

ANÁLISIS DE LA MARCHA Y LA CARRERA EN EDADES TEMPRANAS EN RELACIÓN AL SEXO Y A LA EDAD. REVISIÓN NARRATIVA.

Pedro José Consuegra González*

Email: consuegragonzalezpj@gmail.com

Juan A. Párraga Montilla*

Email: jparraga@ujaen.es

Pedro Ángel Latorre Román*

Email: platorre@ujaen.es

*Universidad de Jaén (España)

RESUMEN

La carrera y la marcha son Habilidades Motrices Básicas (HMB), que se ven afectadas por cambios en el desarrollo motor y el control neuronal, especialmente en población preescolar. Objetivo: analizar la literatura y evaluar la evidencia sobre las HMB, teniendo en cuenta la influencia del sexo y la edad en edades tempranas. Metodología: se seleccionaron 14 estudios que estudian la influencia del sexo y edad en las HMB en edades de 3 a 16 años, en las bases de datos: Web of Science, Scopus y Pubmed. Resultados: las HMB varían según la condición descalzo o calzado. Durante la carrera, en condición descalzo hay menor prevalencia de Apoyo Retrasado (AR), con disminución en los niños de más de 6 años. Existen diferencias en la prevalencia de AR, aumentando en los participantes de mayor edad, con independencia de su condición en la pisada. Los niños de 3-6 años desempeñaban peor las HMB respecto a los de más de 6 años. Conclusión: Las HMB están condicionadas principalmente por la edad y por el sexo. Se ha evidenciado un aumento significativo de la prevalencia de AR en relación a los niños de mayor edad en la marcha y carrera. Los niños de menor edad desempeñan un peor control sobre los movimientos con peor desempeño de HMB. De manera especial en la carrera, las HMB están condicionadas por el tipo de calzado o por la condición descalzo, existiendo menor prevalencia de AR en condición descalzo.

PALABRAS CLAVE:

Locomoción; equilibrio; patrones de pisada y niños.

ANALYSIS OF GAIT AND RUNNING AT EARLY AGES IN RELATION TO SEX AND AGE. NARRATIVE REVIEW.

ABSTRACT

Running and walking are Basic Motor Skills (BMS), which are influenced by changes in motor development and neural control, especially in the preschool population. Objective: to analyze the literature and evaluate the evidence on HMB, taking into account the influence of sex and age at early ages. Methodology: We conducted a search in three databases: Web of Science, Scopus and Pubmed. A total of 14 studies related with the influence of sex and age (from 3 to 16 years old) on BMS were selected. Results: No differences by sex were observed. The BMS differ according to the barefoot or shoe condition. During the race, in barefoot condition there is a lower prevalence of rear foot strike (RS), with a decrease in children over 6 years old. There are differences in the prevalence of RA, increasing in older participants, regardless of their footfall condition. Children from 3 to 6 years old performed worse on the BMS compared to those older than 6 years old. Conclusion: BMS are conditioned mainly by age and sex. A significant increase in the prevalence of RS in relation to older children in walking and running has been evidence. Younger children perform a worse control over movements with poorer BMS performance. During the race, BMS are conditioned by the type of footwear or by the barefoot condition, with a lower prevalence of RS in barefoot.

KEYWORD

Locomotion; balance; gait patterns and children.

INTRODUCCIÓN.

Existen diversas formas de locomoción humana, siendo las más simples y naturales: andar, trotar y correr, que pueden ser realizadas sin ayuda de elementos artificiales. En las Habilidades Motoras Básicas (HMB) se ven reflejados múltiples factores que inciden en la calidad de vida relacionada con la salud, como son la condición física, el estado de salud del sistema músculo-esquelético, la autonomía personal y diversos factores biomédicos y psicosociales (Vuori, 2020; Nguyen, Obeid, & Timmons, 2011). Se conoce que las HMB mejoran debido al proceso de maduración en los niños (Hausdorff, Peng, Ladin, Wei, & Goldberger, 1995). A los seis años de edad ocurre una transición del control postural global al control selectivo de zonas corporales independientes (Cavanagh & Lafortune, 1980). Durante la maduración, en general, se producen cambios biológicos naturales que afectan al desarrollo de las HMB y estos cambios que aparecen por el crecimiento pueden ser cuantitativos, es decir, con el desarrollo de nuevas habilidades, o cualitativos, como mejoras en habilidades ya adquiridas (Beck, Andriacchi, Kuo, Fermier, & Galante, 1981), aunque el aprendizaje y la experiencia son de gran importancia.

Durante la infancia, el desarrollo se caracteriza por la presencia de cambios significativos en la adquisición de HMB, así como en la maduración del Sistema Nervioso Central (SNC) (Tanaka, Hikiyara, Ohkawara, & Tanaka, 2012). Estos cambios se producen de manera acelerada como consecuencia del proceso de crecimiento y de las modificaciones que se producen en el repertorio motor de los niños, identificándose esta como una etapa clave en el desarrollo humano (Alcántara, Pérez, Lozano, & Garica, 1996). De hecho, la competencia motora, las características morfológicas, fisiológicas y neuromusculares, se ven afectadas por el desarrollo individual del niño (Bartlett, Wheat, & Robins, 2007). Por ello, el dominio de las distintas habilidades, como son: la locomotora, el control de objetos y las habilidades de estabilidad (Bisi & Stagni, 2016), favorecen el desarrollo físico, cognitivo y social en estas franjas de edad, resultando primordial para la adquisición de un adecuado estilo de vida activo (Buck, Hillman, & Castelli, 2008; Hardy, King, Farrell, Macniven, & Howlett, 2010; Lubans, Morgan, Cliff, Barnett, & Okely, 2010).

Cuando los niños comienzan a caminar tienen un control postural inmaduro que provoca fluctuaciones en las zancadas y como consecuencia se producen frecuentes caídas (Brenière & Bril, 1988). El inicio de la marcha implica una transición de una postura inicial de estar de pie hacia la acción motriz de la marcha (Cadenas-Sanchez et al., 2016). Existen estudios donde se analizan los parámetros cinemáticos de la marcha como: la longitud, cadencia, y tiempo del paso, la angulación del apoyo del pie en el suelo, la velocidad, la zancada, la variedad y las asimetrías de la marcha. Sin embargo, no queda del todo claro que la maduración sea la responsable de las variaciones en los parámetros de la marcha (Thevenon et al., 2015). En torno a los 8 años de edad, existen patrones de marcha similares a los de un adulto, mostrando una maduración en la longitud y velocidad del paso, así como en la variabilidad temporal en la duración del ciclo del paso (Corporaal et al., 2018). De ahí, que el análisis de las variables más relevantes sea determinante para obtener información que permita evaluar las capacidades del niño. Entre ellas, cabe destacar la variabilidad del paso, la velocidad del ciclo de paso (Shumway-Cook & Woollacott, 1995), la altura del sujeto, el propio crecimiento (Vaughan, 2003) y los cambios en la concentración, como consecuencia principal

de la influencia de la maduración del SNC (Hausdorff, Zeman, Peng, & Goledger, 1999).

Respecto al análisis de la madurez de la marcha, los principales parámetros cinemáticos utilizados son la longitud de la zancada y la cadencia del paso, que dependen de la altura, del peso y del sexo (Benabdelkaderý, Cutlerp, Davisý, & Research, 2002). La concordancia entre estos parámetros se consigue en torno a los 4 años de edad (Sutherland et al. 1988). A la edad de 5 años es relevante la maduración de la marcha (Grieve & Gear, 1966), aunque otros autores indican una maduración, incluso en niños mayores de 7 años, al observar las relaciones entre los parámetros espaciales y temporales de la marcha (longitud de cadencia/zancada), como característica principal de la marcha (Hillman, Stansfield, Richardson, & Robb, 2009). Por lo tanto, la estructura temporal de las variaciones de la marcha no está generalmente desarrollada en niños de 7 años, mientras que la dinámica de la zancada es similar a la de los adultos en niños de 11 a 14 años (Hausdorff et al., 1999). Estos cambios se asocian a la estructura corporal, con un aumento de la talla y el peso, aunque existen otros que son consecuencia de la maduración del control motor (Sutherland et al. 1988). La información necesaria sobre el control de la marcha nos la ofrece la variabilidad y los valores medios de los parámetros espacio-temporales de la propia marcha (Gouelle, Leroux, Bredin, & Mégrot, 2016), ya que reflejan los aspectos funcionales a tener en cuenta, aunque en algunas ocasiones la función y el control de la marcha no están correlacionados (Gouelle et al., 2013).

