

Efectos del sobrepeso y la obesidad sobre los parámetros biomecánicos de la marcha en niños de Mexicali, B.C.

Effects of overweight and obesity on the biomechanical parameters of gait in children from Mexicali, B.C.

Mirvana Gonzalez-Macias, Fátima Flores, Karla Keys, Emilio Arrayales
Universidad Autónoma de Baja California (México)

Resumen. El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos del sobrepeso y obesidad en el patrón de la marcha en niños y niñas. El grupo de estudio se conformó por 38 participantes, con una edad media (10.39 ± 1.70) años de Mexicali B.C., México. El porcentaje de grasa (36.51 ± 7.10), masa corporal (56.64 ± 19.32) y la clasificación se obtuvieron por bioimpedancia eléctrica con una báscula TANITA BF-689, con un Índice de Masa Corporal (IMC) (26.53 ± 5.21). La evaluación biomecánica de la marcha, se realizó utilizando un sistema de captura de movimiento 3D y plataformas de fuerzas. Dentro de los resultados más importantes se encontraron 28 correlaciones significativas entre los parámetros cinemáticos, espaciotemporales y cinéticos, evaluados en la marcha con el IMC y el porcentaje de grasa con un nivel de significancia ($p < 0.05$). En conclusión, se logró obtener una evaluación completa y detallada de la marcha de los participantes. Esto permitió identificar y analizar de forma precisa los efectos del sobrepeso y obesidad en el ciclo de la marcha, uno de los parámetros que es directamente afectado es el ancho de paso, cadencia de pasos, entre otros, lo cual aporta información valiosa para la comprensión de posibles lesiones. Es importante resaltar que la actividad física, puede tener efectos positivos en las personas que experimentan estas alteraciones.

Palabras claves: Biomecánica, Obesidad, Ciclo de la marcha, Cinemática, Cinética.

Abstract. The objective of this work was to analyze the effects of overweight and obesity on the gait pattern in boys and girls. The study group was made up of 38 participants, with a mean age (10.39 ± 1.70) years from Mexicali B.C., México, the percentage of fat, weight and classification were obtained by electrical bioimpedance with TANITA BF-689 scale, with a Body Mass Index (BMI) (26.53 ± 5.21). The biomechanical evaluation of the gait, it was performed using a 3D motion capture system and force platforms. Among the most important results, 28 significant correlations were found between kinematic, spatiotemporal and kinetic parameters evaluated in gait, BMI and fat percentage with a level of significance ($p < 0.05$). In conclusion, it was possible to obtain a complete and detailed evaluation of the participant's gait. This allowed us to accurately identify and analyze the effects of overweight and obesity on the gait cycle. One of the parameters, which provides valuable information for understanding possible injuries. It is important to highlight that physical activity can have positive effects on people who experience these alterations.

Keywords: Biomechanics, Obesity, Gait cycle, Kinematics, Kinetics.

Fecha recepción: 21-10-23. Fecha de aceptación: 29-03-24

Mirvana Gonzalez-Macias
gonzalez.mirvana@uabc.edu.mx

Introducción

El análisis del movimiento humano, particularmente la marcha, ha cautivado a los estudios a lo largo de la historia. La marcha, que se refiere al proceso de mover el cuerpo hacia adelante mientras se asegura una postura estable, implica el esfuerzo sincronizado de los grupos musculares agonistas y antagonistas. Estos músculos trabajan juntos para impulsar las piernas hacia adelante durante el ciclo de la marcha (Catalá-Vilaplana et al., 2023; Saraiva et al., 2022).

El exceso de grasa corporal en los niños, se presenta cada vez con más frecuencia y está aumentando con el paso de los años; incrementándose a 50 millones de niñas y 74 millones de niños en 2016, indicando un ascenso a nivel mundial de 11 millones en 1975 a 124 millones en 2016. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en los últimos 20 años se han multiplicado por 10 las cifras de niños y adolescentes entre 5 y 19 años que presentan obesidad. La OMS, informando acerca de un estudio realizado en conjunto con el Imperial College de Londres, advierte la posibilidad de que en 2022 exista más población infantil y adolescente con obesidad que con insuficiencia ponderal moderada o grave (OMS, 2017). Además de las cifras a nivel mundial, de acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nu-

