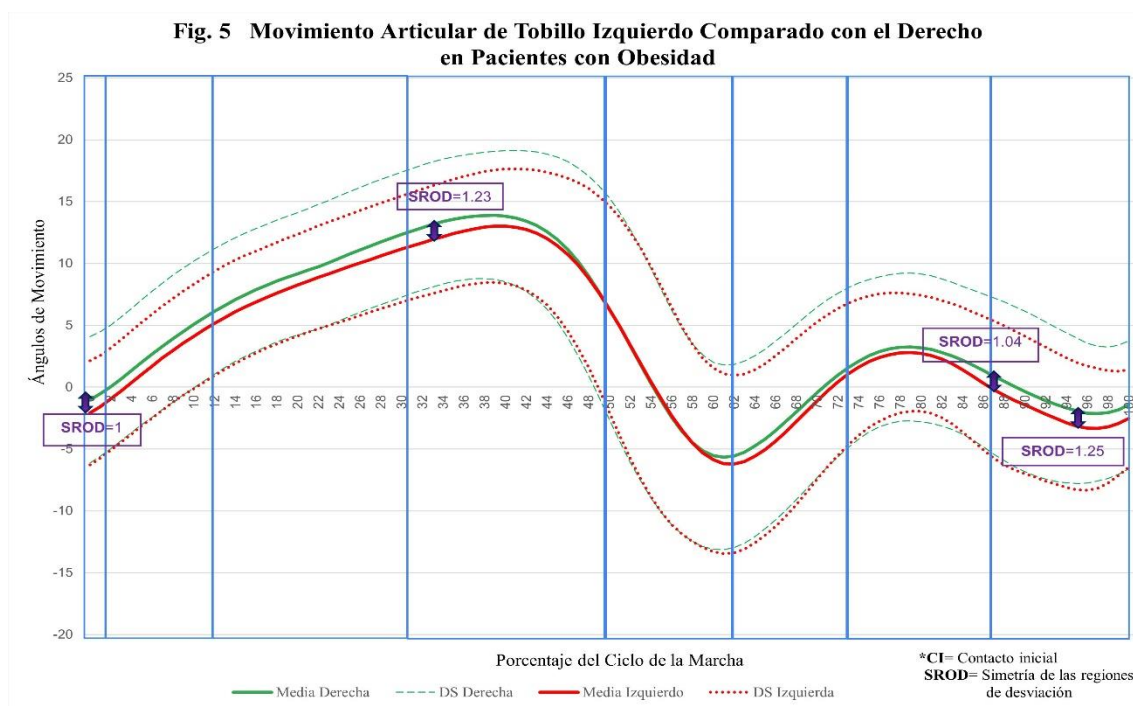
Tabla 9. Características demográficas

Características	
Sexo: M/F, n (%)	22 (68.8) / 10 (31.3)
Edad en años, mediana (mín-máx)	9.5 (6-12)
Talla en centímetros, media (DE)	137.5 (\pm 11.89)
Kilogramos de peso, media (DE)	49.12 (\pm 11.46)
IMC ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$), media (DE)	25.59 (\pm 2.85)

M/F= Masculino/Femenino; n (%) =número (porcentaje); (DS)= Desviación estándar; IMC= índice de Masa Corporal.

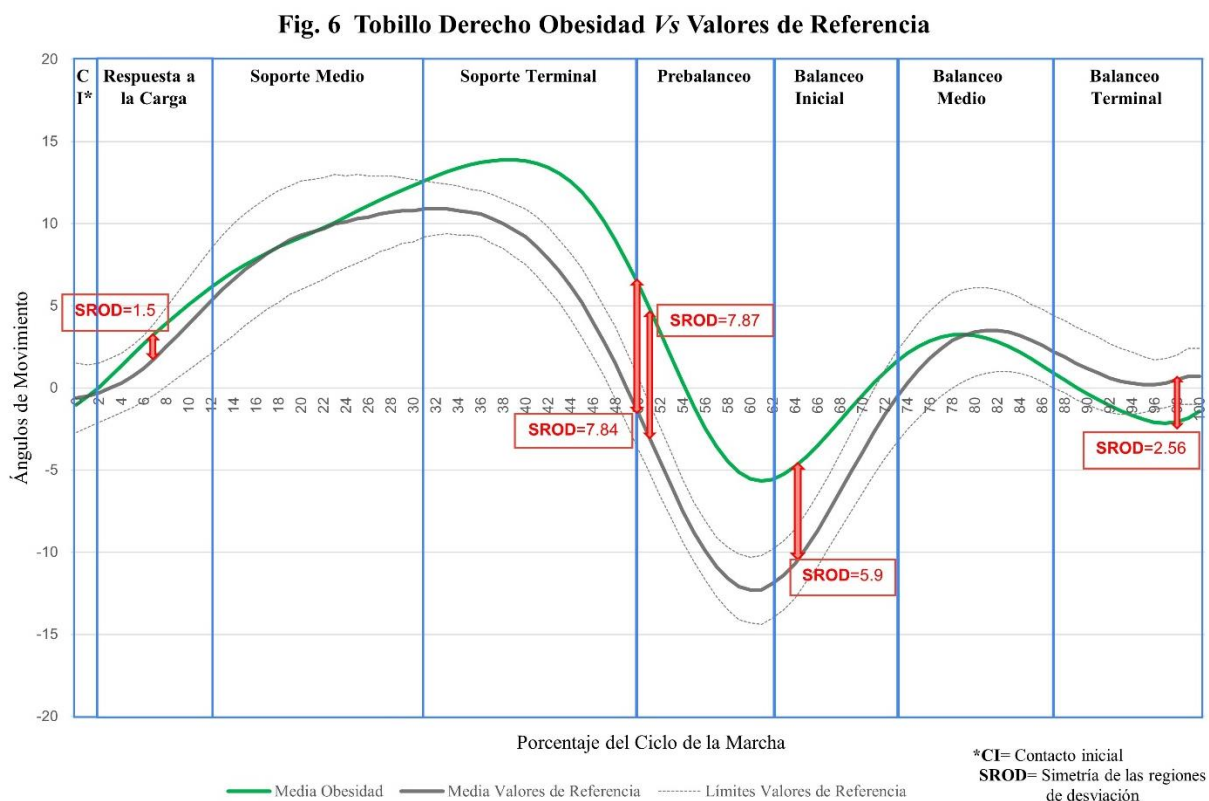
Movimiento articular de tobillo bilateral comparado con el derecho en escolares con obesidad