La variabilidad, o dicho de otro modo, las fluctuaciones en la constante en los patrones de marcha entre ciclos repetitivos, es específica del sistema sensoriomotor y está condicionada por factores como la edad y la patología (Chisari et al., 2022). A partir de los 3 años de vida, la variabilidad del paso va disminuyendo (Rose-Jacobs, 1983), produciéndose una mejora en el sistema locomotor a medida que avanza el tiempo, gracias al proceso madurativo y a los efectos producidos por el aprendizaje, que permiten modificar los pasos y las fluctuaciones de los primeros ciclos del paso en la infancia. Por ello, la variabilidad de los parámetros espacio-temporales puede considerarse una medida indirecta de la estabilidad de la marcha (Ciprandi et al., 2017) y puede ser reveladora en investigaciones del desarrollo de la marcha madura (Kung, Fink, Legg, Ali, & Shultz, 2019). Existe otro factor que podría intervenir en la madurez de la marcha, que es el índice de marcha o Walk Ratio (WR), un índice calculado de una proporción invariable de longitud de paso, dividida entre la frecuencia del paso, que es independiente de la velocidad del control neuromotor general de la marcha (Sekiya, 1996). Hay infinidad de modificaciones de longitud de paso y cadencia al caminar a una velocidad particular, aunque este índice es independiente de la velocidad del control neuromotor general de la marcha y refleja el equilibrio, el gasto energético, la variabilidad entre pasos y la demanda atencional (Rota, Perucca, Simone, & Tesio, 2011). La identificación del WR puede contribuir a la comprensión del desarrollo del control de la marcha en niños (Hillman et al., 2009).

Mantener el equilibrio durante la locomoción es una habilidad biomecánica compleja, que combina el movimiento hacia adelante del cuerpo, la estabilidad lateral y el sostenimiento del cuerpo sobre una extremidad durante la fase de balanceo (Cavanagh & Lafortune, 1980). En este proceso, la información acumulada, basada en las experiencias motrices, permite realizar correcciones inconscientes para obtener menor variabilidad y conseguir la maduración del

sistema locomotor (Hausdorff et al., 1995), que se produce aproximadamente a los 14 años de edad (Beck, Andriacchi, Kuo, Fermier, & Galante, 1981).

Aprender a caminar o correr supone dominar el Equilibrio Dinámico (ED), que es un proceso largo que continúa durante toda la etapa de la infancia. La locomoción implica un proceso de desequilibrio controlado, ya que cuando un niño comienza a caminar carece de control postural, lo que provoca que se acentúe el desequilibrio o la pérdida de estabilidad postural (Thelen, 1986). De hecho, una estabilidad comprometida puede dificultar la capacidad de los niños para dominar las HMB (Mickle, Munro, & Steele, 2011). Por tanto, el control del equilibrio es esencial en el desarrollo de la locomoción, ya que asegura la estabilidad del cuerpo (Ble et al., 2005). Además, debe considerarse que en el equilibrio se incluye tanto al Equilibrio Estático (EE) como al ED. Así, el control del ED puede ser definido como la habilidad para mantener la estabilidad, prediciendo y reaccionando a los cambios, en el transcurso del cuerpo en movimiento por el espacio (Brenière & Bril, 1988). El ED es fundamental en el desarrollo, además es básico en la vida cotidiana, ya que permite realizar actividades mientras se está en movimiento (Goetz, Schwabova, Hlavka, Ptacek, & Surman, 2017; Latorre-Román et al., 2020). Por ello, la evaluación del ED resulta esencial, especialmente durante la etapa preescolar, debido a que durante este período hay un desarrollo importante de la función nerviosa relacionada con la coordinación y con la capacidad de equilibrio (Kasuga et al., 2012), así como con los cambios que se producen en los parámetros espacio-temporales (Chang, Kubo, Buzzi, & Ulrich, 2006).

Debido a un creciente interés en la relación entre la actividad física y el rendimiento cognitivo en niños (Berrios Aguayo, Pantoja Vallejo, & Latorre Román, 2019; Latorre Román, Pinillos, Pantoja Vallejo, & Berrios Aguayo, 2017; Soga, Shishido y Nagatomi, 2015), se han encontrado evidencias de un mayor desarrollo y organización neuronal, en aquellos que tienen una mayor aptitud física durante los primeros estadios de su vida (Hillman et al., 2009). En esta línea, Wassenberg et al. (2005) mostraron que el progreso de las habilidades cognitivas específicas y el desempeño motor suceden en paralelo. Por tanto, estructuras y sistemas cerebrales específicos, como los ganglios basales o la corteza frontal y la transmisión de la dopamina, estarían implicados en el desempeño cognitivo y motor. En concreto, caminar es una habilidad motora importante para los niños en edad preescolar, porque su repercusión posterior es multidimensional y afecta al desarrollo cognitivo, social y motor (Ulrich, Ulrich, Angulo-Kinzler y Yun, 2001).

Durante la locomoción, el SNC está involucrado para mantener el equilibrio y no tener caídas. Caminar a una velocidad autoseleccionada y superar los desafíos ambientales implica que se realicen alteraciones de la locomoción, dando respuesta a las restricciones que plantea el entorno. A este proceso se le denomina locomoción adaptativa o deambulación funcional (Higuchi, 2013; Kott, Held, Giles, & Franjoine, 2011). De esta manera, el desplazamiento en sí, necesita de la capacidad de adaptar las características de la marcha a las demandas ambientales (Rosso et al., 2019). La marcha compleja, por ejemplo, en la que se incrementa la incertidumbre y hay que evitar, esquivar y superar obstáculos al caminar sin un orden establecido, requiere una carga sensorio-motora mayor que la marcha simple en estado estacionario, que es un movimiento más automatizado, donde se minimiza la incertidumbre y se puede anticipar el movimiento. Por tanto, la marcha compleja se desarrolla en los niveles más altos del SNC, que se desarrolla a lo largo de la infancia y se prolonga hasta la edad adulta (Corporaal, Swinnen, Duysens, &

Bruijn, 2016). La complejidad de la marcha es un parámetro relevante del desarrollo de la locomoción humana durante la vida, que va disminuyendo, desde la marcha inmadura a la madura y viceversa, nuevamente, durante la vejez (Bisi & Stagni, 2016). Caminar con el añadido de evitar obstáculos, hace que esto sea un proceso laborioso, especialmente para los niños en edad infantil (Pryde, Roy, & Patla, 1997). De hecho, se ha comprobado que existe una importante asociación entre una mayor complejidad de la marcha y una mayor actividad cortical (Malouin, Richards, Jackson, Dumas, & Doyon, 2003). En este sentido, caminar a través de obstáculos, como subir una acera, subir escaleras, desplazarse por diversas superficies, evitar peligros, evitar caídas, etc., está asociado con la función ejecutiva, focalizándose la atención en estímulos relevantes y en las habilidades visoespaciales (Ble et al., 2005; Maidan et al., 2016; Raffegeau et al., 2019).

En niños, la depuración de una buena técnica de la carrera va asociada al proceso de maduración del sistema locomotor y al aprendizaje. De hecho, una deficiente técnica de carrera puede conllevar a la aparición de lesiones en las extremidades inferiores. Numerosos autores (Latorre Román et al., 2019; Larson et al., 2011; Hasegawa et al., 2007; Kelly, Farris, Lichtwark, & Cresswell, 2018), indican que el tipo de apoyo del pie en el suelo es considerado como uno de los factores que más influyen en las lesiones que se producen durante la carrera en niños. En sus análisis, clasifican los PP en tres categorías, dependiendo de la orientación del pie en el contacto inicial con el suelo: el apoyo del retropié o talón (AR), el apoyo del mediopié o zona central (AM) y el apoyo adelantado (AA), que se produce al aterrizar con el metatarso y que parece ser característica propia de la evolución humana (Daoud et al., 2012). El apoyo de AR, que se asocia a una mayor carga vertical, con mayores fuerzas de impacto que producen una onda de estrés que viaja a través del cuerpo (Alcántara, Pérez, Lozano, & Garica, 1996) y que produce mayor rigidez en el tobillo (Hamill, Gruber, & Derrick, 2014; Lieberman, Venkadesan, Werbel, Daoud, D'Andrea, et al., 2010), asociándose a un mayor riesgo de lesión músculo-esquelética (Daoud et al., 2012). El AR es típico de la forma de correr actual por muchos deportistas (Lieberman, 2014). Sin embargo, actualmente las HMB de carrera de los niños, podrían estar influenciadas por el uso del calzado, especialmente por el uso de zapatillas de deporte, que están acolchadas o con determinados sistemas de suspensión, lo que provoca un aumento significativo de la tasa de AR (Kaplan, 2014), que está asociado a un mayor riesgo de lesión (Hollander, Riebe, Campe, Braumann, & Zech, 2014; Wegener et al., 2011; Van Gent et al., 2007). El ángulo que forma el pie de contacto respecto al suelo, se suele analizar en estudios de PP. En el estudio de Paquette, Milner, & Melcher (2017), se correlaciona significativamente ($p < 0,001$) el ángulo que forma el pie de contacto en el suelo con corredores que utilizan mayor prevalencia de AR, respecto a las lesiones sufridas. Una ejecución deficiente, en relación al ángulo del pie en el contacto con el suelo, podría ser un factor de riesgo a tener en cuenta.