trición (ENSANUT) 2006, en México la prevalencia de sobrepeso y obesidad en preescolares fue de 16.7%; en escolares de 26.2%, y en adolescentes de 30.9%, siendo el estado de Baja California Norte y Baja California Sur, los que presentaron la más alta prevalencia de exceso de peso (41.7 y 45.5%, respectivamente) (Barquera et al., 2020). En estudios realizados por (Ávalos et al., 2014), se mencionan datos importantes sobre el sobre peso y la obesidad en México; en 2012, uno de cada tres niños presentaba sobrepeso y obesidad, ocupando el cuarto lugar con niños y adolescentes entre 5 y 17 años con obesidad. En ese mismo año, se registró a Baja California dentro de los 5 estados con un porcentaje mayor de niños en edad escolar con sobrepeso y obesidad; Yucatán (35.9%); Baja California Sur (35.7%); Baja California (35.6%); Distrito Federal (35.2%) y Tamaulipas (31.7%). En el 2018 Baja California ocupa el primer lugar en obesidad infantil a nivel nacional, a nivel estatal Mexicali, B.C., concentra la mayor incidencia de obesidad no solo en adultos, sino también en niños y especialmente en adolescentes. La más reciente ENSANUT, reveló que 3 de cada 10 menores de edad tienen obesidad, la cifra mantiene desde hace años a Baja California en el primer sitio a nivel nacional. El exceso de masa adiposa en niños y adolescentes, afecta su estructura corporal y patrones de movi-

miento, alterando así la mecánica de la marcha y las características cinemáticas, cinéticas y los parámetros espacio-temporales, como en diversas tareas básicas y deportivas. También se relaciona con un incremento de las fuerzas de impacto hacia las articulaciones al caminar y realizar actividades de la vida diaria, lo que aumenta la posibilidad de sufrir lesiones o fracturas (Herlitz et al., 2020; Villarrasa-Sapiña et al., 2016).

En México, los análisis biomecánicos de la marcha se realizan en mayor medida dentro del área médica y de rehabilitación, puesto que tienen el objetivo de brindar una alternativa de tratamiento más óptima a niños con trastornos músculo-esqueléticos específicos (Chiza Mejías, 2018) o niños que perdieron alguna extremidad inferior (Correa et al., 2003). El propósito del análisis biomecánico de la marcha es obtener valores estándar que describen la marcha infantil de niños mexicanos “sanos” y de esta manera tener un punto de comparación en hospitales o institutos de rehabilitación (Villalobos et al., 2005).

El estudio de la marcha juega un papel crucial en la comprensión de los patrones de caminar y su relación con la biomecánica. También contribuye al desarrollo de intervenciones para individuos con trastornos del movimiento. Sorprendentemente, en Baja California, ha habido una falta de estudios biomecánicos enfocados en la marcha en niños y adolescentes. Esta brecha en la investigación es particularmente notable teniendo en cuenta los avances tecnológicos en este campo. Además, es importante mencionar que estas evaluaciones se realizaron después de un periodo de confinamiento por el COVID-19, durante el cual los niños tuvieron una actividad física limitada. Dados estos factores, se necesitan más investigación para explorar científicamente el impacto del peso y el porcentaje de grasa corporal en la mecánica de la marcha en los niños.

Materiales y métodos

Participantes

Se realizó un estudio tipo descriptivo, de corte transversal, correlacional y con características descriptivas. Treinta ocho participantes, (hombres $n = 21$, edad = 10.10 ± 1.84 años), masa corporal: 55.97 ± 23.13 kg, talla: 1.43 ± 0.13

m y (mujeres $n = 17$, edad = 10.76 ± 1.48 años), masa corporal: 57.48 ± 13.90 kg, talla: 1.46 ± 0.10 m, participaron en el estudio. Los padres dieron su consentimiento informado para que su hijo participara en este estudio. El presente estudio fue aprobado y registrado en la Coordinación General de Posgrado e Investigación de la Universidad Autónoma de Baja California, con el código 149 /724 /E, de acuerdo con los principios éticos de investigación en seres humanos de la declaración de Helsinki (Puri et al., 2009). Los criterios de exclusión fueron, si los participantes presentaban desnutrición o normopeso, alguna discapacidad motriz o lesión en los últimos seis meses. El principal criterio de inclusión fue que presentaran sobrepeso u obesidad.