La figura 5 muestra los rangos de desviación calculados a través del método SROD, en la que observamos simetría del movimiento de ambos miembros pélvicos desde el contacto inicial hasta el inicio del soporte terminal, mostrando a partir del 12-40% del ciclo leve asimetría del movimiento de hasta 1.23° , volviéndose posteriormente simétrico durante la generación del movimiento de flexión plantar previo al despegue del pie y mostrando asimetría del movimiento en las últimas subfases siendo esta de hasta 1.24° en el 95% del ciclo de la marcha. Las desviaciones estándar (DS) presentan mayor dispersión del lado derecho en las fases de soporte terminal (32-50% del ciclo de marcha) con un valor máximo de 8.97° , prebalanceo (51-62% del ciclo de marcha) con un valor máximo de 9.40° y balanceo inicial (63-73% del ciclo de marcha) con valor máximo de 7.35° . Mientras que del lado izquierdo se presentan durante las fases de soporte terminal y prebalanceo correspondientes al 46-71% del ciclo de marcha de alrededor de 6.16 - 9.32° .



Movimiento articular de tobillo derecho comparado los valores de referencia

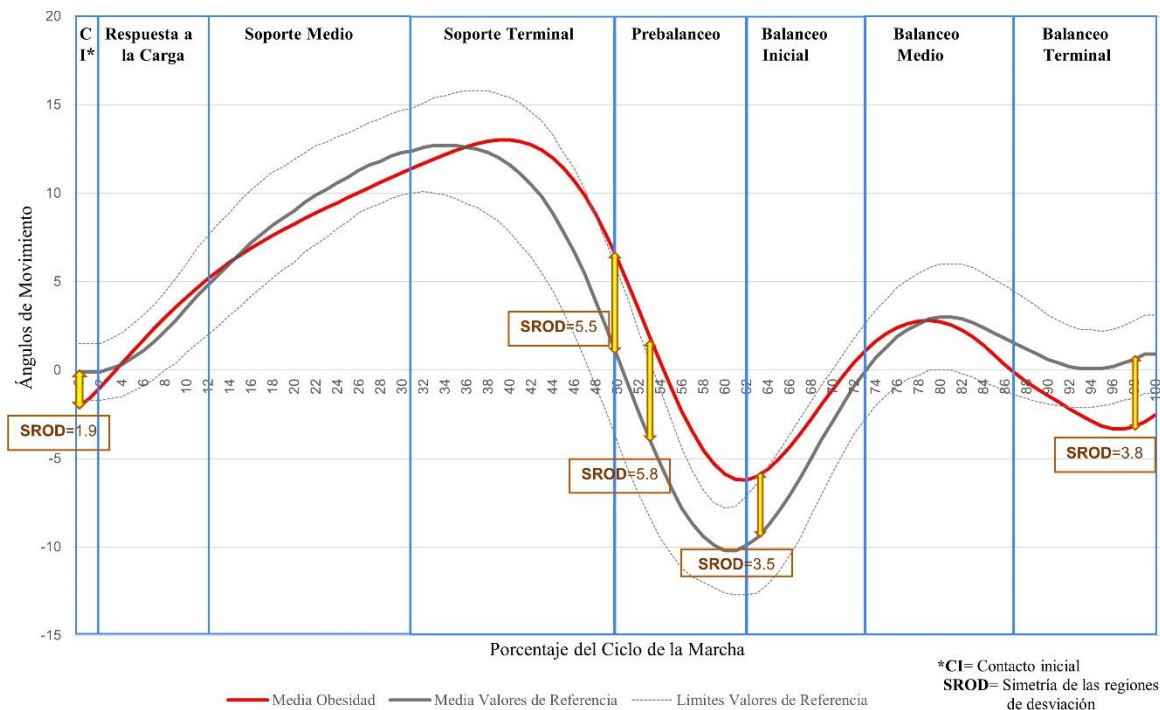
La figura 6 muestra el movimiento del tobillo derecho con respecto a los valores de referencia, en donde se observan asimetrías en prácticamente todo el ciclo de la marcha, sobre todo durante el movimiento de dorsiflexión, siendo estas mayores durante el soporte terminal 7.84° y prebalanceo de 7.87° (50 y 51% del ciclo de la marcha respectivamente), ambas mostrando dorsiflexión aumentada. Así mismo, se aprecia asimetría en el pico de la plantiflexión durante el despegue del pie llegando a diferir hasta 5.9° (64% del ciclo de la marcha) hacia la dorsiflexión y, durante el balanceo medio y terminal se aprecia asimetría de hasta 2.56° (98% del ciclo de la marcha) con tendencia a la plantiflexión.



Movimiento articular de tobillo izquierdo comparado con los valores de referencia

El movimiento del tobillo izquierdo comparado con los valores de referencia se muestra en la figura 7, apreciándose asimetría a partir del pico de dorsiflexión durante la fase del soporte terminal hasta el balanceo medio, teniendo los puntos de mayor asimetría en el pico de plantiflexión de 5.8° (53% del ciclo de la marcha) y durante el balanceo inicial de 3.49° (en el 63% del ciclo), ambas con tendencia hacia la dorsiflexión, además se aprecia que al final del ciclo existe asimetría con tendencia a la plantiflexión de hasta 3.8° (98% del ciclo) con respecto a los valores de referencia.

