

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Revisión Literaria Y Metaanálisis Sobre Los Efectos
Biomecánicos De Caminar En Una Caminadora En Comparación
Con Caminar Sobre El Piso En Adultos Saludables**

**Ana Cristina Caamaño Ramos
Arturo Romo Leroux Calderón**

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Quito, 20 de diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Revisión Literaria Y Metaanálisis Sobre Los Efectos
Biomecánicos De Caminar En Una Caminadora En Comparación
Con Caminar Sobre El Piso En Adultos Saludables**

**Ana Cristina Caamaño Ramos
Arturo Romo Leroux Calderón**

Nombre del profesor, Título académico

María Gabriela García, Dr.Sc.

Quito, 20 de diciembre de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Ana Cristina Caamaño Ramos

Código: 00200229

Cédula de identidad: 1717054439

Nombres y apellidos: Arturo Romo Leroux Calderón

Código: 00201690

Cédula de identidad: 1721543310

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Muchos estudios han investigado acerca de los efectos en indicadores biomecánicos del caminar en una caminadora, en comparación a caminar sobre el piso. Desde que las caminadoras fueron introducidas al mercado, han sido utilizadas como sustituto para la caminata tradicional sobre piso. Estas han sido utilizadas como elementos para terapia física, instrumentos de ejercicio y, como herramientas de intervención ergonómica en ambientes laborales. Es por esto que se busca encontrar evidencia científica, a través de una revisión literaria y metaanálisis, sobre el impacto en los marcadores biomecánicos al caminar sobre una caminadora versus caminar sobre el piso. Se recolectaron artículos científicos publicados entre el año 2001 y 2021, enfocados en métricas biomecánicas de una población adulta saludable. Se encontraron 42 publicaciones utilizadas para la revisión literaria, de las cuales, solo 20 fueron incluidos en el metaanálisis, con un total de 415 participantes. El metaanálisis fue concluyente para las once medidas biomecánicas seleccionadas, menos para velocidad de marcha, cadencia, fase de apoyo de dos extremidades y *heel-strike angle*, mostrando que no existe una diferencia significativa al caminar sobre una caminadora en comparación en caminar sobre el piso. Sin embargo, se requiere un mayor número de artículos, incluyendo otros indicadores como electromiografía (EMG) y medidas cinemáticas angulares, para obtener una comparación más robusta entre ambas condiciones.

Palabras clave: caminar, caminadora, piso, biomecánica, adultos saludables.

ABSTRACT

Throughout the years many studies have researched the biomechanical effects of treadmill walking compared to overground walking. Since treadmills were introduced to the market, they have been used as a substitute for traditional walking. As tools for clinical therapy, regular training, or for ergonomic interventions. However, past biomechanical research comparing treadmill versus overground walking has revealed inconsistent results. Consequently, this systematic literature review and meta-analysis seeks to compare biomechanical effects between treadmill and overground walking. Scientific studies, published between 2001 and 2021, focused on biomechanical effects on healthy adults were investigated. 42 studies were included for the systematic literature review, of which only 20 studies were included for the meta-analysis. Resulting in a 415 study population. The meta-analysis was conclusive for seven biomechanical metrics out of the eleven; gait speed, cadence, stance phase and heel strike angle resulted heterogenous biomechanical variables, so they were not included in the meta-analysis. In conclusion, there is no significant difference between treadmill walking and overground walking for the seven biomechanical metrics studied. However, to have a complete comparison between these conditions, a greater number of related studies, and studies considering other biomechanics indicators such as, electromyography (EMG) and angular measurements, are needed.

Keywords: treadmill, overground, walking, biomechanical, healthy adults.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción y Revisión Literaria.....	10
Metodología.....	12
Protocolo y registro	12
Criterios de elegibilidad.....	13
Definición de fuentes de información	13
Búsqueda	13
Selección de estudios	14
Criterios de calidad	16
Recolección de datos.....	17
Definición de datos	17
Medidas de resumen.....	17
Síntesis de resultados	18
Metaanálisis	18
Recolección de datos:	20
Resultados:	21
Velocidad/Velocidad de Marcha:.....	22
Cadencia:.....	22
Longitud de Zancada:.....	23
Longitud de Paso:.....	23
Fase de Apoyo de Dos Extremidades:	24
Tiempo de Apoyo de Dos Extremidades:	24
Ancho de Paso:	24
Heel-Strike Angle:	25
Tiempo de Apoyo (<i>Stance Time</i>):	25
Tiempo de Zancada:.....	25
Tiempo de Impulsión (<i>Swing Time</i>):	26
Discusión:	26
Limitaciones	28
Recomendaciones:.....	29
Conclusiones:	30
Referencias:.....	32
Anexos:	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Diagrama de flujo de las diferentes fases de la revisión sistemática literaria.	15
Figura N°2: Cantidad de datos recolectados.	20
Figura N°3: Resultados metaanálisis velocidad de marcha	38
Figura N°4: Resultados metaanálisis cadencia	39
Figura N°5: Resultados metaanálisis longitud de zancada	40
Figura N°6: Resultados metaanálisis longitud de paso	41
Figura N°7: Resultados metaanálisis fase de apoyo de dos extremidades	42
Figura N°8: Resultados metaanálisis tiempo de apoyo de dos extremidades	43
Figura N°9: Resultados metaanálisis ancho de paso	44
Figura N°10: Resultados metaanálisis <i>heel strike pitch angle</i>	45
Figura N°11: Resultados metaanálisis tiempo de apoyo	46
Figura N°12: Resultados metaanálisis tiempo de zancada	47
Figura N°13: Resultados metaanálisis tiempo de impulsión	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Medidas de resumen	18
Tabla N°2: Síntesis de Resultados	26

Introducción y Revisión Literaria

El estudio de movimientos en los seres humanos y la biomecánica del cuerpo han tenido relevancia desde 1800 (Innocenti, 2017 citado en Camargo, Ramanthan, Flangan y Young, 2021). La biomecánica, se refiere al estudio estructural y funcional de los movimientos del cuerpo en diferentes partes (Kumbhalkar et al., 2021). La combinación de ambas ha permitido estudiar los movimientos del cuerpo humano en diferentes condiciones (Camargo et al., 2021).

A través de la biomecánica se puede estudiar la locomoción. Esta se define como el proceso por el cual un ser vivo se traslada de un punto a otro por sus propios medios (Lockhart, 2013). En la locomoción humana, se reconoce la importancia de soporte de extremidades, equilibrio postural, control de trayectoria, entre otros componentes principales para la locomoción (Lockhart, 2013). Las actividades locomotoras más comunes son el correr y caminar sobre el suelo (Montgomery et al., 2016). Desde que las caminadoras fueron introducidas al mercado, han sido utilizadas como sustituto para la caminata tradicional sobre piso (Yao et al., 2019). Estas han sido utilizadas como elementos para terapia física e instrumentos de ejercicio (Warabi et al., 2005).

Por otro lado, se sabe que los trastornos musculoesqueléticos (WMSDs; por sus siglas en inglés) relacionadas al trabajo son un problema cada vez más común en la población económicamente activa (Kim et al., 2013). En los Estados Unidos los WMSDs son las lesiones no mortales más reportadas anualmente (Bernard, 1997). Los WMSDs son lesiones de los músculos, nervios, tendones, articulaciones, cartílagos y discos espinales relacionados con el ambiente y el desempeño del trabajo, ya que uno de los mecanismos de estas lesiones se da por micro traumas repetitivos y acumulativos (CDC, 2020). En el 2007 se asoció un costo de aproximadamente \$46 billones de dólares a los WMSDs (Kim et al., 2013).

Es por esto que las intervenciones ergonómicas efectivas pueden reducir la demanda física del trabajo, reduciendo las posibilidades de padecer WMSDs, jugando un papel crucial

en el nivel de productividad de los trabajadores (Khan y Asmatulu, 2013). Algunas intervenciones como modificaciones ergonómicas o ejercicios en el lugar de trabajo han sido probadas como métodos para aliviar los WMSDs (Mehrparvar et al., 2014).

Las estaciones de trabajo dinámicas son intervenciones que integran actividad física dentro del entorno ocupacional, sin afectar el trabajo en curso (Commissaris, et al., 2014). Existen varios tipos de estaciones activas; caminadoras, bicicletas elípticas y ergométricas, entre otras. Las caminadoras, de acuerdo con Yao et al. (2019), son capaces de proveer ambientes más controlados permitiendo evaluar caminata sobre una caminadora en comparación a caminata sobre el piso de manera más certera. Debido a esto, la utilización de caminadoras para caminata con distintos objetivos se ha convertido objeto de estudio relevante (Van Hooren et al., 2019). Entre las principales causas para la relevancia sobre el uso de las caminadoras, se destaca la ventaja de realizar ejercicios motores en espacios reducidos (Joo Lee y Hidler, 2006).

El caminar sobre una caminadora, en comparación a caminar sobre el piso, ha encontrado diferencias en ritmo de caminata, cadencia, y longitud de paso (Warabi et al., 2013). Adicionalmente, se encontraron diferencias en el caminar en la frecuencia de pasos (Tulchi et al., 2009). Tanto la longitud de paso, como la frecuencia, mostraron tener valores más altos al caminar sobre una caminadora en comparación a caminar sobre el piso (Alton et al., 1998). Igualmente, se identificaron diferencias en la cinemática de extremidades inferiores durante el caminar sobre una caminadora, comparado al caminar sobre el piso (Vogt et al., 2002).

Se han encontrado discrepancias en los resultados obtenidos por diferentes autores sobre si las diferencias evidenciadas entre caminar sobre el piso o sobre una caminadora son significativas o no (Warabi et al., 2005). Otros autores, sostienen que el caminar en una caminadora, puede ser considerado una representación válida de caminar sobre el piso (Owing

y Grabiner, 2004). Otros autores sostienen que los patrones de caminata en caminadora son comparables con aquellos de caminar en el piso (Meyer et al., 2019).