Procedimientos

La evaluación de la marcha se realizó en el laboratorio de biomecánica y ergonomía en la Facultad de Deportes, campus Mexicali, de la Universidad Autónoma de Baja California. Todas las mediciones se llevaron a cabo durante el mes de mayo a noviembre de 2021. Se hizo un expediente para cada participante, obteniendo género, edad, estatura. A través de impedancia dieléctrica con la TANITA BF-689, se determinó la composición corporal, el peso en kg, porcentaje de grasa y clasificación. Los datos cinemáticos, cinéticos y espaciotemporales, se recopilaron utilizando un sistema de análisis de movimiento 3D (Vicon Motion System, Oxford, UK) equipado con once cámaras infrarrojas Bonita 10b, dos cámaras de video Bonita 720c, con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. El registro cinético de las fuerzas de reacción del suelo, se llevó a cabo con cuatro plataformas de fuerza (OR6-6, OR6-7, Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, USA), con una frecuencia de 1000 Hz. Todos los equipos fueron sincronizados y analizados a través del software Vicon Nexus (versión 2.11, Vicon Motion System, Oxford, UK). Asimismo, se obtuvieron las medidas antropométricas (tabla 1). Usando Plug-in Gait del modelo de Helen Hayes, se colocaron 39 marcadores esféricos reflectantes pasivos de un diámetro de 14mm en puntos anatómicos específicos, como se presenta en la figura 1. El espacio experimental fue un área de 6 m de largo y 4 m de ancho. Los participantes vestían ropa elástica deportiva.

Tabla 1.

Promedios, desviaciones estándar y límites de confianza de las medias (95%) de las dimensiones antropométricas y biomédicas de los participantes

Características	(n = 38)		(IC 95%)
Edad, (años)	10.39 ± 1.70		(10.80, 12.28)
Género, n (%)			
Femenino	17(38)		
Masculino	21(38)		
Talla, (cm)	144.22 ± 11.99		(144.09, 151.31)
Masa, (kg)	56.64 ± 19.32		(50.29, 62.99)
% de grasa	36.51 ± 7.10		(34.17, 38.84)
IMC, k/m^2	26.53 ± 5.21		(24.82, 28.25)
	Izquierdo	Derecho	
Longitud de pierna (cm)	77.69 ± 7.42	77.70 ± 7.41	(75.25, 80.13) (75.26, 80.14)
Diámetro de rodilla (cm)	9.97 ± 1.32	9.95 ± 1.36	(9.54, 10.41) (9.50, 10.40)
Diámetro de tobillo (cm)	6.31 ± 0.54	6.31 ± 0.52	(6.13, 6.49) (6.13, 6.48)
Desplazamiento de hombro (cm)	3.35 ± 0.76	3.32 ± 0.76	(3.10, 3.60) (3.07, 3.57)
Diámetro de codo (cm)	6.56 ± 0.66	6.57 ± 0.68	(6.34, 6.78) (6.34, 6.79)
Diámetro de muñeca (cm)	6.56 ± 0.66	5.15 ± 0.47	(6.34, 6.78) (4.99, 5.31)
Espesor de mano (cm)	2.62 ± 0.28	2.63 ± 0.27	(2.53, 2.72) (2.54, 2.72)

cm = centímetro; kg = kilogramo

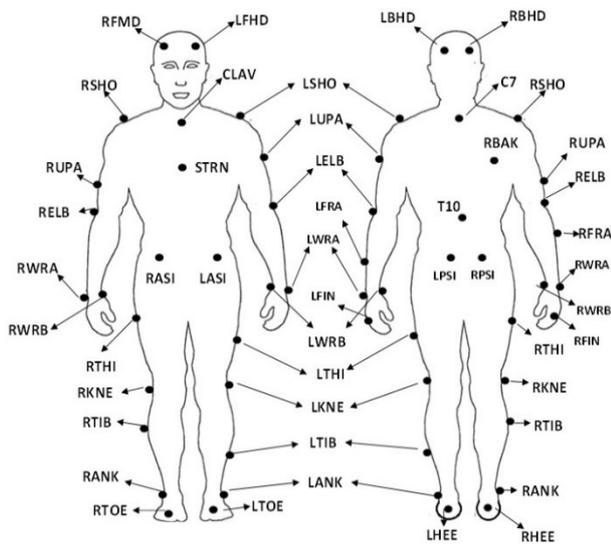


Figura 1. Modelo de cuerpo completo de Helen Hayas, que ilustra la colocación de los marcadores reflectantes pasivos (vista anterior y posterior) (Gonzalez-Macias et al., 2022)