Fig. 7 Tobillo Izquierdo Obesidad Vs Valores de Referencia



Discusión

El objetivo del presente estudio fue describir el movimiento articular de los tobillos de escolares con obesidad durante las fases de la marcha desde el enfoque de la simetría.

Los principales hallazgos de nuestro estudio fueron la falta de simetría de ambos tobillos durante el soporte terminal, prebalanceo y balanceo inicial con respecto a los valores de referencia, observando la mayor asimetría durante el despegue del pie.

Además, encontramos falta de simetría en el movimiento del tobillo derecho comparado con el tobillo izquierdo al inicio de ciclo de marcha, así como durante el balanceo inicial, regresando a ser simétrico durante la fase de transición en el despegue del pie e inicio del balanceo.

Pau M *et al* 2021, reportaron asimetría durante la flexión dorsal al inicio del ciclo de la marcha y un aumento de esta al inicio del balanceo y final del ciclo en pacientes con obesidad comparado con pacientes normopeso, sin embargo, los pacientes evaluados en este estudio fueron adultos, por lo que, la diferencia de edades los hace poco comparables. (31)

Por su parte, Pulido Valdeolivas *et al* 2013, encontraron asimetrías durante la dorsiflexión máxima en la fase de apoyo y en fase de balanceo del tobillo en escolares normopeso, por lo que la edad puede ser un factor relevante en la presencia de alteraciones del movimiento de los tobillos. (70)

Aun cuando el incremento de peso se ha asociado fuertemente al desarrollo de alteraciones en la marcha desde etapas temprana de la vida, existen algunas otras teorías que podrían explicar la falta de simetría en el movimiento articular de los tobillos en escolares. Una de

ellas es la propuesta por McMilan *et al* 2010, quienes sugirieron que la debilidad de los músculos extensores de la cadera provoca limitación en la flexión plantar como fenómeno compensatorio, lo cual concuerda con nuestros hallazgos en lo que se refiere al movimiento de plantiflexión. Romkes *et al* 2015, apoyan también que la limitación del movimiento del tobillo durante el despegue del pie sugiere una afectación en la función de los músculos plantiflexores con predominio del movimiento dorsiflexor. Naderi, *et al* 2020 y Koushyar *et al* 2017, lo atribuyeron también a la fatiga muscular de los pacientes con obesidad por disminución de la fuerza en los músculos flexores plantares y/o un aumento en la pronación del pie con una deficiente propulsión durante su despegue. (40, 41,75,76)

Zhao *et al* 2016, por su parte, reportó que los movimientos de flexoextensión de tobillos no son los únicos afectados por la obesidad, sino también los movimientos de inversión y eversión por la reducción del movimiento en la articulación subtalar lo cual sugiere inestabilidad del tobillo y mayor riesgo de caídas. Todo lo anteriormente descrito sugiere que la obesidad en cualquier etapa de la vida puede favorecer la modificación del eje mecánico del miembro inferior afectando otras articulaciones como las rodillas y caderas de estos pacientes con riesgo de desarrollo temprano de artrosis articular. (48)

A pesar de los hallazgos mencionados, reconocemos que una limitación de nuestro estudio fue el tamaño de muestra la cual estuvo relacionada con la falta de asistencia de estos pacientes al hospital durante la primera y segunda ola de la pandemia por el alto riesgo de contagio.

Sin embargo, nuestro estudio es pionero en la descripción de la falta de simetría del movimiento articular de los escolares obesos y realiza una aportación de las subfases de la marcha en donde las asimetrías se hacen más evidentes en estos escolares. En estudios previos se ha reportado la asimetría de la marcha mediante la implementación de la metodología SROD en condiciones de salud como la enfermedad de Parkinson o adultos sanos que son diferentes a la condición de salud considerada en esta investigación. El método de análisis de la simetría de las regiones de desviación (SROD) permite evaluar la simetría de la marcha de manera cuantitativa. También el método permite identificar las fases y subfases donde mayormente se presentan las asimetrías de movimiento, proporcionando la magnitud y duración de estas que, comparado con otras metodologías de análisis carecen de precisión o bien, tienden a ser muy detalladas y dificultan su comprensión.

Finalmente, similar a las investigaciones llevadas a cabo por Shorter *et al* 2008, y Park K *et al* 2016, nosotros recomendamos la metodología SROD como un método preciso y accesible para la identificación de asimetrías durante el ciclo de la marcha y durante las subfases de esta, las cuales pueden impactar en la integridad de las articulaciones de los miembros inferiores en distintas etapas de la vida. (77,78)

A partir del presente trabajo se sugiere del desarrollo de nuevas investigaciones al respecto, para responder cuestionamientos relacionados con la asimetría de movimiento permitida en pacientes escolares y su posible repercusión en la funcionalidad del individuo a largo plazo. Dichas investigaciones contribuirán al desarrollo de nuevos tratamientos fisioterapéuticos para la reeducación de la marcha, así como la prevención de futuras lesiones

musculoesqueléticas que puedan ocasionarse por la falta de simetría en el movimiento de tobillos durante la marcha en escolares con obesidad.

Conclusión

Existe falta de simetría del movimiento de los tobillos de los escolares con obesidad durante las distintas subfases de la marcha, con mayor asimetría durante el despegue del pie. El método ROD es preciso y accesible para evaluar el movimiento articular en estos pacientes. Recomendamos evaluar la fuerza y el estado articular en estos pacientes que expliquen también el involucro de estas estructuras en la simetría del movimiento de los tobillos.