El análisis comparativo que se ha realizado entre caminar en el piso, y caminar sobre una caminadora ha tenido un amplio enfoque. El objetivo principal de este estudio es realizar una revisión literaria sistemática y metaanálisis sobre los datos existentes de comparaciones entre caminar sobre una caminadora y caminar sobre el piso. De esta manera se podrá comparar distintas medidas obtenidas en estudios previos, y determinar si una caminadora puede ser considerada equivalente a la caminata tradicional sobre el piso. No existen revisiones literarias respecto al tema entre 2001 y 2021. Al comparar ambas actividades utilizando los indicadores biomecánicos seleccionados, se espera determinar si estos indicadores presentan diferencias estadísticas significativas, o si son considerados iguales para ambas actividades.

Metodología

La metodología utilizada en el siguiente estudio es base a Preferred Reporting Items of Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA). Dicha metodología es ampliamente utilizada para realizar revisiones literarias y metaanálisis. PRISMA consta de una *checklist* de 27 elementos y un diagrama de flujo con cuatro fases (Moher et al., 2009). La metodología cuenta con una serie de elementos que se deben cumplir: protocolo y registro, criterio de elegibilidad, definición de las fuentes de información, búsqueda, selección de estudios, recolección de datos, definición de datos, medidas de resumen y síntesis de resultados (Moher, et al., 2009).

Protocolo y registro

Como primer paso, PRISMA, tiene a Protocolo y Registro, donde se hace referencia a la accesibilidad o la posibilidad de registrar información significativa alineada con el objetivo

de estudio. Por ende, se definió el objetivo de la investigación en base a la información existente y accesible en la literatura; realizar una revisión sistemática literaria y metaanálisis sobre los efectos biomecánicos de caminar sobre una caminadora versus caminar sobre el piso. Tomando en cuenta la metodología PICO, donde se define la población, la implementación, los grupos de control y los resultados, para así, acceder a estudios relevantes al caso de estudio.

Criterios de elegibilidad

El segundo paso establece los criterios de elegibilidad para la información existente y accesible en la literatura. Se tiene características de estudio como, por ejemplo; PICO, longitud y seguimiento. También se tiene características de reporte como; año de publicación, lenguaje y estado de publicación (Moher, et al., 2009). Para este estudio se decidió la siguiente metodología PICO donde se tienen los siguientes parámetros; población de adultos saludables, se implementa caminar sobre caminadoras, el grupo de control camina sobre el suelo y los resultados son los efectos biomecánicos del estudio comparativo. Por otro lado, la recopilación de estudios será entre los años 2001 y 2021 ya que no se ha encontrado una revisión literaria sobre el mismo tema desde el 2001. De la misma manera, se decidió elegir artículos de investigación o de revisión escritos en inglés.

Definición de fuentes de información

Se necesita definir cuáles serán las fuentes de información utilizadas para extraer información relevante para el estudio. De acuerdo con nuestro objetivo se escogieron las siguientes bases de datos; Science Direct (Elsevier), Scopus y PubMed como las principales y, ProQuest y EBSCO como fuentes secundarias. Las bases de datos principales fueron elegidas en base a su cantidad de publicaciones relacionadas a la biomecánica.

Búsqueda

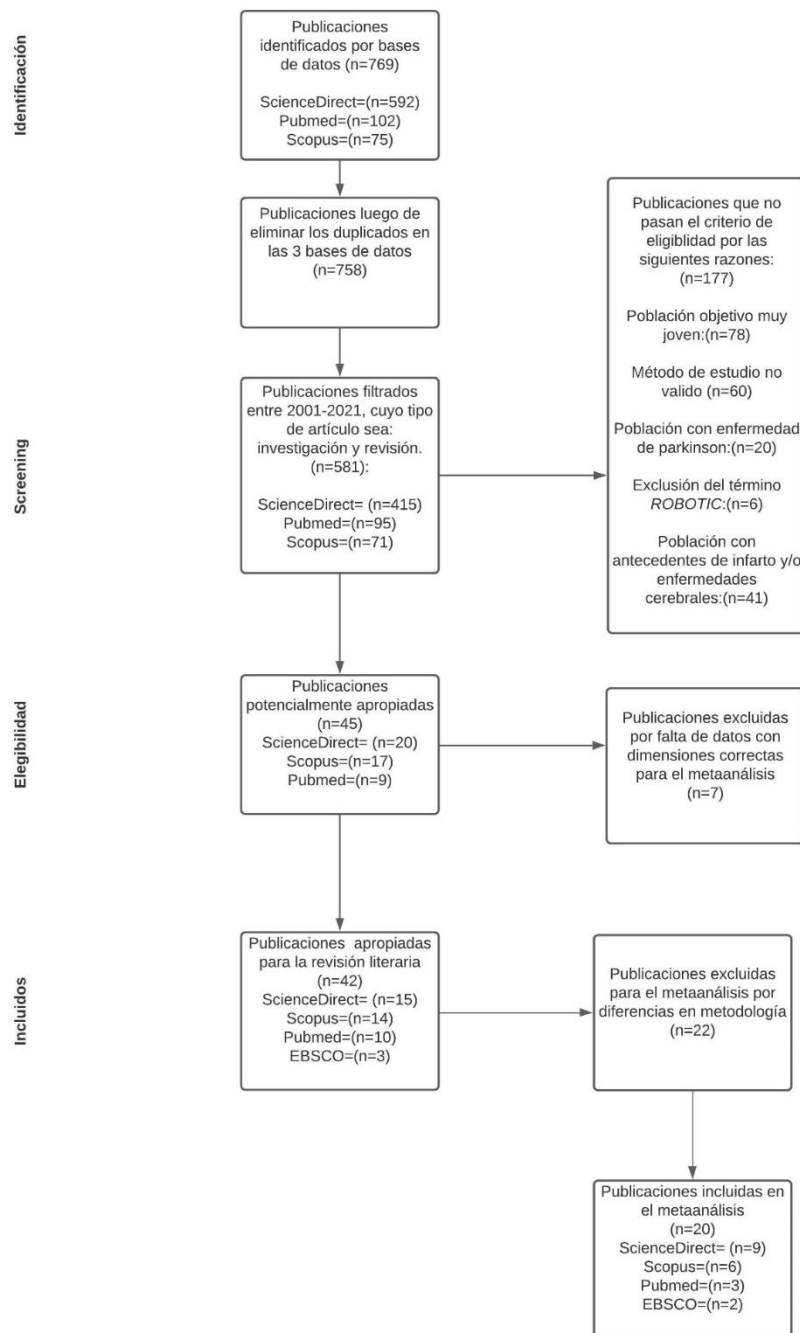
Se presenta una estrategia de búsqueda para las diferentes bases de datos donde se incluyen las palabras clave y las palabras excluyentes o negadas con el objetivo de filtrar la información retraída y alinearla al objetivo de estudio. Las palabras clave o *keywords* utilizadas en las diferentes bases de datos fueron; *(Overground) AND (Treadmill) AND (Walking) AND (Biomechanics OR Kinematics OR Kinetics) AND (Healthy) AND (Adults)*.

Entonces, en las bases de datos de Science Direct, Pubmed y Scopus se realizó la búsqueda preliminar con dichas palabras claves, la cual arrojó 592, 102 y 75 publicaciones respectivamente. Luego, se procedió a excluir los 11 artículos duplicados y se añadieron 2 filtros; el rango del año de publicación y el tipo de artículo. Se seleccionó un rango de publicación de 2001-2021 y, los tipos de artículo de investigación y revisión. Resultando en 415 artículos en Science Direct y en 95 resultados en PubMed y 71 en Scopus.

Selección de estudios

En este paso se detalla el proceso para seleccionar los estudios. En base al artículo de Basu titulado *How to Conduct meta-analysis: Basic Tutorial* (2017), se logró obtener una cierta cantidad de estudios por cada base de datos, los cuales se alienan al objetivo principal del estudio y a los criterios de elegibilidad determinados.

Figura N°1: Diagrama de flujo de las diferentes fases de la revisión sistemática literaria.



En el FiguraN°1, se observa que se realizó, primeramente, la identificación de publicaciones de las 3 principales bases de datos. En la etapa de *Screening* se procedió a filtrar los artículos por su año de publicación (desde el 2001), el tipo de artículo (investigación y/o revisión), artículos duplicados y se filtraron los artículos en base a sus poblaciones objetivo y a su método de implementación de estudio. Luego, en la etapa de Elegibilidad, se eligieron

manualmente los artículos en base a su título y a su *abstract*, se buscó que el título contenga todas las palabras clave de la búsqueda. Por último, en Incluidos, se determinaron 42 publicaciones que cumplieran con los criterios de elegibilidad y tenían datos válidos para la revisión literaria. Mientras que para el metaanálisis solo se incluyeron 20 de dichas publicaciones, al descartar 22 publicaciones por falta de compatibilidad entre las metodologías de los respectivos artículos científicos.

Criterios de calidad

Los criterios de calidad para las publicaciones encontradas se basaron en dos aspectos fundamentales: pregunta de investigación, y resultados. El primero, como criterio de inclusión o exclusión, determinando si las publicaciones encontradas presentan una hipótesis clara y su información es relevante para el objetivo de la presente revisión literaria y metaanálisis. En resultados, se evaluó el método de obtención de resultados, y la presentación de los resultados.