Durante las pruebas de la marcha, se les indicó a los participantes caminar descalzos a lo largo del laboratorio a una velocidad autoseleccionada, iniciando siempre con el pie (derecho), sin mirar al suelo. Se realizaron cinco grabaciones de la marcha de cada participante, se descartó la primera (primer contacto con la tecnología) y la última (por alguna fatiga o cansancio que se llegara a presentar). Para el análisis biomecánico se obtuvieron 3 zancadas completas. Se analizaron las variables longitud de zancada, longitud de paso, velocidad del centro de masa, cadencia, tiempo de doble apoyo, las variables cinemáticas (ángulo de rodilla, ángulo de cadera y ángulo de tobillo) y las variables de fuerza de los tres componentes Fx (medio lateral), Fy (anteroposterior) y Fz (vertical) (Vaverka et al., 2015); de esta manera se obtuvieron los datos y gráficos necesarios para interpretar los resultados con el software Matlab (The MathWorks, 2022).

Análisis estadístico

Todos los resultados se expresan como media, desviación estándar (DE) y los intervalos de confianza (IC) del 95%. Para analizar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los resultados mostraron que nuestros datos se distribuyeron normalmente según la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Por lo tanto, se utilizó el

método paramétrico correlaciones de Pearson, con el fin de identificar las correlaciones entre los parámetros de la marcha con las variables de interés. Las correlaciones se definieron como muy bajo entre 0 a 0.1; bajo con valores de 0.1 a 0.3; moderada entre 0.3 a 0.5; alta entre 0.5 a 0.7; muy alto entre 0.7 a 0.9; y entre 0.9 a 1.0 casi perfecto (Hopkins et al., 2009). Así como una prueba t de Student comparando el lado izquierdo con el lado derecho. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico R (R Core Team, 2017). Para todas las pruebas estadísticas se utilizó el nivel de significación de ($p < 0.05$).

Resultados

Se analizaron a 38 niños, los valores medios y desviaciones estándar de cada dimensión se describen en la tabla 1. En particular, la edad promedio de los participantes fue similar para ambos sexos, con niños con una edad promedio de 10.09 años y niñas con una edad promedio de 10.76 años. Cuando se trata de peso, las niñas tuvieron un valor ligeramente más alto en comparación con los niños (57.47 kg vs 55.97 kg). Del mismo modo, las niñas también presentaron una talla mayor, midiendo (145.81 cm) en promedio, mientras que los niños tenían una talla promedio de (142.94 cm). La clasificación nutricional de los participantes se determinó en base en los valores percentiles del IMC. El 89.47% de los participantes, fueron clasificados en obesidad, con un IMC promedio (27.07 ± 5.25). El 10.53% restante se clasificaron en sobrepeso, con un IMC promedio de (21.92 ± 0.41). Además, se observó que el porcentaje de grasa fue ligeramente mayor en las niñas (37.62 vs 35.62). En términos de medidas antropométricas, las niñas tienen mayor longitud de piernas, desplazamiento de hombros y espesor de mano en ambos lados, mientras que los niños tienen diámetros de rodilla, tobillo, codo y muñeca ligeramente mayores. En la tabla 2 se resume el análisis descriptivo de los parámetros espacio-temporales, cinemáticos, cinéticos del lado derecho y del lado izquierdo, evaluados en los participantes, cabe mencionar que todas las variables cumplieron con una distribución normal. Mediante la prueba t de Student, se obtuvieron diferencias significativas con un $p < 0.05$ en las variables cadencia, velocidad, tiempo de zancada, mediolateral componente Fx Lateral y mediolateral componente Fx Medial.

Tabla 2. Análisis descriptivo de las variables analizadas de la marcha, cinemáticas, espaciotemporales y cinéticas

Variables	Izquierdo	Derecho
Cadencia (pasos/min)	112.38 ± 12.17	102.62 ± 10.32
Velocidad (m/s)	.96 ± .17	.88 ± .16
Tiempo de zancada (s)	1.09 ± .11	1.18 ± .11
Tiempo de paso (s)	.53 ± .058	.55 ± .065
Contacto con el pie opuesto (%)	50.91 ±	52.11 ± 7.94
Longitud de zancada (m)	1.07 ± .12	1.05 ± .13
Longitud de paso (m)	.54 ± .06	.53 ± .06
Ancho de paso (m)	13.86 ± 4.94	14.84 ± 4.69
Ángulo de cadera en fase de apoyo en contacto inicial	31.76 ± 6.51	32.50 ± 6.22
Ángulo de cadera en fase de balanceo	-8.38 ± 7.79	-6.29 ± 7.79