La velocidad en la realización de los pasos durante la carrera es uno de los Parámetros Espacio Temporales (PET) que más condiciona el resultado en un desplazamiento. Se caracteriza por su gran variabilidad al comparar diferentes pasos, si bien, se observa que se produce una reducción sucesiva en la variabilidad de la velocidad para diferentes grupos de edad de entre 1 a 15 años (Kung, Fink, Legg, Ali, & Shultz, 2019; Hussain, Anayat Hussain, & Ahmad, 2016; Müller, Müller, Baur, & Mayer, 2013). La velocidad en la carrera influye en el resto de PET, de manera que, a una mayor velocidad, la fase de apoyo se realiza en un tiempo menor y mayor, en la fase de oscilación. Una menor velocidad, modificará a la

inversa las fases del ciclo de pisada, es decir, se produce un mayor tiempo de la fase de apoyo y un menor tiempo de la fase de vuelo. Además, los cambios producidos en la velocidad, afectan al producto de la frecuencia y de la longitud de paso en la carrera. Por tanto, los cambios de velocidad provocan una alteración de la biomecánica y de los PET, como frecuencia de paso, la longitud de paso o ambos.

Un mayor conocimiento acerca de las HMB y de los aspectos que las condicionan, como la velocidad, la condición calzado o descalzo, la variabilidad y los patrones de pisada, permitirían afianzar estrategias eficaces que los expertos podrían utilizar para obtener mejoras en la salud de la población en edad infantil. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar la literatura y evaluar la evidencia sobre las HMB, teniendo en cuenta la influencia del sexo y la edad en edades tempranas.

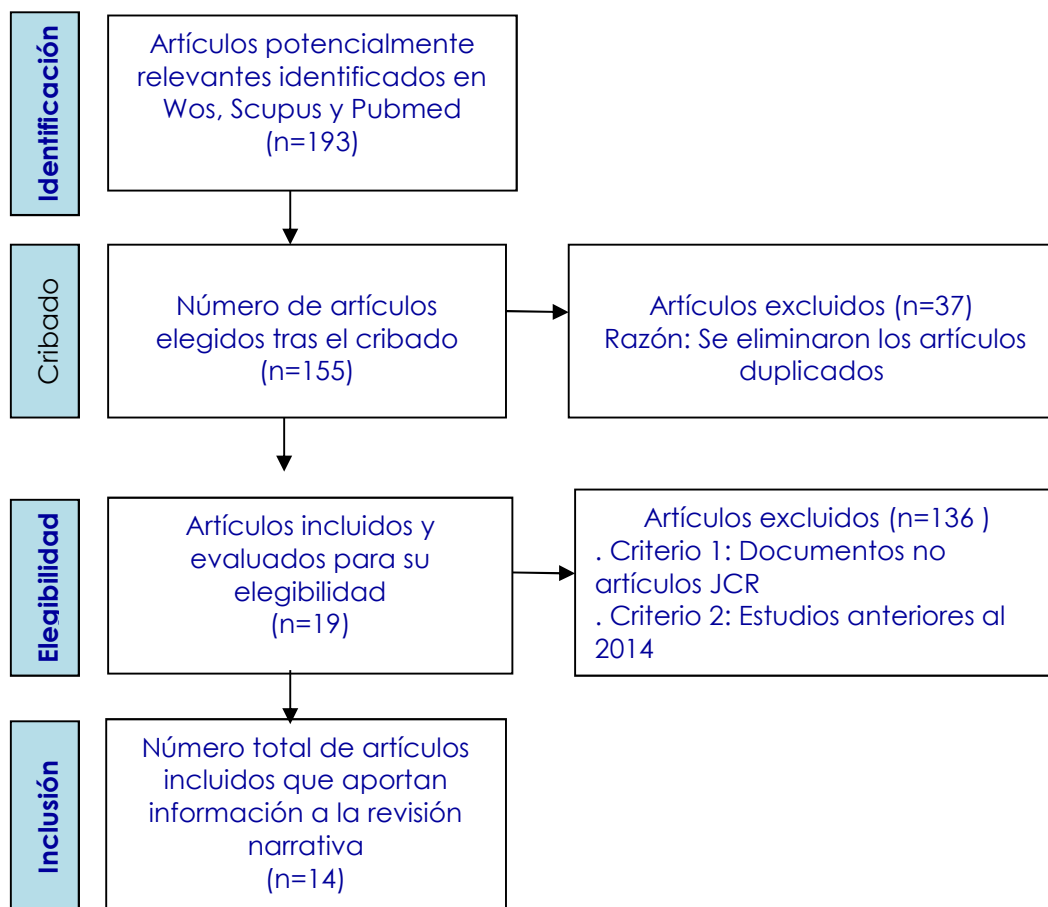
1. METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de información de la temática objeto de este estudio entre los años comprendidos entre 2014 y 2022, al objeto de obtener información actualizada de los últimos años. Para ello, se emplearon los motores de búsqueda de las bases de datos Web of Science (ISI), Scopus y Pubmed en julio del 2022. Las palabras clave fueron combinadas en las distintas bases de datos y la sintaxis en la utilización de conectores booleanos para los motores de búsqueda fueron: ("gait balance" OR "complexgait" OR "gaitvariability" OR "gaitpattern*" OR "running pattern*" OR "running kinematics" OR "gaitkinematics") AND ("children*") NOT ("obesity") NOT ("cerebral palsy") NOT ("autism") NOT ("patient*") NOT ("backpack").

Los estudios seleccionados para la revisión fueron identificados en la búsqueda en base a su ubicación dentro del área de ciencias sociales y salud humana, con idoneidad del contenido e inclusión de artículos originales indexados en el periodo seleccionado sin restricciones de búsquedas respecto a lenguaje. Todos los estudios incluidos aportaban conocimiento científico sobre las diferentes HMB seleccionadas durante la carrera o la marcha en niños sanos, teniendo en cuenta las diferencias de sexo y edad, siendo elegibles los estudios que abarcaban a participantes de entre 3 y 16 años. Se excluyeron resúmenes, revisiones narrativas, revisiones sistemáticas o meta-análisis, así como estudios que no estaban bien definidos o que tenían como objetivo el análisis de patologías o enfermedades. Por último y por efecto "bola de nieve", se analizaron las listas de referencias de los artículos seleccionados uno a uno (Figura1). Se seleccionaron un total de 19 artículos de texto completo, descartándose 5 que no cumplían adecuadamente con los criterios establecidos. Como criterios de inclusión, se consideró que los artículos seleccionados estuvieran publicados en revistas con factor de impacto JCR, entre los años 2014 y 2022; que la población analizada no presentara patologías que pudieran afectar a los patrones de marcha y/o carrera y que la metodología empleada fuera similar en todos ellos. Finalmente, se seleccionaron 14 trabajos, los cuales abarcaban un total de 5916 participantes (3116 niños y 2800 niñas), que se han incluido en esta revisión narrativa. En la realización del estudio se siguieron las recomendaciones éticas aprobadas en la Declaración de Helsinki (versión 2013).

Figura 1.

Diagrama de flujo de los artículos identificados y revisados.



2. RESULTADOS

Con la finalidad de evaluar la evidencia actual sobre las HMB de la carrera y la marcha, teniendo en cuenta la influencia del sexo y la edad, en niños sanos, los 14 artículos analizados se presentan en la Tabla 1. Se indica la referencia del artículo en orden cronológico por antigüedad, el objetivo, y las características de la muestra. En total, en los 14 estudios, participaron 5916 niños y niñas (3116 niños y 2800 niñas), sanos y con edades comprendidas entre los 3 y 16 años.

Tabla 1:

Características de los estudios analizados, con descripción de la muestra, objetivo y metodología.

Estudio	Muestra	Edad (años)	Objetivo	Metodología
Hollander et al., (2014)	N=36 ♀ 22 ♂ 14	6-9	Comparar la biomecánica de marcha de niños preadolescentes corriendo calzado o descalzos	Comparación tres condiciones en cinta rodante: calzados, calzados con amortiguación y descalzos.
Kung, Fink, Hume, & Shultz, (2015)	N=13 ♀ 7 ♂ 6	9-11	Comparar cinemática y cinética de articulaciones de extremidades inferiores en la marcha descalzo y calzado en niños.	Datos cinemáticos 3D y GRF durante 5 min. de marcha descalzo y calzado. Se analizaron momentos articulares máx., el impulso angular y la energía mecánica en la cadera, rodilla y tobillo.