Referencias

1. Centros de Control y Prevención de Enfermedades. Índice de masa corporal para niños y adolescentes. [Internet]. 2021 [Consultado 15 octubre 2021]. Disponible en: https://www.cdc.gov/healthyweight/spanish/assessing/bmi/childrens_bmi/acerca_indice_masa_corporal_ninos_adolescentes.html
2. Organización Mundial de la Salud. Curso de capacitación sobre la evaluación del crecimiento infantil. Módulo C Interpretando indicadores de crecimiento. [Internet]. OMS. 2008 [Consultado 15 octubre 2021]. Disponible en: https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2009/Module_C_final.pdf
3. Pérez H A, Cruz L M. Situación actual de la obesidad infantil en México. *Nutrición Hospitalaria*. 2019; 36(2):463–9.
4. Hancox RJ, Poulton R. Watching television is associated with childhood obesity: But is it clinically important? *International Journal of Obesity*. 2006;30(1):171–5.
5. Jiménez PD, Kelly J, Reilly JJ. Associations between objectively measured habitual physical activity and adiposity in children and adolescents: Systematic review. *International Journal of Pediatric Obesity*. 2010;5(1):3–18.
6. Frelut M.L. *Obésité de l'enfant et de l'adolescent*. Elsevier Masson, Paris. *Pédiatrie*. 2009; 4(002):30.
7. Katzmarzyk PT, Pérusse L, Rao DC, Bouchard C. Familial risk of overweight and obesity in the Canadian population using the WHO/NIH criteria. *Obesity Research*. 2000;8(2):194–7.
8. Bell CG, Walley AJ, Froguel P. The genetics of human obesity. *Nature Reviews Genetics*. 2005; 1;6(3):221–34.
9. Gregory JW. *Brook's clinical paediatric endocrinology, 5th Edition*. Archives of disease in childhood. 2006; 1;91(6):546–546.
10. Shrewsbury V, Wardle J. Socioeconomic status and adiposity in childhood: A systematic review of cross-sectional studies 1990-2005. Vol. 16, *Obesity*. 2008. 275–84.
11. Galván-Portillo M, Sánchez E, Cárdenas C LM, Karam R, Claudio L, Cruz M, Burguete G AI. Dietary patterns in Mexican children and adolescents: Characterization and relation with socioeconomic and home environment factors. *Appetite*. 2017; 121:275–84.
12. Lobstein T, Brinsden H. *Atlas of childhood obesity* [Internet]. 1st Ed. London: World Obesity; 2019. Disponible en: www.worldobesity.org
13. Shamah-Levy T, Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas-Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, Gaona-Pineda EB, Lazcano-Ponce E, Martínez-Barnetche J, Alpuche-Arana C, Rivera-Dommarco J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020 sobre Covid-19. Instituto Nacional de

- Salud Pública. [Internet]. México; 2021 [Consultado 2021 Nov 21]. Disponible en:
<https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2020/doctos/informes/ensanutCovid19ResultadosNacionales.pdf>
14. Shamah-Levy T. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Presentación de resultados. INEGI [Internet]. México; [Consultado 2021 Nov 21]. Disponible en:
https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf
 15. Lee EY, Yoon KH. Epidemic obesity in children and adolescents: Risk factors and prevention. Vol. 12, *Frontiers of Medicine*. Higher Education Press; 2018. 658–66.
 16. Singh B, Takeda MM, Niino MF, Goulart JD, Hammons AJ, Roos JM, Yack HJ. The effects of adiposity, muscular strength, cardiorespiratory fitness, and fatigue on gait biomechanics in overweight and obese children. *Clinical Biomechanics*. 2021;1;84.
 17. Oviedo G, Marcano M, Morón De Salim A, Solano L. Exceso de peso y patologías asociadas en mujeres adultas. *Nutrición Hospitalaria*. 2007; 22; (3); 358-62.
 18. Tishukaj F, Shalaj I, Gjaka M, Wessner B, Tschan H. Lower limb force and power production and its relation to body composition in 14-to 15-year-old Kosovan adolescents. *Advances in physical education*. 2021;11(1):61–81.
 19. Cory S, Ussery-Hall A, Griffin-Blake S, Easton A, Vigeant J, Balluz L, Garvin W, Greenlund K. Prevalence of selected risk behaviors and chronic diseases and conditions. *MMWR Surveill Summ*. 2010; 24; 59 (8): 1-37
 20. Mokdad AH. The behavioral risk factors surveillance system: past, present, and future. 2009; Disponible en: www.annualreviews.org
 21. Augusto G, Sastre B. Relación del sobrepeso y la obesidad con problemas de flexibilidad, resistencia muscular y alteraciones posturales lumbopélvicas. *Revistas Udea Edu*. 2018; 1 (4): 31-42
 22. Duvigneaud N, Matton L, Wijndaele K. Relationship of obesity with physical activity, aerobic fitness and muscle strength in Flemish adults. *J Sports Med Phys Fitness*. 2008;48(2):201–10.
 23. Gilleard W, Smith T. Effect of obesity on posture and hip joint moments during a standing task, and trunk forward flexion motion. *International Journal of Obesity*. 2007; 27;31(2):267–71.
 24. Bernard PL, Geraci M, Hue O, Amato M, Seynnes O, Lantieri D. Effects de l'obésité sur la régulation posturale d'adolescentes. Étude préliminaire. *Annales de readaptation et de Medecine Physique*. 2003;46(4):184–90.
 25. Corbeil P, Simoneau M, Rancourt D, Tremblay A, Teasdale N. Increased risk for falling associated with obesity: Mathematical modeling of postural control.