Los resultados para los indicadores biomecánicos utilizados en el metaanálisis deben ser obtenidos bajo una misma metodología, y deben ser presentados en las mismas unidades (o en su defecto, ser transformables sin alterar los resultados originales). De igual manera, en resultados, se evalúa que estos presenten el mismo parámetro de análisis estadístico. Todas las publicaciones incluidas en el metaanálisis deben contar con un tamaño de población mínimo para que los resultados sean considerados como certeros y eliminar sesgo de investigación. Todos los artículos deben haber cumplido con los parámetros de investigación antes mencionados, incluyendo, pero sin limitarse, al tipo de publicación, año de publicación, entre otros.

Recolección de datos

Se describe el proceso para extraer los datos de cada estudio y, si es que existe la manera de obtener y confirmar los datos con los autores de los estudios. Para esto se volvió a utilizar el artículo de Basu *How to Conduct meta-analysis: Basic Tutorial* (2017), donde se extraían los siguientes datos; nombre del autor, año de publicación, población de estudio, tipo de investigación, implementación, grupo de control, resultados y medidas, cantidad de participantes, entre otros. Los datos fueron extraídos de manera independiente por los dos miembros del equipo y fueron ingresados en una tabla de Excel llamada SLR Protocol.

Definición de datos

En este paso se definen y se listan las variables a evaluar en el estudio. Al igual se menciona si es que se realizaron supuestos en el estudio. Entonces, se definieron los diferentes factores biomecánicos que son relevantes para el objetivo del estudio, en ambos grupos de experimentación y control. Por ejemplo, longitud de paso, velocidad de paso, movimiento articular y ángulos, entre otros.

Medidas de resumen

Se determina las medidas más relevantes para el objetivo de estudio, estas se extraen a través del metaanálisis. Estas medidas serán las medias y desviaciones estándar de los factores biomecánicos extraídos.

Se observa en la Tabla N°1 las métricas de interés, alineadas con el objetivo de estudio, que arrojó la búsqueda;

Tabla N°1: Medidas de resumen

Medidas de Resumen		Unidades
1	Cadencia	pasos/min
2	Velocidad/Velocidad de Marcha (Gait Speed)	m/s
3	Heel-Strike Angle	(°)
4	Longitud de Zancada	m
5	Tiempo de Zancada	s
6	Tiempo de apoyo (Stance Time)	s
7	Tiempo de apoyo de dos extremidades	s
8	Tiempo de impulsión (Swing Time)	s
9	Fase de apoyo de dos extremidades	%
10	Longitud de paso	m
11	Ancho de paso	m

Síntesis de resultados

En el último paso, se concluye la pregunta de investigación con los resultados obtenidos del metaanálisis. Se describen los procesos utilizados para la selección de estudios para cada comparación de métrica, así como los procesos para preparar los datos si fuese el caso (conversiones, operaciones matemáticas) (PRISMA, 2021). De igual manera, se describe el uso del software Open Meta Analyst para realizar el metaanálisis, donde se obtienen los modelos, los efectos y el grado de heterogeneidad (PRISMA, 2021).

Metaanálisis

El metaanálisis es un método estadístico sistemático que combina información de distintos estudios similares pero independientes (Normand, 1999). Este tiene como objetivo aumentar el poder estadístico para establecer los efectos de un tratamiento en general, estimar el nivel de beneficio o desventaja relacionado con un tratamiento específico de un estudio y el poder determinar y evaluar métricas asociadas a un efecto en particular (Normand, 1999).

Cuando varios estudios sobre un mismo tema presentan conclusiones contrarias, el metaanálisis es utilizado para estimar un promedio del efecto o para identificar un subconjunto

de estudios similares con un efecto ventajoso en común (Normand, 1999). Puesto que es de interés encontrar el nivel de beneficio de un efecto y, específicamente, encontrar de qué métricas o variables depende dicho beneficio (Normand, 1999).

Existen dos modelos para realizar un metaanálisis; modelo de efectos fijos y aleatorios. El modelo de efectos fijos asume que todos los estudios están estimando el mismo efecto de tratamiento y, que solo existe variabilidad aleatoria, mientras que el modelo aleatorio acepta que las estimaciones observadas del efecto de tratamiento pueden variar entre los estudios debido a diferencias reales en el efecto de tratamiento en cada estudio en particular (Riley et al., 2011). Es importante recalcar que el modelo de efectos aleatorios proporciona una estimación del efecto promedio del tratamiento (Riley et al., 2011).

Además, el modelo de efectos fijos asume que no existe heterogeneidad entre los estudios (Riley et al., 2011). La heterogeneidad es causada por razones clínicas, metodológicas o estadísticas (Higgins et al., , 2021). La heterogeneidad clínica y metodológica es analizada de manera cualitativa (Higgins, et al., 2021). Por ejemplo, esta se encuentra presente cuando se tienen poblaciones de estudio significativamente diferentes o se implementan diversas metodologías en los estudios (Higgins, et al., 2021). Mientras que, la heterogeneidad estadística se define como la variabilidad en los efectos de intervención en los diferentes estudios. Esta última es causada por razones clínicas y metodológicas (Higgins, et al., 2021).

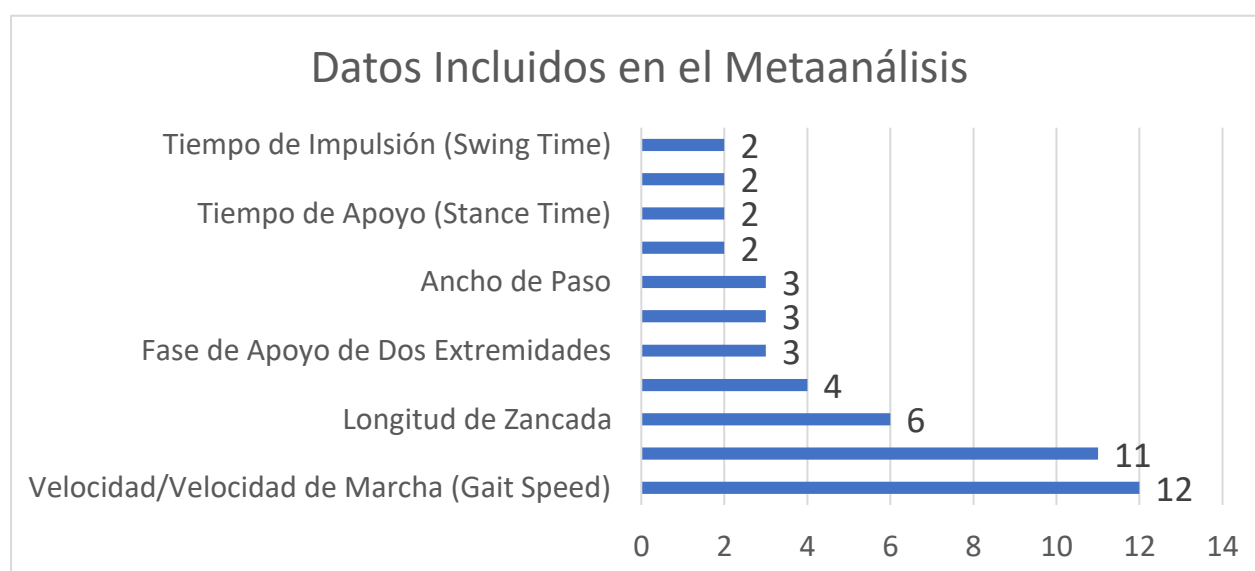
La heterogeneidad puede ser evaluada gráficamente a través de un diagrama de bosque y medida con diferentes indicadores estadísticos como τ^2 , el cual estima la varianza del tamaño de efectos en metaanálisis. La I de Higgins, I^2 , la cual evalúa la variabilidad entre los estudios, la Q de Cochran que es la suma ponderada de la diferencia de cuadrados. Se distribuye como estadístico chi cuadrado con grados de libertad k estudios -1 . y el valor p , para la prueba de significancia de la hipótesis nula del modelo (Higgins, et al., 2021).

Existen dos métodos para abordar la heterogeneidad presente en un metaanálisis (Riley et al., 2011). Primeramente, se puede no promediar el efecto de los tratamientos e investigar las causas de dicha variabilidad asignable. O, por otro lado, se puede decidir promediar el efecto de los tratamientos utilizando un modelo de efectos aleatorios (Riley et al., 2011). En este estudio se utilizó un modelo de efectos aleatorios ya que, se acepta que se está estudiando solo una muestra de la población total de artículos científicos (Basu, 2017) y, también porque es de interés lograr comparar a través de métodos cuantitativos los efectos de los indicadores biomecánicos en cada grupo de intervención y de control.

Recolección de datos:

Los datos obtenidos, fueron extraídos de un total de 21 artículos publicados. Estos, para poder ser incluidos en el metaanálisis, deben tener la metodología experimental y de recolección de datos similares, con el fin de reducir la variabilidad a causa del método en el metaanálisis. El detalle específico de medidas encontradas por publicación puede ser encontrado en Anexos. Las medidas obtenidas, y su respectiva cantidad son:

Figura N°2: Cantidad de datos recolectados



De las publicaciones accedidas, se observa mayor frecuencia en la medición de velocidad de caminata en cada participante, y la cadencia de los mismos. Sin embargo, un mínimo de dos publicaciones es suficiente para realizar el metaanálisis. Esto, dado que cada publicación ya cuenta con un número considerable de sujetos de estudio, por lo que, una combinación de por lo menos dos estudios no es la comparación de dos personas, sino de un amplio grupo de personas repartidas en dos o más estudios (Ryan, 2016).

Resultados:

Los estudios utilizados, dado a la cantidad, se presentan codificados con números. El detalle de codificación de las publicaciones se encuentra en Anexos.

Para cada una de las métricas, se realizó una prueba de heterogeneidad, donde se evaluar las siguientes hipótesis:

Ho: Las publicaciones (tratamientos) seleccionadas son homogéneas.

