



INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES SEXO Y
CALZADO/DESCALZO SOBRE LAS PRESIONES
PLANTARES EN LA CARRERA A PIE



CURSO ACADÉMICO 2023 / 2024

TRABAJO DE FIN DE MASTER (TFM)

JUAN JOSÉ BRAVO MORATA

TUTOR: JOSE LUÍS LOPEZ ELVIRA

Índice

RESUMEN	3
Palabras clave	3
INTRODUCCIÓN	4
MÉTODO	5
Participantes	5
Protocolo	6
Familiarización	6
Toma de datos	7
Análisis de los datos	9
Análisis estadístico	9
BIBLIOGRAFÍA	9



RESUMEN

La práctica de la carrera a pie ha sido objeto de un profundo escrutinio biomecánico, y la influencia de la presión plantar en este contexto ha captado la atención de investigadores y profesionales del ámbito deportivo. Diversas investigaciones han identificado factores clave como el momento de máxima presión, el pico de fuerza, la superficie de contacto, el tiempo de contacto y la presión máxima, todos ellos cruciales para comprender la economía de carrera, un determinante importante en el desempeño de los corredores.

El debate sobre las diferencias entre correr con calzado y descalzo ha captado considerable interés. Estudios sugieren que correr descalzo altera la pisada y redistribuye las fuerzas. Sin embargo, el calzado especializado también puede incrementar el rendimiento al proporcionar amortiguación y estabilidad.

Desde una perspectiva de género, se han observado diferencias significativas en la biomecánica de la carrera entre hombres y mujeres, lo que afecta la manera en que se generan y transmiten las fuerzas durante la carrera. A pesar de estas evidencias, muchos estudios no han considerado adecuadamente las interacciones entre el género y las condiciones de calzado o descalzo.

Este estudio aborda esta brecha al comparar las características de la carrera con calzado frente a la carrera descalza, teniendo en cuenta la variable de sexo en corredores recreativos. Se analizaron variables biomecánicas como la superficie de contacto, la presión máxima, el momento del pico de fuerza y el tiempo de contacto total durante la carrera, en condiciones experimentales de calzado y descalzo.

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se adentra en el estudio de cómo la presión plantar varía entre sexos durante la carrera a pie, explorando específicamente las diferencias entre correr calzado y descalzo. La relevancia de esta investigación radica en su contribución al conocimiento de las disparidades biomecánicas entre hombres y mujeres, así como en la comprensión de cómo el calzado afecta a estos patrones.

Palabras clave

Biomecánica de la carrera, presión plantar, sexo en la carrera, carrera calzado, carrera descalzo

INTRODUCCIÓN

La biomecánica de la carrera es una disciplina científica que estudia la técnica de carrera a través del análisis de los movimientos y las fuerzas implicadas, siendo crucial para mejorar el rendimiento atlético. La literatura científica ha documentado de manera extensa la ergonomía de la carrera (Novacheck, 1998; van Oeveren et al., 2024) enfocándose en cómo diferentes factores influyen en el rendimiento. La biomecánica de la carrera, que incluye variables como el momento de máxima presión, pico de fuerza, superficie de contacto, tiempo de contacto y presión máxima, es crucial para comprender más acerca de la economía de carrera que es un determinante clave en el desempeño del deportista (Barnes & Kilding, 2015; Folland et al., 2017). Así el momento de máxima presión y el pico de fuerza están directamente relacionados con la capacidad del corredor para generar y transmitir fuerza de manera eficiente (Nagahara et al., 2021), mientras que la superficie y el tiempo de contacto ofrecen información sobre la eficiencia del paso (Di Michele & Merni, 2014)

La diferencia entre correr con calzado y descalzo ha sido un tema de considerable interés tanto en la literatura científica como en la sociedad. La carrera descalza ha ganado popularidad por sus posibles beneficios en la mejora de la biomecánica, estudios sugieren mejoras en la propiocepción y aumentos en la fuerza de la musculatura del pie (Lieberman, 2012; Mullen et al., 2014). También existe evidencia acerca de la mejor absorción de las fuerzas de impacto y de la mejora de la economía de carrera a altas intensidades (Shih et al., 2013; Sinclair et al., 2015). A pesar de estos beneficios, no existe un consenso claro de que correr descalzo reduzca significativamente la incidencia lesional, ya que las diferencias biomecánicas individuales y patrones de carrera juegan un papel crucial (Beierle et al., 2019; Murphy et al., 2013; Vormittag et al., 2009). Por el lado contrario, estudios sugieren que el calzado especializado puede atenuar las fuerzas de impacto (Divert et al., 2005, 2008; Lohman et al., 2011), además logra aumentar la activación de los músculos intrínsecos del pie y reducir la compresión del arco longitudinal, lo que puede mejorar la estabilidad y el control del pie (Kelly et al., 2016).