Latorre-Román et al., (2020)	N=593 ♀ 303 ♂ 290	3-6	Analizar el rendimiento de TEV según edad y sexo proporcionando valores de referencia y analizar la fiabilidad y validez de esta prueba.	El TEV se utilizó para evaluar ED, midiendo la distancia, tiempo y el nº de pasos.
Latorre-Román et al., (2020)	N=1040 ♀ 511 ♂ 529	3-6	Diseñar y validar el TMC en niños en edad preescolar y examinar la relación entre el rendimiento del Test y la edad, el sexo y el funcionamiento cognitivo.	Pruebas de ED estandarizadas y de funcionamiento cognitivo.
Hussain et al., (2016)	N=12 ♀ 6 ♂ 6	5-6	Investigar la influencia de los PET en la velocidad de la carrera en escolares.	Videos de alta velocidad de 10m. Los PET se registraron en un ciclo de carrera completo.
Murphy (2017)	N=276 ♀ 115 ♂ 61	8-19	Determinar los efectos agudos del sprint descalzo y en el calzado para correr sobre el rendimiento de sprint de 10m y 20 m, los PET y PP.	Videos de alta velocidad de 2 carreras de velocidad de 20m. saliendo de pie en descalzo y en condición calzado. Se midieron tiempos de 10m. y 20m., frecuencia de pisada, SL, FT, GCT y se determinó el PP.
Latorre-Román et al. (2017)	N=713 ♀ 302 ♂ 411	6-16	Determinar los PP y el apoyo neutral y sin rotación del pie en los niños, así como determinar la influencia de la condición de calzado/descalzo y el sexo.	Videos de alta velocidad de AR, AM, AA, inversión/eversión y la rotación del pie en el IC.
Mizushima et al., (2018)	N=94 ♀ 43 ♂ 51	6-12	Determinar las posibles diferencias en la cinemática de velocidad de los niños calzados habitualmente entre condiciones calzadas y descalzo.	Videos de alta velocidad de sprint en aterrizaje y despegue del pie analizando PET, cinemática de cada pierna de PP: AR, AM y AA.
Latorre-Román et al., (2018)	N=1356 ♀ 683 ♂ 673	3-6	Determinar los PP y el apoyo neutral en niños en edad preescolar, así como determinar la influencia de la condición de calzado y descalzo y el sexo.	Videos de alta velocidad de la carrera para registrar las variables: AR, AM, AA.
Hollander et al., (2018)	N=101 ♀ 46 ♂ 55	10-14	Investigar la relación entre un índice de arco medido dinámicamente y la biomecánica de carrera en niños sanos.	La distribución plantar se utilizó para determinar el índice de arco dinámico y la grabación 3D de carrera.
Hollander et al., (2018)	N=678 ♀ 334 ♂ 343	6-18	Investigar los efectos de hábitos calzado en los PP de niños y adolescentes.	Videos de alta velocidad del trote y carrera en 20m. para determinar el PP de cada pierna y la probabilidad de AR.
Miyamoto et al., (2018)	N=24 ♀ 0 ♂ 24	10-11	Aclarar si los PP del pie están asociados con diferente rendimiento de velocidad y cinemática en niños preadolescentes.	Videos de alta velocidad de sprint 50m. Las variables cinemáticas se calcularon por puntos de referencia corporales.
Latorre-Román et al., (2019)	N=932 ♀ 406 ♂ 526	3-16	Determinar los PP, Rpic y rotación del pie de los niños en relación con la edad. La proporción de AR sería menor en edades tempranas que la proporción de Rpic y ninguna rotación del pie sería mayor.	Videos de alta velocidad de la carrera. Se registraron: AR, AM, AA, Rpic, inversión/eversión.
Plessek et al., (2020)	N=48 ♀ 22 ♂ 26	3-6	Comparar PP en diferentes grupos de edad de niños en edad preescolar mientras corrían condición calzado y descalzo.	Analizaron el índice de impacto y el ángulo del tobillo de 6 pruebas de carrera en condición calzado y descalzo en 3D.

AA: Apoyo Adelantado; AM: Apoyo Medio; AR: Apoyo Retrasado; CGT; Tiempo de contacto con el suelo; ED: Equilibrio Dinámico; IC: Índice de Contacto; FT: Fligh Time; N: Tamaño de la muestra; PET: Parámetros Espacio-Temporales; PP: Patrón de pisada; Rpic: Posición del retropié en contacto inicial; SL: Longitud del paso; TMC: Test de Marcha Compleja; TC: Tiempo de Contacto; TEV: Test Equilibrio de la Viga.

Tabla 2:

Resumen de resultados y conclusiones de los diferentes estudios analizados.

Estudio	Resultados	Conclusiones
Hollander et al., (2014)	Diferencias entre condiciones en el ángulo del tobillo al recepcionar el pie con el suelo, así como del ángulo de la rodilla, GRF de impacto, AR, longitud del paso, SL y cadencia.	La carrera (preadolescentes) está influenciada por zapatillas acolchadas
Kung, Fink, Hume, & Shultz, (2015)	Hay diferencias cinemáticas y cinéticas durante la absorción del peso y la propulsión. Calzado provocó una flexión máxima de la cadera, flexión de rodilla, dorsiflexión del tobillo e inversión subastragalina más que descalzo. Calzado hubo mayor momento dorsiflexor máximo, impulsos del extensor de la cadera y del dorsiflexor del tobillo, generación y absorción de energía por los extensores de la cadera y los extensores de la rodilla, respectivamente. Al caminar descalzo hubo extensión máxima de cadera y rotación interna, flexión plantar del tobillo, eversión subastragalina y aducción del pie. La condición descalzo indujo aumentos en el impulso flexor de la cadera, el momento inversor subastragalino y generación de energía por flexores plantares e inversores del tobillo.	Reducir la SL y una mayor superficie del pie en el IC puede ayudar a reducir las GAR y mejorar la absorción de impactos en descalzo. En condición calzado, el peso corporal modifica su estructura del mediopie y crea dependencia del calzado. Cambios en la cinemática articular alteran las fuerzas al caminar descalzo y calzado, como modificar los PET o el lugar donde las fuerzas actúan sobre el pie en el IC o una combinación de ambas.