Ha: Las publicaciones (tratamientos) seleccionadas no son homogéneas.

De igual manera, se evalúa el efecto del modelo, donde las hipótesis son:

*Ho: El indicador biomecánico analizado es comparable al caminar sobre una caminadora
vs. al caminar sobre el piso.*

*Ha: El indicador biomecánico analizado no es comparable al caminar sobre una
caminadora vs. al caminar sobre el piso.*

Los valores alfa elegidos para las diferentes pruebas son de 0.1 para heterogeneidad y de 0.05 para el efecto del modelo. Esto se eligió en base a la literatura de Higgins et al., (2021), ya que, se conoce que la prueba de heterogeneidad tiene un bajo poder estadístico por lo que se utiliza un alfa mayor al comúnmente utilizado de 0.05. Entonces, al realizar las pruebas de

significancia de hipótesis, se utiliza el valor p , donde $p - value < \alpha$, indica que sí existe heterogeneidad entre las publicaciones seleccionadas, y que sí existe un efecto significativo entre los dos grupos de investigación.

Velocidad/Velocidad de Marcha:

Se define como la relación entre la distancia recorrida y el tiempo transcurrido. La velocidad de marcha se mide en $\frac{m}{s}$. Para realizar el metaanálisis de esta medida biomecánica, se utilizaron un total de 12 publicaciones válidas, donde todas proporcionaban media (μ) y desviación estándar (σ) tanto para el grupo que caminaba sobre el piso, y quienes caminaban en caminadora. La media y la desviación estándar fueron las medidas utilizadas en todas las métricas biomecánicas analizadas.

Una vez ingresados los datos en el software *OpenMetaAnalyst*, se obtiene un valor p de heterogeneidad menor a 0,001 (Figura N°3). Siendo así, se rechaza la hipótesis nula de la prueba de heterogeneidad.

Al existir heterogeneidad estadística entre las publicaciones, se concluye que las publicaciones utilizadas tienen variabilidad asignable alta y que existen razones clínicas o metodológicas (diferencias en los métodos de investigación, recolección de los datos o características de la población) por las cuales los efectos de los estudios difieren entre sí. Siendo así, la métrica de velocidad de marcha no puede ser considerada como confiable para el presente metaanálisis.

Cadencia:

Se define como el número de pasos por minuto registrados por una persona (La Clinique du Coureur, 2018). Para el metaanálisis de cadencia, se utilizaron un total de 11 publicaciones. El valor p de la prueba de heterogeneidad para esta métrica es menor a 0,001.

Al igual que en velocidad de marcha, este resultado indica alta variabilidad, lo que imposibilita la utilización de esta métrica para el metaanálisis.

Sin embargo, el haber obtenido un valor p del efecto del modelo de 0.959 (Fijarse Figura N°4), es necesario determinar un estudio más profundo sobre las posibles causas de la heterogeneidad en cadencia. Ya que, si existieran razones clínicas o metodológicas existentes para excluir ciertas publicaciones del metaanálisis.

Longitud de Zancada:

Es definida como la distancia (m) de un mismo pie desde su posición inicial a su siguiente posición (Musculoskeletal Key, 2019). En longitud de zancada, con un total de 6 publicaciones utilizadas, se obtiene un valor p de 0.118. Siendo el estadístico de prueba mayor al nivel de confianza seleccionado, se concluye que existe homogeneidad en las publicaciones, por lo que esta medida sí puede ser utilizada en el metaanálisis. El valor p del modelo del metaanálisis en longitud de zancada es de 0,006 (Figura N°5). Siendo este valor menor al nivel de confianza del modelo, se concluye que, en longitud de zancada, sí existe una diferencia significativa entre caminar sobre el piso, y caminar en una caminadora. Por lo tanto, dichas actividades tienen un efecto similar en cuanto a longitud de zancada.

Longitud de Paso:

Medida en metros, se define como distancia entre los dos pies al dar un paso (Musculoskeletal Key, 2019). El valor p de la prueba de longitud de paso, al comparar 4 publicaciones, es de 0,901. Se determina entonces, que no existe heterogeneidad entre las publicaciones utilizadas. Al analizar los resultados del metaanálisis, se obtuvo un estadístico de prueba p de 0,655 (Figura N°6). Este resultado indica que para la medida biomecánica de longitud de paso no existe diferencia estadística significativa entre la caminata en caminadora y la caminata sobre el piso.

Fase de Apoyo de Dos Extremidades:

Fase de apoyo se define la suma de la fase de doble soporte inicial y terminal. Esto constituye aproximadamente el 28-40% de la fase de apoyo, por lo tanto, se mide en porcentaje (%) (Physical Therapy Education Solutions, 2018). Para la fase de apoyo de dos extremidades, se utilizaron un total de 3 publicaciones, obteniendo así un valor p en la prueba de heterogeneidad menor a 0,001 (Figura N°7). Este valor indica que existe heterogeneidad en las publicaciones, por lo que esta métrica no puede ser utilizada para realizar una comparación entre caminar en el piso, o caminar en una caminadora.

Tiempo de Apoyo de Dos Extremidades:

Se entiende como la porción de tiempo que ambos pies están tocando el suelo al caminar (Sung, 2018). El estadístico de prueba para la prueba de heterogeneidad realizada entre las 3 publicaciones en tiempo de apoyo de dos extremidades tiene un valor de 0,415. Esto, indica que existe homogeneidad en la métrica, por lo que la variabilidad es únicamente dada por naturaleza del estudio como tal, y no por causas asignables. Analizando el estadístico de prueba del modelo, este tiene un valor de 0.077 (Figura N°8). Se concluye entonces, al ser $p > \alpha$, que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir, que para esta variable biomecánica sí es similar al caminar sobre el piso versus caminar sobre una caminadora.

Ancho de Paso:

Es la distancia entre la línea de progresión del pie izquierdo y la línea de progresión del pie derecho (Tekscan, 2018). Para esta métrica, se analizaron tres publicaciones. El valor p obtenido para la prueba de heterogeneidad, es de 0,22, por lo que se acepta esta métrica y se puede utilizar estas publicaciones en el metaanálisis. El valor p obtenido en el modelo del metaanálisis, es de 0,132 (Figura N°9). Este valor, siendo mayor al alfa establecido, establece

que el ancho de paso no es estadísticamente diferente para la caminata en caminadora y caminata a nivel de piso.

Heel-Strike Angle:

Se define como ángulo formado por la línea dibujada entre el quinto metatarsiano y la superficie en la que se camina (Dadashi, Mariani, Rochat & Aminian, 2013). El análisis de las dos publicaciones de *heel-strike angle* entrega un valor p de heterogeneidad de 0.021 (Figura N°10). Siendo el valor p menor al alfa establecido, no se puede establecer conclusiones respecto a la caminata sobre el piso y la caminata en caminadora.

Tiempo de Apoyo (*Stance Time*):

Como explicado anteriormente, el tiempo de apoyo es el tiempo que se relaciona a la fase de apoyo, se lo mide en segundos. En tiempo de apoyo, el estadístico de prueba para la prueba de heterogeneidad es de 0,856 considerando las dos publicaciones utilizadas. Al no existir heterogeneidad, se procede a analizar el modelo del metaanálisis. El modelo para tiempo de apoyo tiene un valor p de 0,2 (Figura N°11). Esto, indica que no existe suficiente evidencia estadística para decir que no se puede comparar el caminar en una caminadora con caminar sobre el piso.

Tiempo de Zancada:

Se define como el tiempo que demora en llegar un mismo pie desde su posición inicial a su siguiente posición, se lo mide en segundos. El valor p en tiempo de zancada es de 0,455. Para esta métrica, tampoco se establece heterogeneidad entre las dos publicaciones. Con un valor p alto en el modelo, de 0,972 (Figura N°12), se concluye que la caminata en caminadora y a nivel de piso no demuestran ser significativamente distintas y, que sí son actividades comparables.

Tiempo de Impulsión (Swing Time):

Se determina como el tiempo desde que el pie deja el suelo por primera vez hasta que el mismo pie vuelve a tocar el suelo (Tekscan, 2020). Para tiempo de impulsión, se analizaron dos publicaciones que entregaron un valor p de 0,175 (Figura N°13), en la prueba de heterogeneidad. Al no existir heterogeneidad entre las publicaciones, se analiza el valor p del modelo. Siendo este 0,681 se entiende que para el tiempo de impulsión sí es comparable caminar en una caminadora versus caminar sobre el piso.

Se resume entonces, en la Tabla N°2, el efecto del modelo de las once métricas biomecánicas; registrando los resultados del metaanálisis, identificando su significancia en las diferentes publicaciones de estudio y determinando su heterogeneidad en una síntesis de resultados, cumpliendo con el último paso de la metodología PRISMA.

Tabla N°2: Síntesis de Resultados

Métrica	Número de Publicaciones	Valor p Heterogeneidad	Heterogeneidad	Valor p del efecto del Modelo	¿Efecto?
Velocidad/Velocidad de Marcha (Gait Speed)	12	<0.001*	Sí	<0.001*	Sí
Cadencia	11	<0.001*	Sí	0.959	No
Longitud de Zancada	6	0.118	No	0.006*	Sí
Longitud de Paso	4	0.901	No	0.655	No
Fase de Apoyo de Dos Extremidades	3	<0.001*	Sí	0.326	No
Tiempo de Apoyo de Dos Extremidades	3	0.415	No	0.077	No
Ancho de Paso	3	0.22	No	0.132	No
Heel-Strike Angle	2	0.021*	Sí	0.977	No
Tiempo de Apoyo (Stance Time)	2	0.856	No	0.2	No
Tiempo de Zancada	2	0.455	No	0.972	No
Tiempo de Impulsión (Swing Time)	2	0.175	No	0.681	No

Discusión:

De las métricas biomecánicas estudiadas, existieron siete métricas que no mostraron heterogeneidad entre las publicaciones estudiadas. De estas, solo una métrica obtuvo resultados de diferencia significativa entre la caminata en caminadora y la caminata sobre el piso: longitud de zancada. Las otras seis métricas que no presentan heterogeneidad muestran que el efecto de

caminar en caminadora o con la caminata tradicional sobre el piso es similar. Estas métricas son: longitud de paso, tiempo de apoyo de dos extremidades, ancho de paso, tiempo de apoyo, tiempo de zancada y tiempo de impulsión.