El análisis de la carrera desde una perspectiva de sexo ha revelado diferencias significativas en la biomecánica entre hombres y mujeres. Algunos estudios han revelado que las características biomecánicas varían entre hombres y mujeres durante la marcha, destacando la importancia de considerar estas diferencias al analizar la presión plantar en la carrera a pie. Los hombres tienden a tener una mayor área de contacto y fuerzas máximas más altas en el talón y algunas cabezas metatarsianas, mientras que las mujeres tienden a generar mayores presiones en regiones específicas como el medio pie y el antepié lateral, pero no se encuentran diferencias significativas entre en la presión máxima ni el tiempo de contacto entre ellos (Periyasamy et al., 2011; Putti et al., 2010). Además, las diferencias en la masa y composición corporal pueden afectar cómo hombres y mujeres generan y transmiten fuerzas durante la carrera, debido en parte a que las mujeres tienen un porcentaje de grasa mayor y menos masa muscular que los corredores masculinos (Wilmore et al., 1977; Wright et al., 2002). Estas variaciones biomecánicas sugieren que el sexo es una variable crucial para considerar en estudios sobre rendimiento en carrera

A pesar de la abundancia de investigaciones sobre biomecánica de la carrera, la mayoría de los estudios se han centrado en poblaciones generales sin considerar adecuadamente las interacciones entre el sexo y las condiciones de calzado o descalzo. Variables como el momento de máxima presión, pico de fuerza, superficie de contacto, tiempo de contacto y presión máxima no han sido suficientemente investigadas desde esta perspectiva combinada.

MÉTODO

Participantes. Un total de 25 participantes fueron elegidos de entre los voluntarios para este estudio, dividiéndose la muestra en 12 hombres y 13 mujeres. Todos ellos sanos, sin limitaciones para la práctica deportiva y practicantes de carrera a pie. Sus medidas antropométricas se recogen en la tabla 1.

Tabla 1

Medidas antropométricas de la muestra seleccionada

Sexo	Muestra	Edad (años)	Talla (m)	Masa (kg)	IMC (kg/m ²)
Hombre	n=12	39,25 ± 15,63	1,76 ± 0,08	76,5 ± 11,8	24,55 ± 2,12
Mujer	n=13	35,92 ± 13,05	1,61 ± 0,06	56,85 ± 8,1	21,87 ± 2,96

IMC = Índice de masa corporal

Como criterios de inclusión, se tuvo en cuenta que el/la participante tuviera experiencia en la carrera a pie completando un mínimo de 20 km semanales, ser mayor de edad, no padecer ningún tipo de lesión y no haber sufrido una cirugía en el tren inferior en el último año. Los participantes fueron informados del objetivo del estudio y los protocolos que se utilizarían antes de firmar el consentimiento informado y comenzar con el estudio.

Este estudio ha sido aprobado por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández con el Código de Investigación Responsable (COIR): TFM.MRD.JLLE.JJBM.240305.

Protocolo.

Familiarización. La sesión de familiarización se llevó a cabo inmediatamente antes de la toma de datos, donde el sujeto experimentó con la plataforma, realizó varias pisadas y realizó la carrera en el espacio delimitado. Antes de volcarnos en la sesión en sí explicamos el procedimiento de la toma de datos, dejando claro la intención del estudio y su carácter divulgativo. Una vez firmado el consentimiento informado se tomaron datos acerca de talla, peso, edad y número de calzado. Cada registro tuvo una duración de en torno a un cuarto de hora, en el cual un profesional de la actividad física junto con un podólogo informó sobre la correcta ejecución verbalmente y mediante una demostración práctica. El registro debía realizarse a un ritmo moderado, entendiendo este como su ritmo de competición en una prueba de media maratón. El paso no debía ser ajustado para hacerlo coincidir con la plataforma, ya que esto podría condicionar la toma de datos, por lo que se debía mantener un ritmo constante, el cual se ajustaba a razón de su ritmo en media maratón y se

corroboraba mediante un registro del tiempo a los 5 m, a los 10 m y a los 15 m. La tolerancia máxima admitida en los tiempos de paso era de ± 1 s

Tras la explicación de la correcta ejecución el sujeto se dispuso a ejecutarla a modo de práctica recibiendo un feedback constante. Una vez clara la técnica correcta y asegurándonos de la correcta ejecución por parte del sujeto, se dio por finalizada esta sesión de familiarización.