Ángulo de rodilla en fase de apoyo en contacto inicial	.83 ± 6.40	1.69 ± 7.49
Ángulo de rodilla en fase de balanceo	52.36 ± 7.78	54.34 ± 6.68
Ángulo de tobillo en fase de apoyo en contacto inicial	-1.35 ± 3.95	-2.66 ± 6.00
Ángulo de tobillo en fase de balanceo	3.80 ± 3.28	4.53 ± 3.18
Variables		
	Plataforma 2	Plataforma 4
Doble apoyo (paso 1- paso2)	.1716 ± .052	.1697 ± .064
Mediolateral componente Fx Lateral	.015 ± .039	-.002 ± .031
Mediolateral componente Fx Medial	-.014 ± .054	.022 ± .076
Anteroposterior componente Fy Freno	-.17 ± .038	-.17 ± .043
Anteroposterior componente Fy Impulso	.19 ± .06	.18 ± .04
Vertical componente Fz Aterrizaje	1.07 ± .086	1.06 ± .12
Vertical componente Fz Valle	.79 ± .077	.78 ± .10
Vertical componente Fz Impulso	1.01 ± .067	1.00 ± .089

En la tabla 3 presentan las correlaciones de Pearson determinadas entre las variables evaluadas en el ciclo de la marcha con respecto al IMC y porcentaje de grasa. De manera relevante se identificó una relación estadística negativa entre la variable IMC y la velocidad, de igual forma mostró

correlaciones positivas y negativas significativas. Con respecto a la variable porcentaje de grasa, se identificaron diez correlaciones, con las variables cinemáticas, cinéticas y espaciotemporales, quienes presentan un nivel de significancia entre el valor $p < 0.01$ (99%) y $p < 0.05$ (95%).

Tabla 3.

Resultados del análisis de correlaciones de Pearson (r) para las variables IMC, porcentaje de grasa y las variables analizadas de la marcha, cinemáticas, espaciotemporales y cinéticas

Variables	Variables	Pearson
IMC	ACFyFP2	(r = .412; p < .05)
	ACFyFP4	(r = .399; p < .05)
	ACFyIP2	(r = -.369; p < .05)
	ACFyIP4	(r = -.554; p < .01)
	Ancho de paso (Izq)	(r = .564; p < .01)
	Ancho de paso (Der)	(r = .600; p < .01)
	ARDFACI	(r = -.351; p < .05)
	ARDFB	(r = -.505; p < .01)
	Cadencia (Izq)	(r = -.354; p < .05)
	Cadencia (Der)	(r = -.356; p < .05)
	Contacto del pie opuesto (Der)	(r = -.586; p < .01)
	Doble apoyo	(r = .441; p < .05)
	Tiempo de paso (Izq)	(r = .348; p < .05)
	Tiempo de zancada (Der)	(r = .334; p < .05)
	Velocidad (Izq)	(r = -.354; p < .05)
	Velocidad (Der)	(r = -.367; p < .05)
	Porcentaje de grasa	Vertical componente Fz Valle P2
Vertical componente Fz Valle P4		(r = .359; p < .05)
ACFyFP2		(r = .379; p < .05)
ACFyFP4		(r = .403; p < .05)
ACFyIP4		(r = -.471; p < .05)
ATDFACI		(r = -.204; p < .05)
ATIFACI		(r = -.288; p < .05)
Doble apoyo		(r = .526; p < .01)
MCFxMP4		(r = -.339; p < .05)
Velocidad		(r = -.322; p < .05)
Vertical componente Fz Valle P2		(r = .322; p < .05)
Vertical componente Fz Valle P4		(r = .356; p < .05)

Izq = Izquierda, Der = Derecha, ACFyFP2 = Anteroposterior componente Fy Freno Plataforma 2, ACFyFP4 = Anteroposterior componente Fy Freno Plataforma 4, ACFyIP2 = Anteroposterior componente Fy Impulso Plataforma 2, ACFyIP4 = Anteroposterior componente Fy Impulso Plataforma 4, ARDFACI = Ángulo de rodilla derecha en fase de apoyo en contacto inicial, ARDFB = Ángulo de rodilla derecha en fase de balanceo, ATDFACI = Ángulo de tobillo derecho en fase de apoyo en contacto inicial, ATIFACI = Ángulo de tobillo izquierdo en fase de apoyo en contacto inicial, MCFxMP4 = Mediolateral componente Fx Medial plataforma 4.