La ausencia de diferencias estadísticas significativas en el metaanálisis entre ambas actividades se considerada un resultado positivo. La utilización de una caminadora puede ser considerado un sustituto aceptable para la caminata tradicional en estudios de los indicadores biomecánicos antes mencionados. Al no existir una diferencia significativa en longitud de paso, ancho de paso, entre otros indicadores, se pueden aprovechar las ventajas de la utilización de una caminadora, entre ellas, ambientes controlados y estudio en espacios reducidos al analizar estos indicadores. Sin embargo, es necesario un análisis más profundo para obtener una respuesta más robusta acerca de la actividad. Teniendo así una comparación más clara con más indicadores biomecánicos. Puesto que existen condiciones adicionales e indicadores biomecánicos no considerados los cuales pudiesen presentar diferencias significativas entre ambas actividades, esto se debe tener en cuenta para investigaciones futuras.

Una comparación entre ambas actividades es incapaz de demostrar que exista superioridad entre una actividad sobre otra, con valores obtenidos casi sobreponiéndose entre ambas actividades (Damiano et al., 2011). Se pudo observar que para indicadores biomecánicos donde no se considera fuerza, o impacto de la actividad sobre el cuerpo, ambas actividades son similares, permitiendo focalizar futuros estudios en indicadores distintos a los ya analizados.

El presente estudio observo una diferencia significativa en longitud de zancada. La literatura indica que la longitud de zancada durante la caminata puede ser influenciada por algunos factores clínicos o metodológicos. Existe una relación inversa entre longitud de zancada con edad del individuo, la cual se compensa con una mayor frecuencia de zancada (Malatesta et al., 2017). Entre los principales factores que influyen la longitud de zancada, se

incluye la pérdida de capacidades cognitivas (Hollman et al., 2011). Riley et al., (2007), establece que es necesario considerar la capacidad de los sujetos a ajustarse a la caminata en caminadora, lo cual suele presentarse pasados los 6 minutos de la actividad. Respecto a la caminadora, la familiaridad que tengan los usuarios con esta es otro factor que puede afectar la longitud de zancada en los individuos (Hollman et al., 2015). De igual manera, existe una influencia del entorno. La caminata es una actividad dinámica, y esta se ve restringida con el uso de la caminadora (Riley et al., 2007, Neymart et al., 2005). La variación de longitud de zancada altera las mecánicas de marcha en función a la capacidad de controlar la caminadora (Riley et al., 2007). En algunos estudios, se evidenció mayor libertad de los participantes con el uso de la caminadora mientras que en otros, se establecieron parámetros fijos para todos los participantes.

Limitaciones:

A pesar de existir un alto número de publicaciones que investigan sobre el tema, no existe suficiente variedad de factores biomecánicos para realizar un análisis completo entre las diferencias de caminar en una caminadora y caminar en el piso. De igual manera, a pesar existir numerosas publicaciones que analizan factores biomecánicos comunes, el estudio se ve limitado por la falta de estandarización de metodologías. Muchas de las publicaciones encontradas, cuyo aporte al metaanálisis era potencialmente alto, tuvieron que ser descartadas por falta de estandarización de métodos. A pesar de únicamente requerir de dos publicaciones para realizar un metaanálisis, el no poder contar con un alto número de publicaciones reduce la confiabilidad de los resultados.

Por otro lado, se evidenció durante la revisión literaria y el metaanálisis que, en medidas de mayor complejidad, donde el investigador tiene mayor influencia en las mediciones, la variabilidad aumenta, imposibilitando la utilización de sus resultados en un metaanálisis. Este

problema se evidencio principalmente en indicadores biomecánicos angulares, en los cuales el investigador determina los planos referenciales para la recolección de datos. Al necesitar metodologías similares para realizar un metaanálisis, se descartan indicadores biomecánicos relevantes, debido a la carente estandarización de metodologías. Esta limitación, resulta perjudicial para la revisión literaria y metaanálisis, ya que no se permite analizar indicadores biomecánicos de alto interés como la activación muscular, mediante electromiografía, y los antes mencionados, indicadores angulares de las articulaciones.

Otra limitación hallada, fue la manera en que los autores optan por presentar sus resultados. De la mano con una carente estandarización de metodología, se evidencia una falta de estandarización de presentación de resultados. A pesar de ser la media y desviación estándar medidas de tendencia central comunes, muchos autores optan por presentar sus resultados como porcentajes, o como una proporción, producto de normalizar los datos a la media. El hacer esto, imposibilita la utilización de numerosos estudios los cuales, comparten metodología, pero presentan sus datos en unidades diferentes.

Recomendaciones:

Para obtener mejores resultados en la revisión literaria y metaanálisis, se recomienda iniciar por la implementación de la metodología PICO, donde se especifique un rango de edad. La literatura resalta una relación entre las capacidades cognitivas y la caminata, además de una relación entre la pérdida de capacidades cognitivas con el avance de edad. Siendo así, se sugiere acortar la población objetivo no solo a adultos saludables, sino a adultos saludables dentro de un rango de edad preestablecido. Otra recomendación en cuanto a la población es la consideración de factores antropométricos de la población y como estos pueden afectar a los resultados.

Similarmente, se recomienda la estandarización en los métodos de medición. Esto, permite reducir la variabilidad clínica por métodos de investigación en los distintos estudios, así reduciendo la heterogeneidad metodológica.

Para el metaanálisis, se recomienda realizar una familiarización previa con los indicadores biomecánicos y las posibles metodologías por las cuales estos datos pueden ser recolectados. De igual manera, se sugiere incluir criterios más detallados de exclusión directamente relacionados con la pregunta de investigación, los cuales permitan descartar artículos del metaanálisis, mas no de la revisión literaria. El hacerlo, podría potencialmente reducir el número de indicadores biomecánicos que presenten heterogeneidad, permitiendo así realizar una revisión literaria con mayor número de indicadores biomecánicos.

Conclusiones:

Existieron cuatro métricas las cuales demostraron tener heterogeneidad entre las publicaciones utilizadas: velocidad de marcha, cadencia, fase de apoyo de dos extremidades y *heel strike pitch angle*. Longitud de zancada, longitud de paso, tiempo de apoyo de dos extremidades, ancho de paso, tiempo de apoyo, tiempo de zancada y tiempo de impulsión (*swing time*) no demostraron heterogeneidad entre las publicaciones utilizadas para cada métrica. Aquellas métricas que al analizar sus publicaciones demostraron resultados positivos de heterogeneidad, fueron descartadas para el metaanálisis. De las siete métricas restantes, únicamente longitud de zancada concluye que existe una diferencia significativa entre la caminata en caminadora y la caminata sobre el piso. Sin embargo, en longitud de paso, tiempo de apoyo de dos extremidades, ancho de paso, tiempo de apoyo, tiempo de zancada y tiempo de impulsión no existió diferencias significativas en ambas actividades bajo las condiciones estudiadas. En base a la evidencia cuantitativa obtenida se puede concluir que, la mayoría de las métricas biomecánicas analizadas muestran que no existe diferencia significativa entre

caminar sobre una caminadora a caminar sobre el piso. Potencialmente, se puede entonces recomendar el uso de la caminadora como sustituto a la caminata sobre el piso para ejercicios de rehabilitación, ejercicio, o estudios de movimiento donde el espacio es restringido. No obstante, existen otros factores biomecánicos importantes que deberían ser considerados en futuros estudios, para obtener una conclusión más robusta sobre si la utilización de la caminadora puede ser un reemplazo a la caminata tradicional sin ninguna afectación a la salud.

Referencias:

- Alton, F., Baldey, L., Caplan, S., & Morrissey, M. C. (1998). A kinematic comparison of overground and treadmill walking. *Clinical Biomechanics*, 13(6), 434–440. doi:10.1016/s0268-0033(98)00012-6
- Anders, C., Patenge, S., Sander, K., Layher, F., & Kinne, R. W. (2018). Systematic differences of gluteal muscle activation during overground and treadmill walking in healthy older adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. doi:10.1016/j.jelekin.2018.11.013
- Basu, A. (2017). How to conduct meta-analysis: A Basic Tutorial. *PeerJ Preprints* 5:e2978v1 <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2978v1>
- Bernard, B. P., Putz-Anderson, V., & National Institute for Occupational Safety and Health. (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. Atlanta: U.S. Dept. of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health.
- Camargo, J., Ramanathan, A., Flanagan, W., & Young, A. (2021). A comprehensive, open-source dataset of lower limb biomechanics in multiple conditions of stairs, ramps, and level-ground ambulation and transitions. *Journal of Biomechanics*, 119, 110320. doi:10.1016/j.jbiomech.2021.11032
- Carpinella, I., Crenna, P., Rabuffetti, M., & Ferrarin, M. (2010). Coordination between upper- and lower-limb movements is different during overground and treadmill walking. *European journal of applied physiology*, 108(1), 71–82. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1168-5>
- Carpinella, I., Mazzoleni, P., Crenna, P., Rabuffetti, M., & Ferrarin, M. (2009). Arm and leg swing during overground and treadmill walking. *Gait & Posture*, 29, e29–e30. doi:10.1016/j.gaitpost.2008.10.047
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020). *Work-Related Musculoskeletal Disorders & Ergonomics*. Extraído de <https://www.cdc.gov/workplacehealthpromotion/health-strategies/musculoskeletal-disorders/index.html>
- Chiu, S. L., Chang, C. C., & Chou, L. S. (2015). Inter-joint coordination of overground versus treadmill walking in young adults. *Gait & posture*, 41(1), 316–318. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.09.015>
- Chockalingam, N., Chatterley, F., Healy, A. C., Greenhalgh, A., & Branthwaite, H. R. (2012). Comparison of pelvic complex kinematics during treadmill and overground walking. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 93(12), 2302–2308. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.10.022>