Latorre-Román et al., (2020)	No se encontraron diferencias significativas para sexo en TEV. La edad tuvo efectos positivos en TEV en distancia, tiempo, y nº de pasos. No hubo diferencias significativas entre grupos de edad y sexo. El test mostró confiabilidad aunque el error estándar de medición es mayor en la distancia alcanzada que en el nº de pasos o en tiempo. Se encontró una correlación entre TEV y el Test de EE.	Los valores de referencia para los niños en edad preescolar podrían usarse para monitorear el desarrollo de ED. Es necesario valorar la distancia alcanzada, el tiempo empleado y nº de pasos para obtener una medida más precisa de ED.
Latorre-Román et al., (2020)	El test-retest mostró un coeficiente de correlación intraclase de 0,901. Una correlación significativa entre la prueba inicial y la nueva prueba y entre el TMC y la prueba de ED, prueba del Laberinto de Porteus y se encontró la prueba de dibujo de Goodenough-Harris. Los niños mostraron un mejor desempeño que las niñas.	El TMC mostró una excelente fiabilidad y validez en niños en edad preescolar y puede servir como un biomarcador potencial en el desarrollo cognitivo.
Hussain et al., (2016)	La longitud de zancada se correlaciona significativamente con la velocidad de carrera. El resto de PET seleccionados, excepto la longitud de la zancada, muestran una relación insignificante.	La evaluación de PP de carrera en niños debe considerar la velocidad para detectar enfermedades neurológicas.
Murphy, (2017)	Diferencias significativas entre la condición descalzo y calzado en sprint de 10m. y 20m. de niños y adolescentes y en los PET medidas. Las diferencias del sprint y los PET se debieron a la masa del zapato y no a las diferencias de PP causadas por el calzado. El cambio de la condición calzada a la condición descalzo, provocó una disminución significativa en la prevalencia de AR del 57% al 27% y un aumento significativo en la prevalencia de AA/AM del 43% al 73%. La condición calzado alentó una tasa significativa más alta de AR y la condición descalzo una tasa significativa más alta de AA/AM.	Cambios al correr calzado y descalzo. Efecto agudo en sprint en los PET y los PP de participantes. Sprint descalzo es ligeramente más rápido que calzado, pero solo en niños y adolescentes en condición descalzo. Mayor riesgo de lesiones en superficie plantar al cambiar de manera aguda a descalzo a alta velocidad.
Latorre-Román et al. (2017)	La prevalencia de AR es similar entre sexos en condición calzado y descalzo. En descalzo hubo reducción significativa de AR en niños y niñas. No hay diferencias significativas en inversión/eversión y rotación del pie entre sexos. En la condición descalzo hubo aumento significativo del apoyo neutral.	En niños, la prevalencia de AR es menor que la de la población adulta. Correr descalzo redujo la prevalencia de AR e inversión/eversión, aunque aumentó la rotación del pie.
Mizushima et al., (2018)	La carrera descalzo se caracterizó por baja velocidad en sprint de forma significativa y una mayor frecuencia de pisada, una SL y tiempo de apoyo más corto. En condición calzado, el 82% de los niños mostró AR y disminuyó al 29% en condición descalzo. El estado de IC y los posteriores movimientos articulares de las piernas de apoyo y recuperación durante la fase de apoyo se alteraron significativamente al correr descalzo.	Efectos agudos del sprint descalzo se mostraron en velocidades más lentas con cambios en una variedad de PET y cinemática de piernas. No hay diferencias en niños que corren descalzos y qué beneficios y riesgos para el desarrollo pueden surgir al aumentar la carrera descalzo y sprint.
Latorre-Román et al., (2018)	No hubo diferencias significativas entre sexos en ambas condiciones en AR. En descalzo, hubo una reducción significativa de prevalencia de AR. En el apoyo neutral no hubo diferencias entre sexos en ambas condiciones.	No diferencias entre sexos en relación a la prevalencia de AR y AN. Correr calzado altera en mayor medida PP que descalzo, con un aumento significativo de prevalencia de AR.
Hollander et al., (2018)	No se encontró asociación entre el índice de arco dinámico y la tasa de AR. El ángulo de progresión del pie se asoció con el índice de arco dinámico con mayor rotación externa en niños con arco inferior.	Bajas asociaciones entre las características del arco y la biomecánica de carrera en niños. Las características del arco del pie alteradas son de interés clínico.
Hollander et al., (2018)	Los niños descalzos mostraron una mayor probabilidad de utilizar AR que los calzados. La probabilidad dependía de la edad y disminuía en los niños descalzos con la edad.	PP influenciados por la condición calzado. Los más jóvenes en descalzo muestran tasas más altas de AR para correr calzados y descalzos y converge en la adolescencia tardía.
Miyamoto et al., (2018)	Tiempo sprint con AA/AM fue más rápido que con AR. Mayor frecuencia de pisada y menor TC del pie que el grupo AR. Entre el PP y la cinemática del sprint, el grupo de AR tenía mayor rango de flexión de la rodilla en la fase de la pierna de apoyo y el grupo de AA/AM tenía una distancia horizontal más corta desde el talón de apoyo al centro de masas del aterrizaje, mayor velocidad máxima de flexión de la rodilla en la fase de pierna oscilante y mayor velocidad máxima de extensión de la cadera en la fase de pierna de apoyo.	El AA o del AM (en lugar del AR) es efectivo para obtener mayor frecuencia de pisada y velocidad de sprint a través de una mayor magnitud de velocidades de movimiento de flexión de rodilla y extensión de cadera durante las fases de balanceo y apoyo.
Latorre-Román et al., (2019)	Aumento significativo de AR por edad. Preescolares presentan menor AR que los adolescentes. Hubo una reducción significativa de RPic en relación con los grupos de edad. Los preescolares presentaron un RPic del 60,37% y los adolescentes del 10%. Hubo una reducción significativa de no rotación del pie en relación con los grupos de edad; Los preescolares presentaron una prevalencia de no rotación del pie del 48,95% y los adolescentes del 13,55%.	La PP en niños está influenciada por la edad. La prevalencia de AR en niños es menor en comparación con la población adulta.
Plessek et al., (2020)	Existen diferencias en índice de impacto y en plano sagital, pero no encontraron diferencias entre grupos de edad. Hubo interacción entre la edad y las diferentes condiciones en plano sagital.	En los niños en edad preescolar, la PP cambió de manera diferente en ciertos grupos de edad según la condición del calzado.

AA: Apoyo Adelantado; AM: Apoyo Medio; AR: Apoyo Retrasado; EE: Equilibrio estático; ED: Equilibrio dinámico; PET: Parámetros Espacio-Temporales; SL: Longitud del paso; IC: Índice de Contacto; PP: Patrón de pisada; RPic: Posición del retropié en contacto inicial; TEV: Test Equilibrio de la Viga.; TMC: Test de Marcha Compleja.

3. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue analizar la literatura y evaluar la evidencia sobre las HMB, teniendo en cuenta la influencia del sexo y la edad en edades tempranas. Aunque son escasos los estudios en niños de edades tempranas, los analizados en esta revisión muestran como principal hallazgo que las HMB están mayormente condicionadas por el factor crecimiento (Latorre Román, Balboa, & Pinillos, 2017; Hollander et al., 2018; Latorre-Román et al., 2018; Latorre Román et al., 2019). Además, existe una limitada evidencia sobre la influencia que tienen las

características antropométricas (índice de masa corporal) en niños en edad infantil (Hollander et al., 2018; Hollander et al., 2014). En el estudio de Hussain et al., (2016), se indica que niños sanos en edad preescolar de 3 a 6 años, no se correlacionaron con el índice de masa corporal. Sin embargo, en el trabajo de Latorre-Román et al., (2020), los parámetros de equilibrio se correlacionaron con marcadores de crecimiento físico, como son la altura y el peso corporal.

Estudios previos indican que la longitud del paso aumenta con el crecimiento, mientras que la cadencia de paso disminuye (Alderson et al., 2019; Dusing & Thorpe, 2007; Thevenon et al., 2015). Así, niños de 5 a 10 años caminan más pasos por minuto respecto a niños de mayor edad (Voss et al., 2020). En esta línea, otros autores muestran que la variabilidad de la longitud de la zancada disminuyó con el crecimiento. Confirmándose los datos aportados por Gouelle et al., (2016), que observaron que la variabilidad del paso disminuía a lo largo de toda la infancia, aunque de manera más rápida se producía antes de los 7 años, pero que continuaba en los años posteriores. Lo que confirma que el control de la marcha aún no había consolidado la plena maduración. Así mismo, se ha observado que, en las mediciones de la zancada, la variabilidad fue significativamente mayor en los niños de 3 y 4 años en comparación con niños de 6 y 7 años (Hausdorff et al., 1999). Sin embargo, otros autores no encontraron diferencias significativas en los parámetros espacio-temporales de niños de 2 a 4 años (Guffey, Regier, Mancinelli, & Pergami, 2016). De hecho, se preveía que aquellos niños que presentaran una marcha más madura tuvieran una menor variabilidad de los factores de la marcha dentro de una variedad de velocidades, ya que las personas adultas caminan con una alta consistencia de los parámetros de la marcha cuando son expuestas a diversas velocidades de ejecución (Rose-Jacobs, 1983).

El WR es un valor constante en poblaciones sanas y normales, independiente de la edad, la altura, el sexo y la velocidad de la marcha (Sekiya, 1996; Rota, 2011; Sekiya, 1998). En general, la WR es un instrumento de medida para valorar el grado de maduración de la marcha, que se suele obviar sobre todo en niños en edad preescolar. En caso de alteración del control motor, la WR puede disminuir a cualquier velocidad (Rota, 2011) y puede ser característica de la marcha, que continúa madurando hasta los 11 años (Hillman, 2008). Sin embargo, es necesario seguir trabajando para establecer si la WR es un indicador sólido y sensible de la madurez de la marcha, por lo que la identificación de dicho parámetro, puede contribuir a un mejor conocimiento del desarrollo del control de la marcha (Hillman et al., 2009).

En relación a la marcha en la población infantil, se señala al equilibrio como gran indicador del desarrollo motriz (Cumberworth, Patel, Rogers, & Kenyon, 2007). En la infancia, los niños no demuestran ajustes posturales integradores (Hausdorff et al., 1999). Parece plausible que los niños más pequeños (3-6 años) demuestren menor control sobre los movimientos asociados a la marcha, debido a que no tengan los recursos cognitivos adecuados y las estructuras cerebrales inmaduras afecten al rendimiento en una marcha compleja (Corporaal et al., 2018), al equilibrio y a la consolidación de la marcha (Schott & Klotzbier, 2018). En esta línea, un estudio previo analizó la marcha compleja en niños en edad preescolar, diseñando un protocolo específico de evaluación (Latorre-Román et al., 2020), mientras que, en otros estudios, se han analizado pruebas de aptitud para preescolares (Cadenas-Sánchez et al., 2016; Latorre-Román et al., 2015). Del mismo modo, en el estudio de Kasuga, Demura, Aoki, Sato, et al., (2012), se empleó una

metodología mixta, fundamentada en caminar sobre obstáculos, en el que se emplearon tareas con desequilibrio dinámico.