Toma de datos. Con el objetivo de registrar las distintas variables, se utilizó una plataforma de presiones Podoprint® (Grupo Namrol, Barcelona, España) de dimensiones de 570 × 570 mm y equipada con 1600 sensores altamente sensibles, con una frecuencia de registro de 200 Hz. Siendo esta plataforma de presiones un dispositivo recientemente validado para el registro en condiciones dinámicas de la pisada (Cobos-Moreno et al., 2022)



Figura 1. Plataforma Podoprint®.

En la propia toma de datos experimentales se procedió a realizar un calentamiento dirigido por un profesional de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, de una duración aproximada de 7 min.

Una vez concluido el calentamiento se procedió a la ejecución de la carrera a pie y el registro de los valores de presiones durante la misma. Se ejecutó cada una de las condiciones experimentales hasta obtener cuatro registros válidos del pie dominante, realizando un contrabalanceo de la condición calzada o descalza entre sujetos del mismo sexo para evitar asociar los resultados a la fatiga. El tiempo de ejecución fue de en torno a 2 min en cada una de las variaciones y el descanso entre ambas fue de 1 min. La ejecución se llevó a cabo en un espacio de 15 m de longitud y se prestó especial atención a que no se condicionase la pisada, a que el sujeto mantuviese un ritmo constante y a que la longitud de zancada no se modificara, aportando feedback verbal constante. Se descartaron todos aquellos ensayos que bajo la opinión de los investigadores no cumpliera alguno de los criterios descritos anteriormente o que el registro de la huella se viese afectado.



Figura 2. Correcto registro de la pisada en el ensayo.

Análisis de los datos. El volcado de datos acerca de las presiones se realizó desde el propio software de la plataforma, extrayendo los datos de cada registro en el programa informático Microsoft® Excel® para Microsoft 365 MSO, donde se creó una base de datos para su posterior vuelco en el programa IBM SPSS Statistics, donde finalmente se analizaron las variables obtenidas: superficie de contacto (cm²), presión máxima (g/cm²), momento del pico de fuerza (ms) y el tiempo de contacto total (ms) durante la ejecución de la carrera a pie en dos condiciones calzado y en la condición descalzo.

Análisis estadístico. El análisis estadístico se desarrolló en primer lugar confirmando la distribución normal de los datos, utilizando la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov para las distintas variables. Se calcularon estadísticos descriptivos que incluyen medias y desviaciones estándar para cada variable. Se obtuvieron en todas ellas una distribución normal excepto en la variable momento del pico de fuerza (ms) en la muestra de mujeres.

Se llevó a cabo un ANOVA mixto de medidas repetidas para analizar si las diferencias entre las variaciones en el registro dependían del sexo, siendo las variaciones (la condición calzado y descalzo de cada una de las variables) el factor intra-sujeto y el sexo (2 niveles: masculino y femenino) el factor inter-sujetos.

Se utilizó la correlación de Pearson (r) para describir las relaciones entre la condición y el sexo en las distintas variables analizadas.

Para el análisis se empleó el paquete SPSS (versión 29, SPSS Chicago, Illinois, EE.UU.), donde se realizó el ANOVA y el análisis de correlación, con el nivel de significancia fijado en 0,05.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y>
- Beierle, R., Burton, P., Smith, H., Smith, M., & Ives, S. J. (2019). The Effect of Barefoot Running on EMG Activity in the Gastrocnemius and Tibialis Anterior in Active College-Aged Females. *International Journal of Exercise Science*, 12(1), 1110.