- Cronin, N. J., & Finni, T. (2013). Treadmill versus overground and barefoot versus shod comparisons of triceps surae fascicle behaviour in human walking and running. *Gait & posture*, 38(3), 528–533. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.01.027>
- Dadashi, F., Mariani, B., Rochat, S. & Aminian, K. (2013). Gait and Foot Clearance Parameters Obtained Using Shoe-Worn Inertial Sensors in a Large-Population Sample of Older Adults, *Sensors*, 14 (1), 443-457. DOI: 10.3390/s140100443
- Damiano, D. L., Norman, T., Stanley, C. J., & Park, H.-S. (2011). Comparison of elliptical training, stationary cycling, treadmill walking and overground walking. *Gait & Posture*, 34(2), 260–264. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.05.010
- Dingwell, J. B., Cusumano, J. P., Cavanagh, P. R., & Sternad, D. (2001). Local dynamic stability versus kinematic variability of continuous overground and treadmill walking. *Journal of biomechanical engineering*, 123(1), 27–32. <https://doi.org/10.1115/1.1336798>
- Fallahtafti, F., Mohammadzadeh Gonabadi, A., Samson, K., & Yentes, J. M. (2021). Margin of Stability May Be Larger and Less Variable during Treadmill Walking Versus Overground. *Biomechanics*, 1(1), 118–130. doi:10.3390/biomechanics1010009
- Fukuchi, C. A., Fukuchi, R. K., & Duarte, M. (2018). A public dataset of overground and treadmill walking kinematics and kinetics in healthy individuals. *PeerJ*, 6, e4640. <https://doi.org/10.7717/peerj.4640>
- Fullenkamp, A. M., Toluoso, D. V., Laurent, C. M., Campbell, B. M., & Cripps, A. E. (2018). A Comparison of Both Motorized and Nonmotorized Treadmill Gait Kinematics to Overground Locomotion. *Journal of sport rehabilitation*, 27(4), 357–363. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0125>
- Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, Welch VA (editors). (2021). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. 2nd Edition. Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2019.
- Hollman, J. H., Watkins, M. K., Imhoff, A. C., Braun, C. E., Akervik, K. A., & Ness, D. K. (2016). A comparison of variability in spatiotemporal gait parameters between treadmill and overground walking conditions. *Gait & Posture*, 43, 204–209. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.09.024
- Holmes, H. H., Fawcett, R. T., & Roper, J. A. (2021). Changes in Spatiotemporal Measures and Variability During User-Driven Treadmill, Fixed-Speed Treadmill, and Overground Walking in Young Adults: A Pilot Study. *Journal of applied biomechanics*, 37(3), 277–281. <https://doi.org/10.1123/jab.2020-0109>
- Kim, S., Chun, J. & Hong, J. (2013). Ergonomic Interventions as a Treatment and Preventive Tool for Work-Related Musculoskeletal Disorders. *International Journal of Caring Sciences*, 6,3 339-348.

- Kranzl, A., Karoline, S., Margit, G. (2019). A comparison of overground and treadmill walking in healthy adults using the Oxford foot model. *Gait & Posture*, 73(1), 244-245. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.07.236>
- Kumbhalkar, M. A., Rambhad, K. S., & Jee Kanu, N. (2021). An insight into biomechanical study for replacement of knee joint. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2021.05.202
- La Clinique Du Coureur. (productores y directores). (2018). Explaining cadence – The Running Clinic. Extraído de <https://www.youtube.com/watch?v=WtYK7puN5OM>
- Lee, S. J., & Hidler, J. (2008). Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 104(3), 747–755. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01380.2006>
- Lim, S. Y., & Lee, W. H. (2018). Effects of pelvic range of motion and lower limb muscle activation pattern on over-ground and treadmill walking at the identical speed in healthy adults. *Journal of physical therapy science*, 30(4), 619–624. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.619>
- Lockhart, T. E. (2013). Biomechanics of Human Gait – Slip and Fall Analysis. *Encyclopedia of Forensic Sciences*, 466–476. doi:10.1016/b978-0-12-382165-2.00151-3
- Malatesta, D., Canepa, M., & Menendez Fernandez, A. (2017). The effect of treadmill and overground walking on preferred walking speed and gait kinematics in healthy, physically active older adults. *European journal of applied physiology*, 117(9), 1833–1843. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3672-3>
- Mehrpavar, A. H., Heydari, M., Mirmohammadi, S. J., Mostaghaci, M., Davari, M. H., & Taheri, M. (2014). Ergonomic intervention, workplace exercises and musculoskeletal complaints: a comparative study. *Medical journal of the Islamic Republic of Iran*, 28, 69, 1-8.
- Meyer, C., Killeen, T., Easthope, C. S., Curt, A., Bolliger, M., Linnebank, M., ... Filli, L. (2019). Familiarization with treadmill walking: How much is enough? *Scientific Reports*, 9(1). doi:10.1038/s41598-019-41721-0
- Moher, D., Liberai, A., Tetzlaff, J., Altman, D., Prisma Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Montgomery, G., Abt, G., Dobson, C., Smith, T., & Ditroilo, M. (2016). Tibial impacts and muscle activation during walking, jogging and running when performed overground, and on motorised and non-motorised treadmills. *Gait & posture*, 49, 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.037>
- Nagano, H., Begg, R. K., Sparrow, W. A., & Taylor, S. (2011). Ageing and limb dominance effects on foot-ground clearance during treadmill and overground walking. *Clinical*

biomechanics (Bristol, Avon), 26(9), 962–968.
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.05.013>

- Nagano, H., Begg, R. K., Sparrow, W. A., & Taylor, S. (2013). A Comparison of Treadmill and Overground Walking Effects on Step Cycle Asymmetry in Young and Older Individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(2), 188–193. doi:10.1123/jab.29.2.188
- Normand, S. (1999). Meta-analysis: formulating, evaluating, combining, and reporting. *Statistics in Medicine*, 18 (3), 321-359. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0258\(19990215\)18:3<321::AID-SIM28>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0258(19990215)18:3<321::AID-SIM28>3.0.CO;2-P)
- Nymark, J. R., Balmer, S. J., Melis, E. H., Lemaire, E. D., & Millar, S. (2005). Electromyographic and kinematic nondisabled gait differences at extremely slow overground and treadmill walking speeds. *Journal of rehabilitation research and development*, 42(4), 523–534. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2004.05.0059>
- Owings, T. M., & Grabiner, M. D. (2004). Step width variability, but not step length variability or step time variability, discriminates gait of healthy young and older adults during treadmill locomotion. *Journal of Biomechanics*, 37(6), 935–938. doi:10.1016/j.jbiomech.2003.11.012
- Parvataneni, K., Ploeg, L., Olney, S. J., & Brouwer, B. (2009). Kinematic, kinetic and metabolic parameters of treadmill versus overground walking in healthy older adults. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 24(1), 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2008.07.002>
- Physical Therapy Education Solutions. (Directores y Productores). (2021). Understanding the basics of gait. Extraído de <https://www.youtube.com/watch?v=Ab8KICAI1ew>
- Plotnik, M., Azrad, T., Bondi, M., Bahat, Y., Gimmon, Y., Zeilig, G., Inzelberg, R., & Siev-Ner, I. (2015). Self-selected gait speed--over ground versus self-paced treadmill walking, a solution for a paradox. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12, 20. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0002-z>
- Prosser, L. A., Stanley, C. J., Norman, T. L., Park, H. S., & Damiano, D. L. (2011). Comparison of elliptical training, stationary cycling, treadmill walking and overground walking. Electromyographic patterns. *Gait & Posture*, 33(2), 244–250. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.11.01
- Riley, P. O., Paolini, G., Della Croce, U., Paylo, K. W., & Kerrigan, D. C. (2007). A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. *Gait & posture*, 26(1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.07.003>
- Riley, R. D., Higgins, J. P. T., & Deeks, J. J. (2011). Interpretation of random effects meta-analyses. *BMJ*, 342(feb10 2), d549–d549. doi:10.1136/bmj.d549