- Vol. 9, IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering. 2001.
26. Cifuentes C, Martínez F, Romero E. Análisis teórico y computacional de la marcha normal y patológica: una revisión. *Revista Med.* 2010;18(2).
 27. Devita P, Hortobágyi T. Obesity is not associated with increased knee joint torque and power during level walking. *Journal of Biomechanics.* 2003 Sep 1;36(9):1355–62.
 28. Vismara L, Romei M, Galli M, Montesano A, Baccalaro G, Crivellini M, Grugni G. Clinical implications of gait analysis in the rehabilitation of adult patients with “Prader-Willi” Syndrome: A cross-sectional comparative study (“Prader-Willi” Syndrome vs matched obese patients and healthy subjects). *J Neuroeng Rehabil.* [Internet] 2007; [Consultado diciembre 2021] 10; 4:14. Disponible en: <http://www.jneuroengrehab.com/content/4/1/14>
 29. Villarrasa SI, Serra AP, Pardo IA, González LM, García MX. Relationship between body composition and vertical ground reaction forces in obese children when walking. *Clinical Biomechanics.* 2017 1; 41:77–81.
 30. Bonet SB, Quintanar RA, Alavés BMA, Martínez OJ, Espino HM, Pérez L, Picarzo FJ. Presencia de genu valgum en obesos: causa o efecto. *Anales de pediatría.* 2003;58(3):232–5.
 31. Pau M, Capodaglio P, Leban B, Porta M, Galli M, Cimolin V. Kinematics adaptation and inter-limb symmetry during gait in obese adults. *Sensors.* 2021,1;21(17).
 32. Steinberg N, Nemet D, Pantanowitz M, Eliakim A. Gait pattern, impact to the skeleton and postural balance in overweight and obese children: A Review. Vol. 6, *Sports.* 2018.
 33. Sadeghi H, Prince F, Zabjek KF, Sadeghi S, Labelle H. Knee flexors/extensors in gait of elderly and young able-bodied men (II). *Knee.* 2002;9(1):55–63.
 34. Sadeghi H, Prince F, Sadeghi S, Labelle H. Principal component analysis of the power developed in the flexion/extension muscles of the hip in able-bodied gait. *Medical Engineering & Physics.* 2000 Dec; 22(10):703–10.
 35. Hsiao-Wecksler ET, Polk JD, Rosengren KS, Sosnoff JJ, Hong S. A review of new analytic techniques for quantifying symmetry in locomotion. *Symmetry (Basel).* 2010, 14;2(2):1135–55.
 36. Sadeghi H. Local or global asymmetry in gait of people without impairments. *Gait & Posture.* 2003;17(3):197–204.
 37. Sánchez S, Navarro N, García N, Ojeda B, Caballero R. Bases biomecánicas del tobillo [Internet]. *Canaria España;* 2011[Consultado 2022 Jun 21]. Disponible en: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/5754/6/0514198_00024_0002.pdf
 38. Martín NA, Calvo AJL, Orejuela RJ, Barbero IFJ, Sánchez SC. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología.* Elsevier [Internet]. 1999

- [Consultado 2022 May 15]. Vol. 2; 44–49. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-fisioterapia-kinesiologia-176-articulo-fases-marcha-humana-13012714>
39. Kapandji AI. Marcha. En: *Fisiología Articular*. 6th Ed. España: Editorial Médica Panamericana; 2010.
 40. Romkes J, Schweizer K. Immediate effects of unilateral restricted ankle motion on gait kinematics in healthy subjects. *Gait & Posture*. 2015;41(3):835–40.
 41. Mcmillan AG, Pulver AME, Collier DN, Williams DSB. Sagittal and frontal plane joint mechanics throughout the stance phase of walking in adolescents who are obese. *Gait & Posture*. 2010;32(2):263–8.
 42. Maffei C, Schutz Y, Schena F, Zaffanello M, Pinelli L. Energy expenditure during walking running in obese and nonobese prepubertal children. *The Journal of Pediatrics*. 1993; 123 (2)
 43. Plas F., Viel E. B. La marcha humana: Cinesiología dinámica, biomecánica y patomecánica. 1 ed. Vol. 1. Paris, Francia: Masson, S.A.; 1984.
 44. Neumann D.A. *Fundamentos de Rehabilitación Física: Cinesiología del sistema musculoesquelético*. Vol. 85. Paidotribo; 2007. 612.
 45. Arellano JC, Medellín HI, Cervantes JJ. Identificación y análisis de los parámetros biomecánicos utilizados para la evaluación de la marcha humana normal y patológica. *Memorias del XXV Congreso Internacional Anual de la SOMIIM, México*; 2019. 3^a
 46. Moreno AV, Gutiérrez GE, Moreno P JC. Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Rev. Ing. Biomed*. 2008; 2 (3): 16-26.
 47. Sutherland BH, Olshen R, Cooper L, Woo S. The development of mature gait. *J Bone Joint Surg Am*. 1980. 62 (3): 336-53
 48. Zhao X, Tsujimoto T, Kim B, Katayama Y, Wakaba K, Wang Z, Et Al. Effects of increasing physical activity on foot structure and ankle muscle strength in adults with obesity. *Journal of Physical Therapy Science*. 2016;28(8):2332–6.
 49. Tishukaj F, Shalaj I, Gjaka M, Wessner B, Tschan H. Lower limb force and power production and its relation to body composition in 14-to 15-year-old Kosovan adolescents. *Advances in Physical Education*. 2021;11(01):61–81.
 50. Messier SP, Ettinger WH, Doyle TE, Morgan T, James MK, O’Toole ML, Burns R. Obesity: Effects on Gait in an Osteoarthritic Population. *Journal of Applied Biomechanics*. 1996 May;12(2):161–72.
 51. Fortin C, Grunstein E, Labelle H, Parent S, Ehrmann Feldman D. Trunk imbalance in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Journal*. 2016 Jun 1;16(6):687–93.
 52. Haro MD. Laboratorio de análisis de marcha y movimiento. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 2014 1;25(2):237–47.