Discusión

El objetivo de este estudio fue analizar los efectos del sobrepeso y obesidad en el patrón de la marcha en niños y niñas, considerando el IMC y el porcentaje de grasa corporal. Resulta importante mencionar que la muestra del estudio, no eran físicamente activos dado que venían de un periodo de confinamiento por el COVID-19. Estudios previos han observado resultados similares a los encontrados en este estudio. Hills y Parker, examinaron las diferencias cinemáticas entre niños obesos (n = 10) y niños con normopeso (n = 4), encontraron en su pequeña muestra que los niños obesos tenían velocidades más bajas y mayor inestabilidad (Hills

& Parker, 1992). Otra interpretación de estos resultados, podría basarse en una revisión sistemática centrada en resumir las características biomecánicas de los niños y adolescentes con sobrepeso y obesidad en comparación con los de peso normal. Informan de la evidencia consistente que indica que los niños y adolescentes con sobrepeso y obesidad sostienen mayor anchura de paso y tiempo de apoyo como estrategia para adquirir mayor estabilidad, sin embargo, también se menciona la falta de calidad en la evidencia para los otros parámetros espaciotemporales (Molina-García et al., 2019). Dufek en su investigación identificó diferencias en la marcha en la velocidad, ancho de postura, doble

apoyo, fase de balanceo en los adolescentes obesos en comparación con los adolescentes de peso normal (Dufek et al., 2012). Nuestros participantes al igual que los estudios antes mencionados, el 84.21% presentaron un ancho de paso mayor de lo normal (5 a 8 cm) en ambas piernas (Wang & Wang, 2012). La variable IMC, presentó una asociación alta con el ancho de paso izquierdo ($r = .564$; $p < .01$) y con el ancho de paso derecho ($r = .600$; $p < .01$). Ello significa que, a mayor ancho de paso, mayor duración del doble apoyo; lo que implica la duración del doble apoyo aumenta conforme disminuye la velocidad (Schwartz et al., 2008). Se identificó que existe una relación estadística negativa entre la variable del IMC y la velocidad, lo que nos indica, los niños con mayor IMC presentan menor velocidad al caminar. Por otra parte, diferentes estudios proporcionan nuevos conocimientos sobre la relación entre el movimiento angular de las articulaciones de las extremidades inferiores y la grasa corporal. En nuestro estudio se relacionó negativamente con los ángulos del tobillo izquierdo y derecho en flexión dorsal durante la fase de apoyo, lo que podría indicar que el exceso de grasa corporal afecta la movilidad de la articulación del tobillo (Shultz et al., 2014). Se genera el cuestionamiento de si la realización de actividad física a ciertas intensidades es capaz de favorecer la movilidad articular durante la ejecución de la marcha; este argumento no se ha podido debatir con otros estudios.

Los niños con sobrepeso y obesidad suelen presentar alteraciones, se ha observado una flexión excesiva de la rodilla o ángulos reducidos de extensión de la cadera. Las investigaciones indican que los niños con sobrepeso y obesidad tienden a exhibir un aumento de las fuerzas de reacción del suelo, posiblemente debido a mayor masa corporal que presentan (Mahaffey et al., 2018).

Los resultados de varias investigaciones apuntan hacia una relación entre la alteración negativa de los parámetros espaciotemporales, cinemáticos y cinéticos con el exceso de masa grasa y la debilidad muscular, hecho que puede involucrar una falta de estímulo o actividad que propicie una mejora de la fuerza muscular en los niños (McMillan et al., 2010).

Se examinaron las diferencias en la activación muscular de las extremidades inferiores de 20 niños entre 8-12 años con diferente masa corporal durante tres velocidades de marcha (Blakemore et al., 2013); informan que los participantes con sobrepeso registraron un aumento de la actividad en el músculo gastrocnemio durante la fase de apoyo para obtener más estabilidad y propulsión, pero que esta disminuyó en la fase de balanceo como estrategia para ahorrar energía. También se ha publicado sobre una necesidad mayor de fuerza en el músculo glúteo medio en personas con obesidad y que, por lo tanto, podría suponer una debilidad del mismo (Lerner et al., 2014).

Sin embargo, la literatura informa acerca de la poca evidencia científica que vincula directamente las lesiones músculo esqueléticas con las alteraciones en la biomecánica de los obesos (Wearing et al., 2006). Se requiere de más

estudios de alta calidad para analizar la relación entre el sobrepeso y la obesidad con varios padecimientos músculo esqueléticos, fracturas y lesiones desde la niñez (Paulis et al., 2014).