- Rosenblatt, N. J., & Grabiner, M. D. (2010). Measures of frontal plane stability during treadmill and overground walking. *Gait & posture*, 31(3), 380–384. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.01.002>
- Row Lazzarini, B. S., & Kataras, T. J. (2016). Treadmill walking is not equivalent to overground walking for the study of walking smoothness and rhythmicity in older adults. *Gait & posture*, 46, 42–46. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.02.012>
- Ryan, R. (2016). Cochrane Consumers and Communication Review Group. ‘Cochrane Consumers and Communication Group: meta-analysis. Extracted from http://cccr.org/cochrane.org/sites/cccr.org/cochrane.org/files/public/uploads/meta-analysis_revised_december_1st_1_2016.pdf
- Schmitt, A. C., Baudendistel, S. T., Lipat, A. L., White, T. A., Raffegeau, T. E., & Hass, C. J. (2021). Walking indoors, outdoors, and on a treadmill: Gait differences in healthy young and older adults. *Gait & posture*, 90, 468–474. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.09.197>
- Song, P., Sturnieks, D. L., Davis, M. K., Lord, S. R., & Okubo, Y. (2021). Perturbation-Based Balance Training Using Repeated Trips on a Walkway vs. Belt Accelerations on a Treadmill: A Cross-Over Randomised Controlled Trial in Community-Dwelling Older Adults. *Frontiers in sports and active living*, 3, 702320. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.702320>
- Staszkiwicz, R., Chwała, W., Forczek, W., & Laska, J. (2012). Three-dimensional analysis of the pelvic and hip mobility during gait on a treadmill and on the ground. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 14(2), 83–89.
- Stoia, D. & Toth-Tascau, M. (2011). Comparison of treadmill-based and overground gait analysis. *IFMBE Proceedings*, 36, 368-371.
- Sung, P. S. (2018). Increased double limb support times during walking in right limb dominant healthy older adults with low bone density. *Gait & Posture*, 63, 145–149. [doi:10.1016/j.gaitpost.2018.04.03](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.04.03)
- Tanaka, R., Tamura, H., & Kawanishi, H. (2020). Reliability of a markerless motion capture system to measure the trunk, hip and knee angle during walking on a flatland and a treadmill. *Journal of Biomechanics*, 109929. [doi:10.1016/j.jbiomech.2020.109929](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.109929)
- Tekscan. (s.f.). The Gait Cycle: Phases, Parameters to Evaluate & Technology. Extraído de <https://www.tekscan.com/blog/medical/gait-cycle-phases-parameters-evaluate-technology>
- Tulchin, K., Orendurff, M., & Karol, L. (2010). A comparison of multi-segment foot kinematics during level overground and treadmill walking. *Gait & posture*, 31(1), 104–108. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.09.007>

- Van Hooren, B., Fuller, J. T., Buckley, J. D., Miller, J. R., Sewell, K., Rao, G., Barton, C., Bishop, C., & Willy, R. W. (2020). Is Motorized Treadmill Running Biomechanically Comparable to Overground Running? A Systematic Review and Meta-Analysis of Cross-Over Studies. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(4), 785–813. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01237-z>
- Vogt, L., Pfeifer, K., & Banzer, W. (2002). Comparison of angular lumbar spine and pelvis kinematics during treadmill and overground locomotion. *Clinical Biomechanics*, 17(2), 162–165. doi:10.1016/s0268-0033(01)00111-5
- Walha, R., Lebel, K., Gaudreault, N., Dagenais, P., Cereatti, A., Della Croce, U., & Boissy, P. (2021). The Accuracy and Precision of Gait Spatio-Temporal Parameters Extracted from an Instrumented Sock during Treadmill and Overground Walking in Healthy Subjects and Patients with a Foot Impairment Secondary to Psoriatic Arthritis. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(18), 6179. <https://doi.org/10.3390/s21186179>
- Warabi, T., Kato, M., Kiriya, K., Yoshida, T., & Kobayashi, N. (2005). Treadmill walking and overground walking of human subjects compared by recording sole-floor reaction force. *Neuroscience Research*, 53(3), 343–348. doi:10.1016/j.neures.2005.08.005
- Yang, F., & King, G. A. (2016). Dynamic gait stability of treadmill versus overground walking in young adults. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 31, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.09.004>
- Yang, S., & Li, Q. (2012). IMU-based ambulatory walking speed estimation in constrained treadmill and overground walking. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 15(3), 313–322. <https://doi.org/10.1080/10255842.2010.534465>
- Yao, J., Guo, N., Xiao, Y., Li, Z., Li, Y., Pu, F., & Fan, Y. (2019). Lower limb joint motion and muscle force in treadmill and over-ground exercise. *BioMedical Engineering OnLine*, 18(1). doi:10.1186/s12938-019-0708-4
- Zeni, J. A., Jr, Richards, J. G., & Higginson, J. S. (2008). Two simple methods for determining gait events during treadmill and overground walking using kinematic data. *Gait & posture*, 27(4), 710–714. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.07.007>

Anexos:

Figura N°3: Resultados metaanálisis velocidad de marcha

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.128	0.070	0.186	0.030	< 0.001

Heterogeneity

tau^2	Q(df=11)	Het. p-Value	I^2
0.007	37.467	< 0.001	70.641

Forest Plot

Studies	Estimate (95% C.I.)
4 2018	0.120 (-0.046, 0.286)
8 2007	0.050 (-0.030, 0.130)
10 2016	0.263 (0.196, 0.330)
12 2014	0.250 (0.160, 0.340)
17 2017	0.120 (0.018, 0.222)
28 2021	0.160 (0.048, 0.272)
29 2009	0.000 (-0.131, 0.131)
31 2016	0.220 (0.112, 0.328)
33 2011	0.061 (-0.060, 0.182)
35 2019	0.130 (0.006, 0.254)
36 2010	0.100 (-0.062, 0.262)
41 2021	-0.020 (-0.155, 0.115)
Overall (I²=70.64 % , P< 0.001)	0.128 (0.070, 0.186)

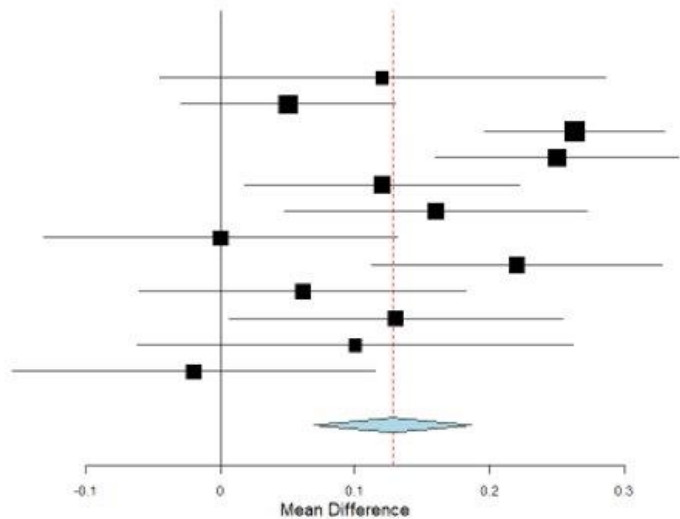


Figura N°4: Resultados metaanálisis cadencia

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.093	-3.424	3.610	1.794	0.959

Heterogeneity

tau ²	Q(df=10)	Het. p-Value	I ²
27.271	61.893	< 0.001	83.843

Forest Plot

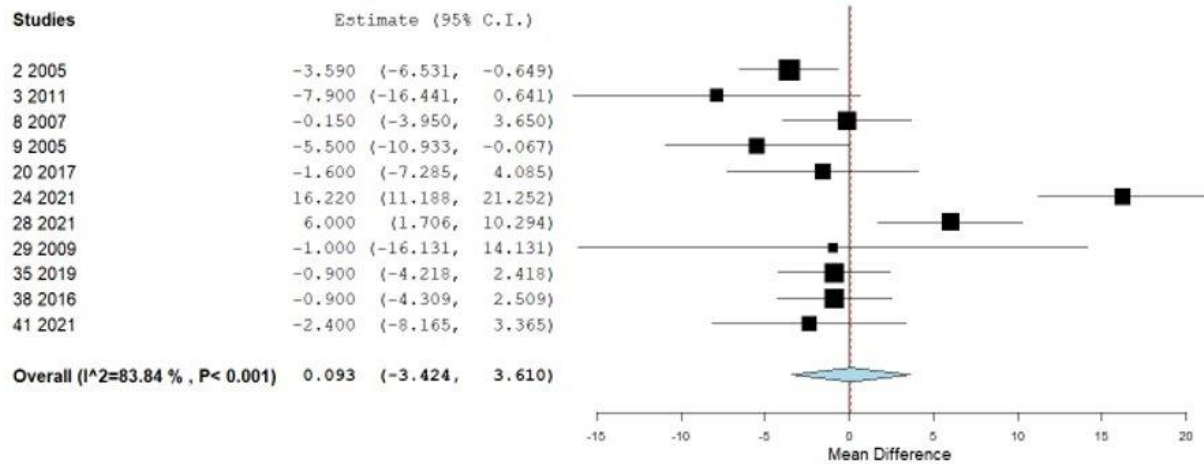


Figura N°5: Resultados metaanálisis longitud de Zancada

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.056	0.016	0.095	0.020	0.006

Heterogeneity

tau ²	Q(df=5)	Het. p-Value	I ²
0.001	8.792	0.118	43.133

Forest Plot

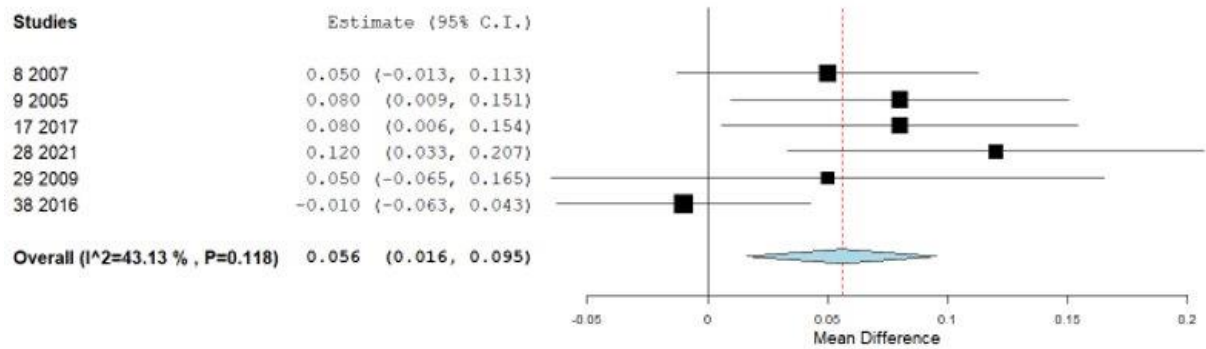


Figura N°6: Resultados metaanálisis longitud de Paso

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.005	-0.017	0.027	0.011	0.655