53. Ordóñez R. Frecuencia de las alteraciones de la marcha en niños de 6-10 años obtenidas mediante la aplicación de un análisis cuantitativo de los parámetros espacio-temporales. Universidad Autónoma Del Estado De México; 2014.
54. Collado S. La marcha: Historia de los procedimientos de análisis [Internet]. Biociencias. 2004. Disponible en: <https://revistas.uax.es/index.php/biociencia/article/view/635/591>
55. Viosca H E, Prat P J, Soler G C, Peydro de Moya MF, Vivas B MJ, Pitarch C S, Garrido J JD, López PJ, Baydal B JM, Bermejo BI, Van GK. Valoración funcional cuadernos de biomecánica. Instituto de Biomecánica de Valencia, España; 2010.
56. Armand S, Decoulon G, Bonnefoy M A. Gait analysis in children with cerebral effort. *EFORT Open Reviews*. 2016;1(12):448–60.
57. Prosser LA, Lauer RT, Vansant AF, Barbe MF, Lee SCK. Variability and symmetry of gait in early walkers with and without bilateral cerebral palsy. *Gait & Posture*. 2010;31(4):522–6.
58. Chen G, Patten C, Kothari DH, Zajac FE. Gait differences between individuals with post-stroke hemiparesis and non-disabled controls at matched speeds. *Gait & Posture*. 2005;22(1):51–6.
59. Cimolin V, Cau N, Sartorio A, Capodaglio P, Galli M, Tringali G, Et Al. Symmetry of gait in underweight, normal and overweight children and adolescents. Disponible en: www.mdpi.com/Journal/Sensors
60. Browning RC, Kram R. Effects of obesity on the biomechanics of walking at different speeds. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007;39(9):1632–41.
61. Gows P. Effects of Obesity on the Biomechanics of children's gait at different speeds [Master of Science in Kinesiology]. [Nevada]: University of Nevada; 2010.
62. Sadeghi H, Allard P, Prince F, Labelle H. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: A Review. *Gait & Posture*. 2000;12(1):34–45.
63. Soudan K, Huiskes R, Van Campen DH, De Wijn JR. *Biomechanics: Principles and Applications*. Dordrecht: Springer Netherlands; 1982;1.135–140.
64. Chou LS, Songt SM, Draganich LF. Predicting the Kinematics and Kinetics of gait based on the optimum trajectory of swing limb. Vol. 28, *J. Biomechanics*. 1995.
65. Kutilek P, Viteckova S, Svoboda Z, Smrcka P. Kinematic quantification of gait asymmetry in patients with peroneal nerve palsy based on bilateral cyclograms coordination and coordination variability in human movements. Article in *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions* [Internet]. 2013. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237004255>
66. Hernández SF. Diseño y construcción de prototipo neumático de prótesis de pierna humana [Profesional]. [México]: Universidad de las Américas; 2008.

67. Viteckova S, Kutilek P, Svoboda Z, Krupicka R, Kauler J, Szabo Z. Gait symmetry measures: A review of current and prospective methods. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2018;42:89–100.
68. Jorgensen L, Crabtree NJ, Reeve J, Jacobsen BK. Ambulatory level and asymmetrical weight bearing after stroke affects bone loss in the upper and lower part of the femoral neck differently: Bone adaptation after decreased mechanical loading. *Bone*. 2000;27(5):701–7.
69. Block JA, Shakoor N. Lower limb osteoarthritis: Biomechanical alterations and implications for therapy. *Current Opinion in Rheumatology*. 2010;22(5):544–50.
70. Pulido-Valdeolivas I, Gómez A D, Martín G JA, López LJ, Gómez B E, Sánchez H JJ, Rausell E. Parámetros de marcha en una muestra de referencia de escolares sanos españoles: Descripción multivariante y asimetrías entre ciclos izquierdos y derechos. *Neurología*. 2013;28(3):145–52.
71. Pau M, Leban B, Deidda M, Putzolu F, Porta M, Coghe G, Cocco E. Kinematic analysis of lower limb joint asymmetry during gait in people with multiple sclerosis. *Symmetry*. 2021, 13 (4), 598.
72. Wheelwright EF, Minns RA, Law HT, Elton RA. Temporal and spatial parameters of gait in children. I: Normal control data. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2008; 12;35(2):102–13.
73. Sant’anna A, Salarian A, Wickström N. A new measure of movement symmetry in early Parkinson’s disease patients using symbolic processing of inertial sensor data. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2011;58(7).
74. Sant A, Wickström N. A symbol-based approach to gait analysis from acceleration signals: Identification and detection of gait events and a new measure of gait Symmetry. *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*. 2010;14(5).
75. Naderi A, Baloochi R, Rostami KD, Fourchet F, Degens H. Obesity and foot muscle strength are associated with high dynamic plantar pressure during running. *The Foot*. 2020 1; 44:101683.
76. Koushyar H, Nussbaum MA, Davy KP, Madigan ML. Relative Strength at the Hip, Knee, and Ankle Is Lower Among Younger and Older Females Who Are Obese. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2017 Jul;40(3):143–9.
77. Shorter KA, Polk JD, Rosengren KS, Hsiao-Wecksler ET. A New Approach to detecting asymmetries in gait. *Clinical Biomechanics*. 2008;23(4):459–67.
78. K. Park, R.T. Roemmich, J.M. Elrod, C.J. Hass, E.T. Hsiao-Wecksler. Effects of aging and Parkinson’s disease on joint coupling, symmetry, complexity and variability of lower limb movements during gait, *Clin. Biomech.* (2016); 33 92–97.