Respecto a la carrera, en el estudio de Perl, Daoud, & Lieberman (2012) se teoriza sobre el estilo de carrera descalzo y su beneficio para prevenir y evitar lesiones, dada la reducción de los picos de impacto producidos contra el suelo y la facilidad de una mayor propiocepción y fuerza del pie. Además, se han encontrado estudios que relacionan los PP y las lesiones en la carrera, que se basan en estudios retrospectivos en adultos (Daoud et al., 2012; Goss & Gross, 2012). En estos estudios, se encuentran tasas significativamente más altas de lesiones en AR, en comparación con AM o AA. La mayoría de los estudios realizados con población adulta, apuntan como causante de las lesiones en carrera a las fuerzas de impacto vertical que se producen en el apoyo del pie con el suelo (Cavanagh & LaFortune, 1980; Lieberman, Venkadesan, Werbel, Daoud, Dandrea, et al., 2010; Zadpoor & Nikooyan, 2011). Por ello, adoptar diferentes PP puede ser una estrategia plausible para modificar las fuerzas de impacto verticales. Por otro lado, se debe incidir en la importancia que tiene la prevalencia de AR, en condición calzado o en condición descalzo (Latorre Román, Balboa, & Pinillos, 2017; Hollander et al., 2018; Latorre-Román et al., 2018). De hecho, un estudio previo observó valores altos de AR (85,9%) en la población infantil (Latorre-Román, Párraga-Montilla, Guardia-Monteagudo, & García-Pinillos, 2018). A pesar de esto, muy pocos estudios han investigado el efecto de la PP y las tasas de lesiones en niños, donde se observó que correr descalzo mitigó la prevalencia de AR en niños de 6 a 16 años de edad, por lo tanto, existe una repercusión en la pisada provocada por el calzado durante la infancia y la adolescencia (Hollander et al., 2018; Latorre-Román, Balboa, & García-Pinillos, 2017; Latorre-Román et al., 2018). El mayor uso de AR se puede atribuir al uso de calzado acolchado, que amortigua el impacto y evita el dolor en la zona del talón en el momento del apoyo. Se cree que aproximadamente el 89% de los corredores adultos utiliza este tipo de apoyo (Larson et al., 2011), siendo diferente cuando se trata con una población de niños, siendo el porcentaje de prevalencia de AR muy inferior. Como alcances clínicos, sería conveniente obtener más información sobre PP durante la carrera en niños, ya que puede encauzar a diseños más convenientes del calzado para niños y a un mejor enfoque del papel ejecutado por PP en el desarrollo del pie infantil. Debido a que el PP es modificable durante la ejecución para prevenir o tratar lesiones, comprender las diferencias en la carrera entre los diferentes PP sería útil para recomendar que los niños, al andar o al correr, se ajusten a un patrón que reduzca los picos de impacto. Al apoyar calzado o descalzo, existe una influencia en la carrera de los patrones de pisada y, por tanto, este tipo de factor debe ser controlado en los análisis de carrera.

Plesek et al. (2020), analizaron en niños el ángulo de apoyo en el momento del contacto inicial, evidenciándose la controversia en los hallazgos actuales referentes a la carrera sobre la variabilidad del ángulo de apoyo del pie, ya que algunos estudios advierten que la variabilidad del movimiento ayuda a la distribución de picos de impacto a través de las estructuras, aminorando así el estrés acumulado (Bartlett et al., 2007). Aunque no es evidente que una reducción de la variabilidad sea la causa o el resultado de la lesión (Hamill, Palmer, & Van Emmerik, 2012), otros estudios sugieren que los PP y la variabilidad de movimiento, están asociados al riesgo de lesión durante la carrera. Solo se ha encontrado una prueba de evaluación de habilidades en carreras de obstáculos con niños (Held, Kott, & Young, 2006), la Carrera de Obstáculos Estandarizados para Caminar (SWOC), donde se hace evidente la variabilidad en la pisada, aunque esta prueba

no brinda valores de referencia específicos sobre población preescolar en función del sexo y la edad.

Algunos estudios sugieren el reentrenamiento temprano de la locomoción como estrategia para reducir la prevalencia del AR, no obstante existe gran dificultad para provocar modificaciones en la locomoción. La forma de correr está automatizada y su modificación es compleja (Molina-Molina et al., 2022); Consuegra González et al., 2021; Kaplan, 2014). En esta línea, conocer la técnica correcta de carrera es muy importante para la prevención de lesiones (Greco, Settimo, & Fischetti, 2018). Así, las pruebas de campo en el ambiente natural del niño, como puede ser el colegio, son especialmente importantes cuando se buscan resultados fiables que se asemejen más a la realidad. Además, son necesarias nuevas herramientas o test de evaluación con un protocolo específico, para prevenir las lesiones en este ámbito, ya que actualmente son muchos los niños que participan en actividades deportivas organizadas, lo que resulta en un aumento de las lesiones en las extremidades inferiores (Egger, Oberle, & Saluan, 2019; Krabak, Snitily, & Milani, 2016). A nuestro conocimiento, hasta la fecha de revisión, no existen documentos científicos que analicen las diferentes HMB de los niños o que sintetizen los estudios que indican patrones saludables y apropiados para estas edades.

En cualquier caso, hay que ser cauteloso con el análisis de los resultados de los diversos estudios, ya que están condicionados por los diferentes parámetros de las variables cinemáticas que pueden ser contaminantes al analizar el desplazamiento. Se debe tener en cuenta la falta de estandarización de los métodos encontrados y la diferencia de participantes de unos estudios a otros de la literatura, haciendo difícil la agrupación y comparación de datos. Sin embargo, debe indicarse que los estudios que centren su atención en las HMB deberían estar provistos de test que evalúen directamente los diferentes parámetros de locomoción. Por tanto, creemos que son necesarios nuevos estudios que aporten mayor información sobre las HMB en la infancia, además de nuevas herramientas y test que analicen y evalúen el equilibrio, la coordinación, la marcha compleja, la variabilidad del paso, los patrones de pisada saludables en carrera y la cinemática de la marcha. Estudios que permitan una tipificación y el establecimiento de perfiles de locomoción en población con edades tempranas, tanto en la marcha como en la carrera, en función de las variables predictoras más importantes como son el sexo y la edad, y estableciéndose relaciones con otras variables de interés en el ámbito del desarrollo de los jóvenes, como la salud y calidad de vida. Además, serían interesantes nuevos estudios de intervención con reentrenamiento, que analicen ciertas HMB potencialmente lesivas y observar la evolución de los niños y las niñas, transcurridos unos años para ver el efecto ocasionado por las diferentes HMB y apreciar los cambios producidos en función del sexo y el crecimiento. En definitiva, merece la pena señalar que el resultado del desarrollo de las HMB con la edad puede diferir según el tipo de prueba realizada (Higuchi, 2013).

4. CONCLUSIÓN

Actualmente es limitada la literatura científica centrada en el análisis de las HMB en edades tempranas. Las HMB están condicionadas principalmente por la edad y, en un segundo plano, por el sexo. Se ha evidenciado un aumento significativo de la prevalencia de AR en relación a los niños de mayor edad, tanto en la marcha como en la carrera. En los estudios que empleaban test de evaluación, los niños de menor edad (3-6 años) desempeñaban un peor control sobre los movimientos y, por lo tanto, menor HBM respecto a los de mayores de 6 años. Especialmente en la carrera, las HMB están condicionadas por el tipo de calzado o la condición descalzo, ya que en esta última hay menor prevalencia de AR. Por último, es importante que la información aportada en este trabajo pueda ser tomada en cuenta por los profesionales del deporte, la salud u otras relacionadas, ya que ampliar el conocimiento de las HMB de la marcha y la carrera, podría ayudar a guiar a los niños a la realización de una mejor ejecución de las HMB, ajustada a su edad.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alcántara, E., Pérez, A., Lozano, L., & Garica, A. C. (1996). Generation and transmission of heel strike impacts in children running, footwear and gender influence. In Funchal (Ed.), *In Proceedings of the XIV Symposium on biomechanics in sports*, 297–300.
- Alderson, L. M., Joksaite, S. X., Kemp, J., Main, E., Watson, T., Platt, F. M., & Cortina-Borja, M. (2019). Age-related gait standards for healthy children and young people: The GOS-ICH paediatric gait centiles. *Archives of Disease in Childhood*, 104(8), 755–760.
- Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports biomechanics*, 6(2), 224–243.
- Beck, R. J., Andriacchi, T. P., Kuo, K. N., Fermier, R. W., & Galante, J. O. (1981). Changes in the gait patterns of growing children. *JBJS*, 63(9), 1452–145
- BenAbdelkader, C., Cutler, R., & Davis, L. (2002, May). Stride and cadence as a biometric in automatic person identification and verification. In *Proceedings of Fifth IEEE international conference on automatic face gesture recognition* (pp. 372–377).
- Bisi, M. C., & Stagni, R. (2016). Complexity of human gait pattern at different ages assessed using multiscale entropy: From development to decline. *Gait and Posture*, 47, 37–42.
- Ble, A., Volpato, S., Zuliani, G., Guralnik, J. M., Bandinelli, S., Lauretani, F., Ferrucci, L. (2005). Executive Function Correlates with Walking Speed in Older Persons: The InCHIANTI Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(3), 410–415.
- Brenière, Y., & Bril, B. (1988). Why do children walk when falling down while adults fall down in walking?. *Comptes Rendus de l'Academie Des Sciences. Serie III, Sciences de La Vie*, 307(11), 617–622.