Heterogeneity

tau ²	Q(df=3)	Het. p-Value	I ²
0.000	0.581	0.901	0

Forest Plot

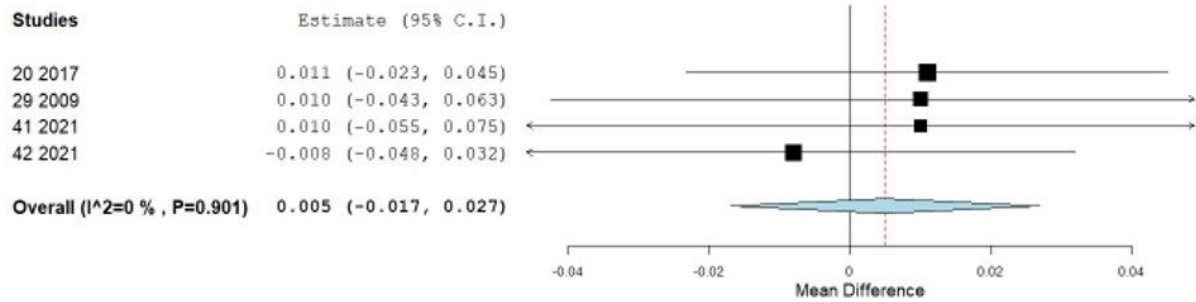


Figura N°7: Resultados metaanálisis fase de apoyo de dos extremidades

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
-1.139	-3.413	1.136	1.160	0.326

Heterogeneity

tau ²	Q(df=2)	Het. p-Value	I ²
3.470	16.881	< 0.001	88.152

Forest Plot

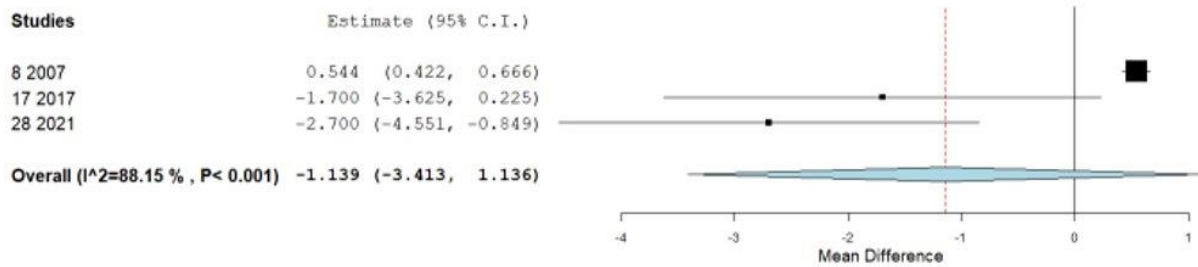


Figura N°8: Resultados metaanálisis tiempo de apoyo de dos extremidades

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
-0.010	-0.021	0.001	0.006	0.077

Heterogeneity

tau ²	Q(df=2)	Het. p-Value	I ²
0.000	1.760	0.415	0

Forest Plot

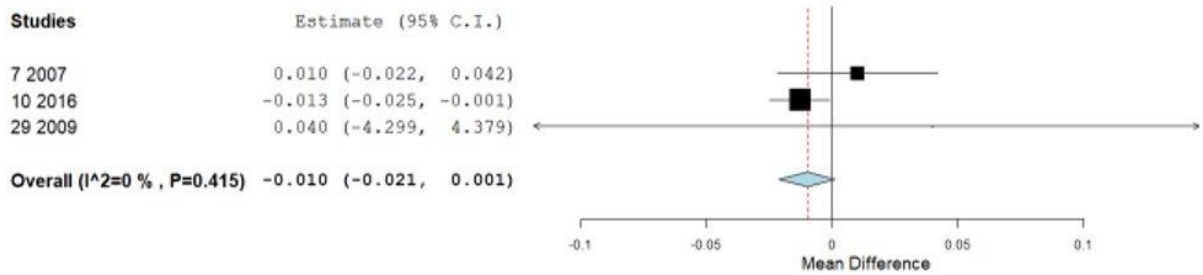


Figura N°9: Resultados metaanálisis ancho de paso

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.012	-0.004	0.028	0.008	0.132

Heterogeneity

tau ²	Q(df=2)	Het. p-Value	I ²
0.000	3.026	0.220	33.91

Forest Plot

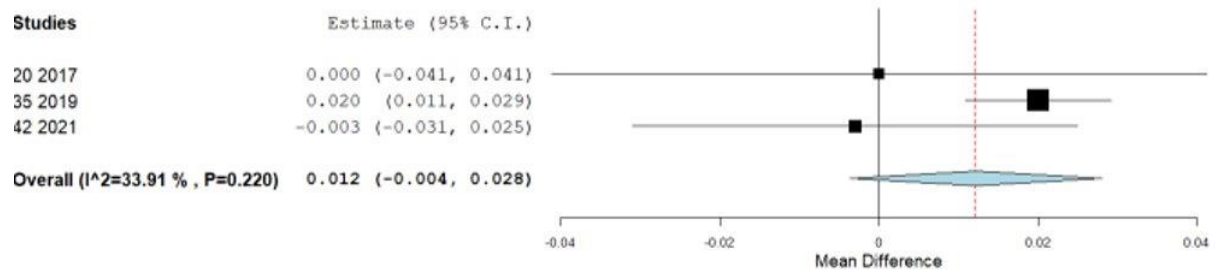


Figura N°10: Resultados metaanálisis heal strike pitch angle

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.071	-4.818	4.959	2.494	0.977

Heterogeneity

tau ²	Q (df=1)	Het. p-Value	I ²
10.159	5.339	0.021	81.27

Forest Plot

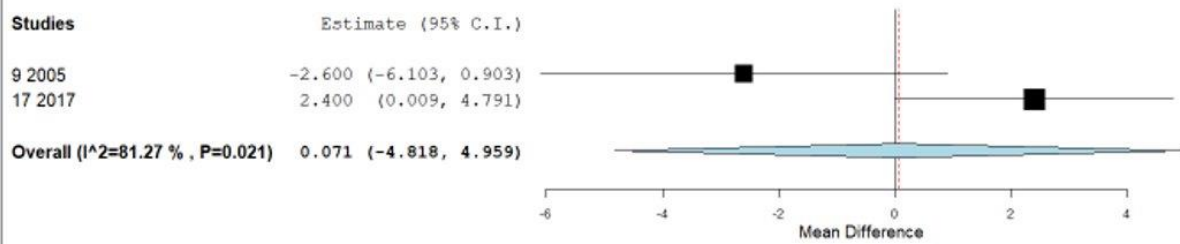


Figura N°11: Resultados metaanálisis tiempo de apoyo

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.028	-0.015	0.071	0.022	0.200

Heterogeneity

tau ²	Q(df=1)	Het. p-Value	I ²
0.000	0.033	0.856	0

Forest Plot

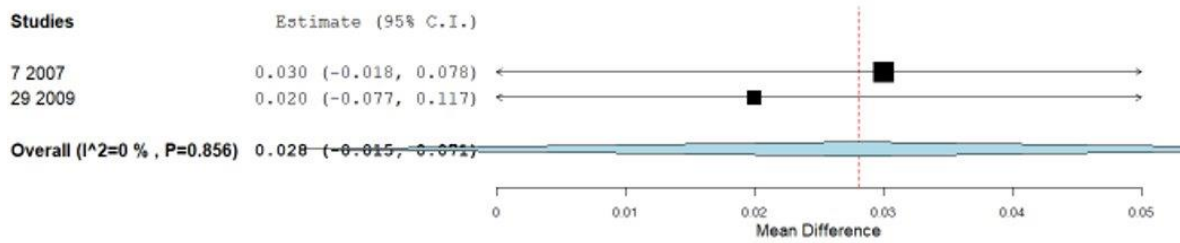


Figura N°12: Resultados metaanálisis tiempo de zancada

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
-0.000	-0.023	0.022	0.011	0.972

Heterogeneity

tau ²	Q(df=1)	Het. p-Value	I ²
0.000	0.557	0.455	0

Forest Plot

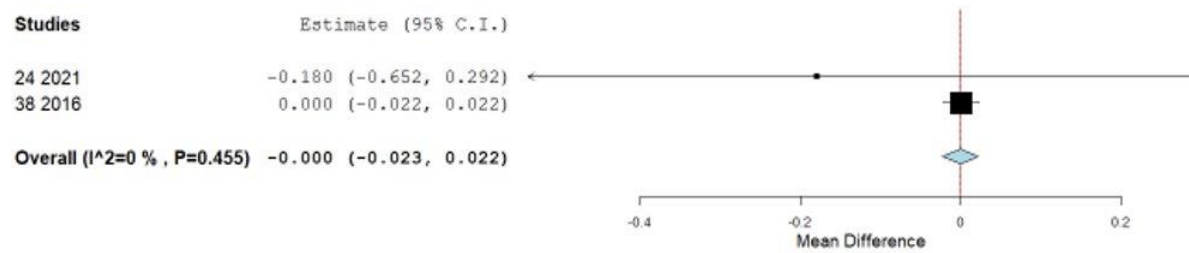


Figura N°13: Resultados metaanálisis tiempo de impulsión

Summary

Continuous Random-Effects Model

Metric: Mean Difference

Model Results

Estimate	Lower bound	Upper bound	Std. error	p-Value
0.008	-0.029	0.044	0.018	0.681

Heterogeneity

tau ²	Q(df=1)	Het. p-Value	I ²
0.000	1.836	0.175	45.526

Forest Plot