Anexo 1. Carta de consentimiento informado



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO



Estimado Señor/ Señora: _____

El Hospital Infantil de México Federico Gómez está realizando un proyecto de investigación titulado: "Asociación entre el sobrepeso u obesidad y alteraciones de la marcha en escolares del Hospital Infantil de México Federico Gómez."

Al cuál queremos invitarlo a participar, no sin antes tenga toda la información al respecto, que a continuación describimos.

El objetivo de este proyecto es evaluar la marcha para conocer las alteraciones que pueda presentar; por medio de 4 cámaras infrarrojas y 1 cámara de video el paciente caminará en ropa interior con marcadores puestos en su cuerpo a lo largo de una plataforma (imagen 1), las cámaras registrarán como camina, se espera que la evaluación de la marcha ayude a conocer si existe alguna alteración en la marcha de su hijo(a).

Para la evaluación se les solicitará que se presente en el edificio de rehabilitación en planta baja, en un horario contemplado de 8:00 am a 16:00 pm, aseado, con ropa cómoda, sin haber ingerido alimento y líquido mínimo 1 hora y media antes del estudio.

Los procedimientos que se realizarán el día de la evaluación son:

1. Se realizará una historia clínica del menor en dónde se aplicaran cuestionarios con preguntas generales referentes a su estado de salud y características como edad, estado civil, actividades que realiza, etc. Cabe mencionar que ninguno de los procedimientos mencionados causa molestias físicas ni ponen en riesgo su salud.
2. El paciente acompañado por su padre/tutor deberá retirarse la ropa (quedándose en ropa interior) para proceder a hacer las mediciones y marcajes que se describen a continuación:
 - a. Medición antropométrica: Se medirán peso, estatura y algunos segmentos/huesos de la pierna.
 - b. Medición de bioimpedancia: se limpiará el dorso de manos y pies con un poco de agua, posteriormente se colocarán parches adheribles en los mismos sitios. Estos parches se conectarán a un bioimpedanciometro que medirá la cantidad de grasa y músculo por medio de una pequeña carga de



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

corriente eléctrica, la cual no se percibirá y no pone en riesgo la salud del su hijo(a). Al finalizar la prueba, se procederá a retirar los parches. Las posibles molestias a percibir son el retiro del parche ya que tiene goma para que se adhiera.

c. Se colocarán marcadores en su cuerpo, para lo cual se pedirá que se recueste estando sobre una camilla.

7. Se le pedirá al paciente caminar la trayectoria (5m) marcada en el laboratorio por la rampa de madera hasta obtener 5 grabaciones válidas (donde se observe 2 pasos continuos).
8. Al concluir con el análisis de la marcha se proseguirá a pedir que se acueste el paciente en la camilla para retirar los marcadores y podrá vestirse.
9. Al terminar las pruebas, se le explicarán los resultados del estudio que se realizó al paciente junto con su padre/tutor y se dará una copia de resultados.
10. En caso de encontrar alteraciones en la marcha los pacientes serán referidos al Departamento de Rehabilitación para la evaluación de su posible manejo.

Se espera que los **beneficios** por participar en esta investigación sean conocer las alteraciones de la marcha y los niveles de su composición corporal como la grasa corporal, la masa muscular total con una precisión adecuada, para que pueda tomar decisiones en el mantenimiento, prevención o mejoría de su estado de salud. Los **riesgos** que puede sufrir al participar de esta investigación son menores a tomarse una radiografía simple. Las **contribuciones para la sociedad** por participar en este estudio son que los hallazgos y resultados del análisis de la marcha ayudan a la rehabilitación para tratarlas de la mejor manera posible.

Sí durante su participación en evaluaciones de la marcha y composición corporal su hijo presentara



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

molestias directas o no directas de estos estudios (como por ejemplo: mareos o náuseas, vértigo) este consentimiento escrito autoriza atenderlo dentro de las instalaciones del Hospital infantil de México en las **Contingencias y Urgencias** que pudieran presentarse durante su participación, atendiendo el principio de libertad prescriptiva por el personal de salud necesario. El Hospital Infantil de México proporcionará el tratamiento Médico o la referencia para a la atención médica apropiada en caso necesario, si hubiere daños comprobados directamente causados por la investigación de la que está participando.

Procedimientos alternativos y costos

Los procedimientos a realizar no tendrán ningún costo para el paciente y no se puede hacer pago de ningún tipo por su participación en este proyecto y el equipo de investigación a cargo no solicitará pago alguno.

Accesibilidad de los investigadores y confidencialidad

Los investigadores de este estudio se comprometen a garantizar las respuestas a cualquier **pregunta, duda y aclaración** acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con esta investigación, así también otorgar **información actualizada** durante la investigación. Usted tiene la **libertad de retirar su consentimiento** en cualquier momento y dejar de participar en la investigación, sin que ello se cree perjuicios para continuar su cuidado y tratamientos en el Hospital Infantil de México o actividades asociadas a esta institución.

De acuerdo a la ley federal de protección de datos personales en posesión de terceros particulares, la información de datos sensibles, como la raza, el estado de salud, se conservará en la base de datos del ordenador o PC que se utilice para dicho propósito en esta investigación, dentro de las instalaciones del Hospital Infantil de México, y que dichos datos solo serán usados con fines académicos y científicos cuidando la **privacidad** e identidad de los participantes, sin develar detalles que los identifiquen en lo posterior.

En el procedimiento del análisis de la marcha, como ya se mencionó, se tomará video donde se capta el rostro del participante; esto pudiera usarse con fines académicos y explicativos con algunas fotos de los participantes explicando el procedimiento, ocultando o desvaneciendo el rostro de las fotografías, sin la posibilidad de identificar los participantes por este medio.