Conclusiones

El exceso de peso ejerce una presión adicional sobre los músculos, huesos y articulaciones al caminar. Lo que provoca velocidades más lentas, cadencia, reducción en el ángulo del tobillo y rodilla, así como un mayor doble apoyo. La realización de actividad física, en particular los ejercicios que abarcan movimientos que involucren todas las articulaciones, puede beneficiar enormemente a las personas afectadas por estas alteraciones. Finalmente, recomendamos programas educativos en las escuelas para detectar problemas posturales y musculoesqueléticos al caminar, ya que esto puede prevenir algunas condiciones que se desarrollan en la vida adulta y la importancia de incorporar la actividad física regular al estilo de vida.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP: Proyecto 511/2021-4030-130). Los patrocinadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio, la recopilación y el análisis de datos, la decisión de publicar o la preparación del manuscrito.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran que no poseen ningún tipo de conflicto de interés, ni financiero, ni personal, que puedan influir en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Ávalos, M. L., Reynoso, L., Colunga, C., Oropeza, R., & González, M. Á. (2014). Relación del Índice de masa corporal, actividades físicas Y sedentarias en escolares. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 17(3). www.revistas.unam.mx/index.php/repww.iztacala.unam.mx/carreras/psicologia/psiclin
- Barquera, S., Hernández-Barrera, L., Trejo-Valdivia, B., Shamah, T., Campos-Nonato, I., & Rivera-Dommarco, J. (2020). Obesidad en México, prevalencia y tendencias en adultos. *Ensanut 2018-19. Salud Publica de Mexico*, 62(6), 682–692. <https://doi.org/10.21149/11630>
- Blakemore, V. J., Fink, P. W., Lark, S. D., & Shultz, S. P. (2013). Mass affects lower extremity muscle activity patterns in children's gait. *Gait and Posture*, 38(4), 609–613. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.02.002>
- Catalá-Vilaplana, I., García-Domínguez, E., Aparicio, I., Ortega-Benavent, N., Marzano-Felisatti, J. M., &