- Buck, S. M., Hillman, C. H., & Castelli, D. M. (2008). The Relation of Aerobic Fitness to Stroop Task Performance in Preadolescent Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1), 166–172.
- Cadenas-Sanchez, C., Martínez-Tellez, B., Sánchez-Delgado, G., Mora-González, J., Castro-Piñero, J., Löf, M., Ortega, F. B. (2016). Assessing physical fitness in preschool children: Feasibility, reliability and practical recommendations for the PREFIT battery. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(11), 910–915.
- Cavanagh, P. R., & Lafortune, M. A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13(5), 397–406.
- Chan, Z.Y.S., Zhang, J.H., Au, I.P.H., An, W.W., Shum, G.L.K., Ng, G.Y.F., & Cheung, R.T.H. (2018). Gait Retraining for the Reduction of Injury Occurrence in Novice Distance Runners: 1-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 46(2), 388–395.
- Chang, C. L., Kubo, M., Buzzi, U., & Ulrich, B. (2006). Early changes in muscle activation patterns of toddlers during walking. *Infant Behavior and Development*, 29(2), 175–188.
- Chisari, C., Morgan, P. E., Malone, A., Tabard-Fougère, A., Rutz, D., Pouliot-Laforte, A., Wegrzyk, J. (2022). Are Clinical Impairments Related to Kinematic Gait Variability in Children and Young Adults With Cerebral Palsy? .
- Ciprandi, D., Bertozzi, F., Zago, M., Ferreira, C. L. P., Boari, G., Sforza, C., & Galvani, C. (2017). Study of the association between gait variability and physical activity. *European Review of Aging and Physical Activity*, 14(1), 1–10.
- Consuegra González, P. J., García-Pinillos, F., Mora López, D. J., Cardona Linares, A. J., Párraga Montilla, J. A., & Latorre-Román, P. Á. (2021). Effects of a 10-week running-retraining programme on the foot strike pattern of adolescents: A longitudinal intervention study. *Gait & Posture*, 83, 147–151.
- Corporaal, S. H. A., Bruijn, S. M., Hoogkamer, W., Chalavi, S., Boisgontier, M. P., Duysens, J., Gooijers, J. (2018). Different neural substrates for precision stepping and fast online step adjustments in youth. *Brain Structure and Function*, 223(4), 2039–2053.
- Corporaal, S. H. A., Swinnen, S. P., Duysens, J., & Bruijn, S. M. (2016). Slow maturation of planning in obstacle avoidance in humans. *Journal of Neurophysiology*, 115(1), 404–412.
- Cumberworth, V. L., Patel, N. N., Rogers, W., & Kenyon, G. S. (2007). The maturation of balance in children. *The Journal of Laryngology & Otology*, 121(5), 449–454.
- Daoud, A. I., Geissler, G. J., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. A., & Lieberman, D. E. (2012). Foot strike and injury rates in endurance runners: A retrospective study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44, 1325–1334.

- Dusing, S. C., & Thorpe, D. E. (2007). A normative sample of temporal and spatial gait parameters in children using the GAITRite® electronic walkway. *Gait & Posture*, 25(1), 135–139.
- Egger, A. C., Oberle, L. M., & Saluan, P. (2019). The Effects of Endurance Sports on Children and Youth. *Sports medicine and arthroscopy review*, 27(1), 35-39.
- Goetz, M., Schwabova, J. P., Hlavka, Z., Píacek, R., & Surman, C. B. H. (2017). Dynamic balance in children with attention-deficit hyperactivity disorder and its relationship with cognitive functions and cerebellum. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 13, 873–880.
- Goss, D. L., & Gross, M. T. (2012). Relationships among self-reported shoe type, footstrike pattern, and injury incidence. *U.S. Army Medical Department Journal*, 25–31.
- Gouelle, A., Leroux, J., Bredin, J., & Mégrot, F. (2016). Changes in Gait Variability From First Steps to Adulthood: Normative Data for the Gait Variability Index. *Journal of Motor Behavior*, 48(3), 249–255.
- Gouelle, A., Mégrot, F., Presedo, A., Husson, I., Yelnik, A., & Penneçot, G. F. (2013). The Gait Variability Index: A new way to quantify fluctuation magnitude of spatiotemporal parameters during gait. *Gait and Posture*, 38(3), 461–465.
- Greco, G., Settimo, M., & Fischetti, F. (2018). Relationship between the correct running technique and lower back well-being perceived by the practitioner. *Journal of Physical Education and Sport ® (JPES)*, 18(3), 1796–1800.
- Guffey, K., Regier, M., Mancinelli, C., & Pergami, P. (2016). Gait parameters associated with balance in healthy 2- to 4-year-old children. *Gait & Posture*, 43, 165–169.
- Hamill, J., Gruber, A. H., & Derrick, T. R. (2014). Lower extremity joint stiffness characteristics during running with different footfall patterns. *European Journal of Sport Science*, 14(2), 130–136.
- Hamill, J., Palmer, C., & Van Emmerik, R. E. (2012). Coordinative variability and overuse injury. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 4(1), 1-9.
- Hardy, King, Farrell, Macniven, & Howlett. (2010). Fundamental movement skills among Australian preschool children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 503–508.
- Hasegawa, H., Yamauchi, T., Kraemer, W. J., (2007). Footstrike patterns of runners at the 15km point during an elite-level half marathon. *Strength And Conditioning*, 21(3), 888–893.
- Hausdorff, J. M., Peng, C. K., Ladin, Z., Wei, J. Y., & Goldberger, A. L. (1995). Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. *Journal of Applied Physiology*, 78(1), 349–358.

- Hausdorff, J. M., Zeman, L., Peng, C. K., & Goldberger, A. L. (1999). Maturation of gait dynamics: Stride-to-stride variability and its temporal organization in children. *Journal of Applied Physiology*, 86(3), 1040–1047.
- Higuchi, T. (2013). Visuomotor control of human adaptive locomotion: Understanding the anticipatory nature. *Frontiers in Psychology*, 4(MAY), 277.
- Hillman, S.J., Stansfield, B.W., Richardson, A.M., & Robb, J.E. (2009). Development of temporal and distance parameters of gait in normal children. *Gait & Posture*, 29(1), 81–85.
- Hillman, S., Stansfield, B., Richardson, A., & Robb, J. (2008). The development of walk ratio in normal children. *Gait & Posture*, Supplement 2(28), S67–S68.
- Hollander, K., De Villiers, J. E., Venter, R., Sehner, S., Wegscheider, K., Braumann, K. M., & Zech, A. (2018). Foot Strike Patterns Differ between Children and Adolescents Growing up Barefoot vs Shod. *International Journal of Sports Medicine*, 39(2), 97–103.
- Hollander, K., Riebe, D., Campe, S., Braumann, K.-M. M., & Zech, A. (2014). Effects of footwear on treadmill running biomechanics in preadolescent children, 40(3), 381–385.
- Hollander, K., Stebbins, J., Albertsen, I. M., Hamacher, D., Babin, K., Hacke, C., & Zech, A. (2018). Arch index and running biomechanics in children aged 10–14 years. *Gait and Posture*, 61, 210–214.
- Hussain, I., Anayat Hussain, S., & Ahmad, F. (2016). Of advanced research influence of spatio-temporal parameters on gait speed in school children. *International Journal of Advanced Research*, 4(4), 768–772.
- Kaplan, Y. (2014). Barefoot Versus Shoe Running: From the Past to the Present. © *The Physician and Sportsmedicine*, 42(1), 30–35.
- Kasuga, K., Demura, S., Aoki, H., Sato, T., Shin, S., & Kawabata, H. (2012). The Effects of Obstacles and Age on Walking Time Within a Course and on a Balance Beam in Preschool Boys. *Advances in Physical Education*, 02(02), 49–53.
- Kelly, L. A., Farris, D. J., Lichtwark, G. A., & Cresswell, A. G. (2018). The Influence of Foot-Strike Technique on the Neuromechanical Function of the Foot. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(1), 98–108.
- Kott, K. M., Held, S. L., Giles, E. F., & Franjoine, M. R. (2011). Predictors of Standardized Walking Obstacle Course Outcome Measures in Children With and Without Developmental Disabilities. *Pediatric Physical Therapy*, 23(4), 365–373.
- Krabak, B. J., Snitily, B., & Milani, C. J. E. (2016). Understanding and Treating Running Injuries in the Youth Athlete. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 4(2), 161–169.
- Kung, S. M., Fink, P. W., Hume, P., & Shultz, S. P. (2015). Kinematic and kinetic differences between barefoot and shod walking in children. *Footwear Science*,