La obtención de datos personales se hará de manera directa por los investigadores responsables, suplentes o participantes y personal adjunto necesario.



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

El titular de los datos personales (del participante) tácitamente autoriza el tratamiento de sus datos por escrito o medios electrónicos o cualquier otra tecnología para los aspectos necesarios de esta o futuros estudios en el Hospital Infantil de México "Federico Gómez" que se beneficien de los resultados de esta investigación, al firmar ésta carta de consentimiento informado. El responsable de los datos personales es investigador titular de esta investigación: D en C. Claudia Gutiérrez Camacho, Jefa de la Unidad de Investigación de Fisioterapia (UNIFIS) de la Licenciatura de Fisioterapia de la UNAM en el Hospital infantil de México "Federico Gómez".

En caso de dudas o aclaraciones sobre la investigación podrá contactar con la D en C. Claudia Gutiérrez Camacho al teléfono 55780024 en un horario de 10:00 a 16:00 horas.



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Fecha: ___ / ___ / 20___, Ciudad de México.

Nombre y Firma del participante (o huella digital y firma de familiar)

Nombre y firma de testigo 1,
Relación con participante:

Responsable de los datos del titular,
D en C. Claudia Gutiérrez Camacho,
Jefa de la Unidad de Investigación de Fisioterapia

Nombre y firma de testigo 2
Relación con participante:

Nombre y firma del Investigador que recibe este
consentimiento

Anexo 2. Carta de asentimiento informado

Anexo 2.



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

CARTA DE ASENTIMIENTO INFORMADO



Estimado niño/niña: _____

El Hospital Infantil de México Federico Gómez está realizando un proyecto de investigación titulado: “Asociación entre el sobrepeso u obesidad y alteraciones de la marcha en escolares del Hospital Infantil de México Federico Gómez”, al cuál queremos invitarte a participar, no sin antes tengas toda la información al respecto, que a continuación describimos.

El objetivo de este proyecto es evaluar la forma en que caminas para conocer las alteraciones que puedas presentar; por medio de cámaras de video en donde caminarás en ropa interior con unas marcas puestos en tu cuerpo a lo largo de una plataforma, las cámaras registrarán como caminas. Además, realizaremos unas preguntas para conocer más sobre:

1. Tu estado de salud y características como edad, actividades que realizas cotidianamente, etc. Cabe mencionar que ninguno de los procedimientos mencionados te causará molestias físicas ni ponen en riesgo tu salud.
2. Acompañado por tu padre/tutor deberás de retirarte la ropa (quedándote en ropa interior) para proceder a hacer las mediciones y marcajes que se describen a continuación:
 - a. Medición antropométrica: Se medirán tu peso, estatura y algunos segmentos/huesos de tu pierna.
 - b. Medición de bioimpedancia: se limpiará el dorso de tus manos y pies con un poco de agua, posteriormente se colocarán parches adheribles en los mismos sitios. Estos parches medirán tu grasa y músculo por medio de una pequeña carga de corriente eléctrica, la cual no la percibirás y no pone en riesgo tu salud. Al finalizar la prueba, se procederá a retirar los parches con mucho cuidado por las posibles molestias al retirarlos.



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD



CARTA DE ASENTIMIENTO INFORMADO

- c. Se colocarán algunas marcas en tu cuerpo para lo cual se te pedirá que te recuestes sobre la camilla.
3. Se te pedirá caminar la trayectoria (5m) marcada en el laboratorio por la rampa de de madera en varias ocasiones.
4. Al concluir el estudio de cómo caminas, se te pedirá que te acuestes en la camilla para retirarte los marcadores y podrás vestirme.
5. Al terminar las pruebas, se te explicarán los resultados de tus pruebas.
6. En caso de encontrar alteraciones en la marcha serás enviado con doctores para tu manejo. Se espera que los beneficios de tu participación sean conocer las alteraciones de la marcha para tu mejora en tu estado de salud.

Los **riesgos** que puedes sufrir al participar de esta investigación son mínimos como una caída, mareo las cuales serán atendidas por el personal médico en forma inmediata en un área de **Urgencias**. Con tu participación **contribuirás con la sociedad** ya que los resultados del estudio ayudarán a la rehabilitación de niños con alteraciones en la marcha.

Procedimientos alternativos y costos

Los procedimientos a realizar no tendrán ningún costo para ti y no se puede hacer pago de ningún tipo por tu participación en este proyecto y el equipo de investigación a cargo no solicitará pago alguno.

Accesibilidad de los investigadores y confidencialidad

En el procedimiento del análisis de la marcha, se tomará video donde se capta tu rostro esto pudiera usarse con fines académicos y explicativos con algunas fotos de los participantes explicando el procedimiento, ocultando o desvaneciendo el rostro de las fotografías, sin la posibilidad de identificar los participantes por este medio. Es importante además, que sepas que puedes retirarte del estudio cuando tu lo decidas sin que se modifique tu atención en el hospital.

En caso de dudas o aclaraciones sobre la investigación podrás contactar con la Dra. Claudia Gutiérrez Camacho al teléfono 5780024 en un horario de 10:00 a 16:00 horas.



HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD



CARTA DE ASENTIMIENTO INFORMADO

Fecha: ___ / ___ / 20___, Ciudad de México.

Nombre y Firma del participante (o huella digital y firma de familiar)

Nombre y firma de testigo 1,
Relación con participante:

Nombre y firma de testigo 2
Relación con participante:

Responsable del proyecto

D en C. Claudia Gutiérrez Camacho,

Jefa de la Unidad de Investigación de Fisioterapia
(UNIFIS) de la Licenciatura de Fisioterapia UNAM
en el Hospital Infantil de México Federico Gómez.

Nombre y firma del Investigador que recibe este
consentimiento