- Sanchis-Sanchis, R. (2023). Efecto del calzado deportivo inestable sobre los impactos de aceleración y la temperatura superficial plantar durante la marcha: un estudio piloto (Effect of unstable sports footwear on acceleration impacts and plantar surface temperature during walking). *Retos*, 49, 1004–1010. <https://doi.org/10.47197/retos.v49.96764>
- Chiza Mejías, P. A. (2018). Caracterización de alteraciones biomecánicas en pacientes con traumatismos músculo-esqueléticos de miembros inferiores, en el área de rehabilitación, hospital San Vicente de Paúl, Imbabura, 2016. In Universidad Técnica del Norte. Facultad Ciencias de la Salud.
- Correa, J.-E., Ávila, C., López, G.-P., Pinzón, C.-P., & Rodríguez, M.-G. (2003). Análisis computarizado de la marcha de amputados transfemoral unilateral con prótesis endoesquelética y exoesquelética. *Revista Ciencias de Salud*, 1(2), 135–150. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-72732003000200003&script=sci_arttext
- Dufek, J. S., Currie, R. L., Gouws, P. L., Candela, L., Gutierrez, A. P., Mercer, J. A., & Putney, L. A. G. (2012). Effects of overweight and obesity on walking characteristics in adolescents. *Human Movement Science*, 31(4), 897–906. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.10.003>
- Gonzalez-Macias, M. E., Villa-Angulo, C., Arrayales-Millán, E. M., & Keys-Gonzalez, K. R. (2022). Biomechanics Assessment of kinematic Parameters of Low-Sprint Start in High-Performance Athletes Using Three Dimensional Motion Capture System. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 43(1), 52–64. <https://doi.org/dx.doi.org/10.17488/RMIB.43.1.5>
- Herlitz, M. J., Rodríguez, J., David, G., Carrasco-Lopez, S., Gomez-Campos, R., Urra-Albornoz, C., Castelli Correia de Campos, L. F., Vega-Novoa, S., & Cossio-Bolaños, M. A. (2020). Relación entre coordinación motora con indicadores de adiposidad corporal en niños (Relationship between motor coordination and body adiposity indicators in children). *Retos*, 2041(39), 125–128. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.78378>
- Hills, A. P., & Parker, A. W. (1992). Locomotor characteristics of obese children. *Child: Care, Health and Development*, 18(1), 29–34. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.1992.tb00338.x>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Lerner, Z. F., Board, W. J., & Browning, R. C. (2014). Effects of obesity on lower extremity muscle function during walking at two speeds. *Gait and Posture*, 39(3), 978–984. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.12.020>
- Mahaffey, R., Morrison, S. C., Bassett, P., Drechsler, W. I., & Cramp, M. C. (2018). Biomechanical characteristics of lower limb gait waveforms: Associations with body fat in children. *Gait and Posture*, 61(January), 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.01.019>
- McMillan, A. G., Pulver, A. M. E., Collier, D. N., & Williams, D. S. B. (2010). Sagittal and frontal plane joint mechanics throughout the stance phase of walking in adolescents who are obese. *Gait and Posture*, 32(2), 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.05.008>
- Molina-Garcia, P., Migueles, J. H., Cadenas-Sanchez, C., Esteban-Cornejo, I., Mora-Gonzalez, J., Rodriguez-Ayllon, M., Plaza-Flrido, A., Vanrenterghem, J., & Ortega, F. B. (2019). A systematic review on biomechanical characteristics of walking in children and adolescents with overweight/obesity: Possible implications for the development of musculoskeletal disorders. *Obesity Reviews*, 1–12. <https://doi.org/10.1111/obr.12848>
- Paulis, W. D., Silva, S., Koes, B. W., & Van Middelkoop, M. (2014). Overweight and obesity are associated with musculoskeletal complaints as early as childhood: A systematic review. *Obesity Reviews*, 15(1), 52–67. <https://doi.org/10.1111/obr.12067>
- Puri, K. S., Suresh, K. R., Gogtay, N. J., & Thatte, U. M. (2009). Declaration of Helsinki implications for stakeholders in research. *Journal of Post-Graduate Medicine*, 55(2), 131–134. <https://doi.org/10.4103/0022-3859.52846>
- R Core Team. (2017). R: A language and environment for statistical computing R Foundation for Statistical. In R Foundation for Statistical Computing (Vol. 2, p. 2019). <https://www.r-project.org/>
- Saraiva, M., Vilas-Boas, J. P., Marouvo, J., & Castro, M. A. (2022). The effect of the motor dual-task on static and dynamic postural control and classification of the motor task difficulty - Systematic Review. *Retos*, 46, 264–274. <https://doi.org/10.47197/retos.v46.93387>
- Schwartz, M. H., Rozumalski, A., & Trost, J. P. (2008). The effect of walking speed on the gait of typically developing children. *Journal of Biomechanics*, 41(8), 1639–1650. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.03.015>
- Shultz, S. P., D'Hondt, E., Fink, P. W., Lenoir, M., & Hills, A. P. (2014). The effects of pediatric obesity on dynamic joint malalignment during gait. *Clinical Biomechanics*, 29(7), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.05.004>
- The MathWorks, I. (2022). MATLAB (R2022b), Natick, Massachusetts (9.13.0; Vol. 0, p. 2022). <https://www.mathworks.com>
- Vaverka, F., Elfmark, M., Svoboda, Z., & Janura, M. (2015). System of gait analysis based on ground reaction force assessment. *Acta Gymnica*, 45(4), 187–193. <https://doi.org/10.5507/ag.2015.022>
- Villalobos, J., Parodi, A., & Díaz, R. (2005).

- Estandarización de valores cinemáticos en niños sanos. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, 17, 47–53.
- Villarrasa-Sapiña, I., Serra-Añó, P., Pardo-Ibáñez, A., Gonzalez, L. M., & García-Massó, X. (2016a). Relationship between body composition and vertical ground reaction forces in obese children when walking. *Clinical Biomechanics*, 41, 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.12.008>
- Wang, X., & Wang, Y. (2012). Gait analysis of children with spastic hemiplegic cerebral palsy. *Neural Regeneration Research*, 7(20), 1578–1584. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5374.2012.20.008>
- Wearing, S. C., Hennig, E. M., Byrne, N. M., Steele, J. R., & Hills, A. P. (2006). Musculoskeletal disorders associated with obesity: A biomechanical perspective. *Obesity Reviews*, 7(3), 239–250. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00251.x>

Datos de los/as autores/as:

Mirvana Gonzalez-Macias	gonzalez.mirvana@uabc.edu.mx	Autor/a
Fátima Flores	fatima.flores23@uabc.edu.mx	Autor/a
Karla Keys	keysk@uabc.edu.mx	Autor/a
Emilio Arrayales	earrayales@uabc.edu.mx	Autor/a