/pmc/articles/PMC6886612/

- Cobos-Moreno, P., Astasio-Picado, Á., Martínez- Nova, A., Sánchez- Rodríguez, R., Escamilla- Martínez, E., & Gómez-Martín, B. (2022). The Podoprint® plantar pressure platform: Evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameters. *Journal of Tissue Viability*, 31(4), 619–624. <https://doi.org/10.1016/J.JTV.2022.07.005>
- Di Michele, R., & Merni, F. (2014). The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(4), 414–418. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.05.012>
- Divert, C., Baur, H., Mornieux, G., Mayer, F., & Belli, A. (2005). Stiffness adaptations in shod running. *Journal of Applied Biomechanics*, 21 4(4), 311–321. <https://doi.org/10.1123/JAB.21.4.311>
- Divert, C., Mornieux, G., Freychat, P., Baly, L., Mayer, F., & Belli, A. (2008). Barefoot-shod running differences: shoe or mass effect? *International Journal of Sports Medicine*, 29 6(6), 512–518. <https://doi.org/10.1055/S-2007-989233>
- Folland, J. P., Allen, S. J., Black, M. I., Handsaker, J. C., & Forrester, S. E. (2017). Running Technique is an Important Component of Running Economy and Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(7), 1412–1423. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001245>
- Kelly, L. A., Lichtwark, G. A., Farris, D. J., & Cresswell, A. (2016). Shoes alter the spring-like function of the human foot during running. *Journal of The Royal Society Interface*, 13(119). <https://doi.org/10.1098/RSIF.2016.0174>
- Lieberman, D. E. (2012). What we can learn about running from barefoot running: An evolutionary medical perspective. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(2), 63–72. <https://doi.org/10.1097/JES.0B013E31824AB210>
- Lohman, E. B., Balan Sackiriyas, K. S., & Swen, R. W. (2011). A comparison of the spatiotemporal parameters, kinematics, and biomechanics between shod, unshod, and minimally supported running as compared to walking. *Physical Therapy in Sport : Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 12 4(4), 151–163. <https://doi.org/10.1016/J.PTSP.2011.09.004>
- Mullen, S., Cotton, J., Bechtold, M., & Bruce Toby, E. (2014). Barefoot running: The effects of an 8-week barefoot training program. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2(3). https://doi.org/10.1177/2325967114525582/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_2325967114525582-FIG2.JPEG
- Murphy, K., Curry, E. J., & Matzkin, E. G. (2013). Barefoot running: Does it prevent injuries? *Sports Medicine*, 43(11), 1131–1138. <https://doi.org/10.1007/S40279-013-0093-2/FIGURES/2>
- Nagahara, R., Kanehisa, H., Matsuo, A., & Fukunaga, T. (2021). Are peak ground reaction forces related to better sprint acceleration performance? *Sports Biomechanics*, 20(3), 360–369. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1560494>
- Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait & Posture*, 7(1), 77–95. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)00038-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0966-6362(97)00038-6)
- Periyasamy, R., Mishra, A., Anand, S., & Ammini, A. C. (2011). Preliminary investigation of foot pressure distribution variation in men and women adults while standing. *The Foot*, 21(3),

142–148. <https://doi.org/10.1016/J.FOOT.2011.03.001>

Putti, A. B., Arnold, G. P., & Abboud, R. J. (2010). Foot pressure differences in men and women. *Foot and Ankle Surgery*, *16*(1), 21–24. <https://doi.org/10.1016/J.FAS.2009.03.005>

Shih, Y., Lin, K. L., & Shiang, T. Y. (2013). Is the foot striking pattern more important than barefoot or shod conditions in running? *Gait & Posture*, *38*(3), 490–494. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2013.01.030>

Sinclair, J., Atkins, S., Richards, J., & Vincent, H. (2015). Modelling of Muscle Force Distributions During Barefoot and Shod Running. *Journal of Human Kinetics*, *47*(1), 9–17. <https://doi.org/10.1515/HUKIN-2015-0057>

van Oeveren, B. T., de Ruiter, C. J., Beek, P. J., & van Dieën, J. H. (2024). The biomechanics of running and running styles: a synthesis. *Sports Biomechanics*, *23*(4), 516–554. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1873411>

Vormittag, K., Calonje, R., & Briner, W. W. (2009). Foot and ankle injuries in the barefoot sports. *Current Sports Medicine Reports*, *8*(5), 262–266. <https://doi.org/10.1249/JSR.0B013E3181B9E3BE>

Wilmore, J. H., Brown, C. H., & Davis, J. A. (1977). BODY PHYSIQUE AND COMPOSITION OF THE FEMALE DISTANCE RUNNER. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *301*(1), 764–776. <https://doi.org/10.1111/J.1749-6632.1977.TB38245.X>

Wright, A., Marino, F. E., Kay, D., Micalos, P., Fanning, C., Cannon, J., & Noakes, T. D. (2002). Influence of lean body mass on performance differences of male and female distance runners in warm, humid environments. *American Journal of Physical Anthropology*, *118*(3), 285–291. <https://doi.org/10.1002/AJPA.10057>