- Kung, S. M., Fink, P. W., Legg, S. J., Ali, A., & Shultz, S. P. (2019). Age-dependent variability in spatiotemporal gait parameters and the walk-to-run transition. *Human Movement Science*, 66, 600–606.
- Larson, P., Higgins, E., Kaminski, J., Decker, T., Preble, J., Lyons, D., ... Normile, A. (2011). Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race. *Journal of Sports Sciences*, 29(15), 1665–1673.
- Latorre-Román, P. Á., Párraga-Montilla, J. A., Guardia-Monteagudo, I., & García-Pinillos, F. (2018). Foot strike pattern in preschool children during running: sex and shod-unshod differences. *European Journal of Sport Science*, 18(3), 407–414.
- Latorre-Román, P. Á., Mora, D., Fernández, M., Salas, J., Moriana, F., & García-Pinillos, F. (2015). Fiabilidad test-retest de una batería de evaluación de la condición físiomotora en niños de 3 a 6 años. *Nutrición Hospitalaria*, 32(4), 1683–1688.
- Latorre-Román, P. Á., Martínez-Redondo, M., Párraga-Montilla, J. A., Lucena-Zurita, M., Manjón-Pozas, D., Consuegra González, P. J., Salas-Sánchez, J. (2020). Analysis of dynamic balance in preschool children through the Balance Beam Test: A cross-sectional study providing reference values. *Gait & Posture*, 83, 294–299.
- Latorre-Román, P. Á., Consuegra González, P. J., Martínez-Redondo, M., Cardona Linares, A. J., Salas-Sánchez, J., Lucena Zurita, M., ... & Párraga-Montilla, J. A. (2020). Complex Gait in Preschool Children in a Dual-Task Paradigm Is Related to Sex and Cognitive Functioning: A Cross-Sectional Study Providing an Innovative Test and Reference Values. *Mind, Brain, and Education*, 14(4), 351–360.
- Latorre Román, P. Á., Balboa, F. R., & Pinillos, F. G. (2017). Foot strike pattern in children during shod-unshod running, *Gait & Posture* 58, 220–222.
- Latorre Román, P. Á., Redondo Balboa, F., Párraga Montilla, J., Soto Hermoso, V. M., Consuegra González, P. J., & García Pinillos, F. (2019). Analysis of foot strike pattern, rearfoot dynamic and foot rotation over childhood. A cross-sectional study. *Journal of Sports Sciences*, 37(5), 477–483.
- Lieberman, D. E. (2014). Strike type variation among Tarahumara Indians in minimal sandals versus conventional running shoes. *Journal of Sport and Health Science*, 3(2), 86–94.
- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., Dandrea, S., Davis, I. S., Pitsiladis, Y. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463(7280), 531–535.
- Lubans, D. R., Morgan, P. J., Cliff, D. P., Barnett, L. M., & Okely, A. D. (2010). Fundamental movement skills in children and adolescents: review of associated health benefits. *Sports medicine*, 40, 1019–1035.

- Maidan, I., Nieuwhof, F., Bernad-Elazari, H., Reelick, M. F., Bloem, B. R., Giladi, N., Mirelman, A. (2016). The Role of the Frontal Lobe in Complex Walking Among Patients With Parkinson's Disease and Healthy Older *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 30(10), 963–971.
- Malouin, F., Richards, C. L., Jackson, P. L., Dumas, F., & Doyon, J. (2003). Brain activations during motor imagery of locomotor-related tasks: A PET study. *Human Brain Mapping*, 19(1), 47–62.
- Mickle, K. J., Munro, B. J., & Steele, J. R. (2011). Gender and age affect balance performance in primary school-aged children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 243–248.
- Miyamoto, A., Takeshita, T., & Yanagiya, T. (2018). Differences in sprinting performance and kinematics between preadolescent boys who are fore/mid and rear foot strikers. *PLoS ONE*, 13(10).
- Mizushima, J., Seki, K., Keogh, J. W. L., Maeda, K., Shibata, A., Koyama, H., & Ohyama-Byun, K. (2018). Kinematic characteristics of barefoot sprinting in habitually shod children. *PeerJ*, 6, e5188.
- Molina-Molina, A., Latorre-Román, P. Á., Mercado-Palomino, E., Delgado-García, G., Richards, J., & Soto-Hermoso, V. M. (2022). The effect of two retraining programs, barefoot running vs increasing cadence, on kinematic parameters: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 32(3), 533–542.
- Müller, J., Müller, S., Baur, H., & Mayer, F. (2013). Intra-individual gait speed variability in healthy children aged 1-15 years. *Gait and Posture*, 38(4), 631–636.
- Murphy, I. D. (2017). Barefoot vs Running shoes-Comparing 20m sprint performance, spatiotemporal variables and foot strike patterns in schoolchildren in the Western Cape. Stellenbosch : Stellenbosch University.
- Nguyen, T., Obeid, J., & Timmons, B. W. (2011). Reliability of fitness measures in 3- to 5-year-old children. *Pediatric Exercise Science*, 23(2), 250–260.
- Paquette, M. R., Milner, C. E., & Melcher, D. A. (2017). Foot contact angle variability during a prolonged run with relation to injury history and habitual foot strike pattern. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(2), 217–222.
- Perl, D. P., Daoud, A. I., & Lieberman, D. E. (2012). Effects of footwear and strike type on running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(7), 1335–1343.
- Plesek, J., Silvernail, J. F., Hamill, J., & Jandacka, D. (2020). Footfall pattern during running in preschool children according to age and footwear. *ISBS Proceedings Archive*, 38(1).
- Pryde, K. M., Roy, E. A., & Patla, A. E. (1997). Age-related trends in locomotor ability and obstacle avoidance. *Human Movement Science*, 16(4), 507–516.

- Raffageau, T. E., Kellaher, G. K., Terza, M. J., Roper, J. A., Altmann, L. J., & Hass, C. J. (2019). Older women take shorter steps during backwards walking and obstacle crossing. *Experimental Gerontology*, 122, 60–66.
- Rose-Jacobs, R. (1983). Development of gait at slow, free, and fast speeds in 3-and 5-year-old children. *Physical therapy*, 63(8), 1251-1259.
- Rosso, A. L., Metti, A. L., Faulkner, K., Redfern, M., Yaffe, K., Launer, L., ... Rosano, C. (2019). Complex Walking Tasks and Risk for Cognitive Decline in High Functioning Older Adults. *Journal of Alzheimer's Disease*, 71(s1), S65–S73.
- Schoff, N., & Klotzbier, T. J. (2018). Profiles of cognitive-motor interference during walking in children: Does the motor or the cognitive task matter? *Frontiers in Psychology*, 9(JUN), 947.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1995). Theory and practical applications. *Motor control*, 89-90.
- Tanaka, C., Hikiyara, Y., Ohkawara, K., & Tanaka, S. (2012). Locomotive and non-locomotive activity as determined by triaxial accelerometry and physical fitness in Japanese preschool children. *Pediatric exercise science*, 24(3), 420-434.
- Thelen, E. (1986). Treadmill-Elicited Stepping in Seven-Month-Old Infants. *Child Development*, 57(6), 1498.
- Thevenon, A., Gabrielli, F., Lepvrier, J., Faupin, A., Allart, E., Tiffreau, V., & Wieczorek, V. (2015). Collection of normative data for spatial and temporal gait parameters in a sample of French children aged between 6 and 12. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 58(3), 139–144.
- Van Gent, R. N., Siem, D., van Middelkoop, M., Van Os, A. G., Bierma-Zeinstra, S. M. A., & Koes, B. W. (2007). Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *British journal of sports medicine*, 41(8), 469-480.
- Vaughan, C. L. (2003). Theories of bipedal walking: An odyssey. In *Journal of Biomechanics*, Vol. 36, 513–523.
- Voss, S., Joyce, J., Biskis, A., Parulekar, M., Armijo, N., Zampieri, C., O'Keefe, J. A. (2020). Normative database of spatiotemporal gait parameters using inertial sensors in typically developing children and young adults. *Gait & Posture*, 80, 206–213.
- Vuori, I. M. (2020). Aerobic Physical Activities. *Nutrition, Fitness, and Mindfulness: An Evidence-Based Guide for Clinicians*, 105-119.
- Wegener, C., Hunt, A. E., Vanwanseele, B., Burns, J., & Smith, R. M. (2011). Effect of children's shoes on gait: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research*, 4(1), 3.

Zadpoor, A. A., & Nikooyan, A. A. (2011). The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. *Clinical biomechanics*, 26(1), 23-28.

Agradecimientos:

A la Universidad de Jaén por aportar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Fecha de recepción: 23/12/2022
Fecha de aceptación: 27/03/2023