

# MODIFICACIÓN DE LAS PRESIONES PLANTARES AL CAMINAR EN TAPIZ RODANTE

DEPARTAMENTO DE FISIATRÍA Y ENFERMERÍA  
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

A. VILLARROYA APARICIO  
S. ALEBESQUE CORTÉS  
J.M. PÉREZ GARCÍA

## RESUMEN

Los estudios experimentales de la marcha, desde hace tiempo, han estado asociados a las pistas rodantes. Existen estudios sobre la validez de la utilización de estas pistas en el análisis de parámetros fisiológicos y cinemáticos, pero no está muy estudiado lo que ocurre con las presiones a que se ve sometida cada zona de la superficie plantar, por lo que se ha realizado su análisis caminando en suelo y en tapiz.

El estudio se ha realizado en 20 sujetos que caminaron, a velocidad cómoda, por un suelo de tarima y en una pista rodante, mientras se registraban las presiones plantares de ambos pies, mediante el sistema de baropodometría electrónica PDM 240.

Los valores de presión máxima y media a lo largo del ciclo de marcha, en el talón, son menores en el tapiz que en el suelo. Esta disminución no se produce en el antepié, donde tanto los valores máximos como los medios a lo largo del ciclo son mayores en el tapiz. Estas diferencias parecen deberse a un menor control, al caminar sobre una superficie móvil, que hace que se produzcan pasos más cortos, con menores tiempos de apoyo de talón y mayores de antepié.

Además, se modifica la distribución de las presiones en el antepié, con una mayor participación de los radios internos (primero y segundo metatarsianos). El aumento de presión en esa zona también parece estar relacionado con la inestabilidad que produce el terreno móvil, con una mayor pronación, y, por tanto, un mayor apoyo en los radios internos, descrita también en trabajos que estudian la marcha en otras situaciones que crean cierta inestabilidad, como puede ser la marcha con tacones altos.

**Palabras clave:** presiones plantares, marcha, pista rodante.

## SUMMARY

The experimental studies of walk, from time ago, have been associated to the rolling tracks. Studies exist about the validity of the utilization of these tracks in the physiological and cinematic parameters analysis, but it is not very studied what occurs with the distribution of the pressures in the plantar surface, therefore it has been accomplished its analysis walking in ground and in treadmill.

The study has been accomplished in 20 subject that walked, to comfortable speed, in a dais ground and in a rolling track, while the plantar pressures of both feet was registered, through the portable system electronic pedobarography PDM 240.

The maximum and medium pressure values along the gait cycle, in the heel, are smaller in the treadmill than in the ground. This decrease is not produced in the forefoot, where the maximum and medium values along the cycle are greater in the treadmill. These differences seem be must to a smaller control, upon walking on a mobile surface, that causes that shorter steps, with smaller times of support of heel and greater of forefoot are produced.

Furthermore, the distribution of the pressures in the forefoot is changed, with a greater participation of the internal rays (first and second metatarsal heads). The rise of pressure in that zone also seems be connected with the instability that produces the mobile area, with a greater pronation and therefore, a greater support in the internal rays, described also in works that study the gait in other situations that create certain instability, as can be the gait with high heels.

**Key words:** plantar pressures, gait, treadmill running.

## INTRODUCCIÓN

La marcha humana es una de las actividades motoras más importantes para el ser humano y la más estudiada, debido a la gran independencia que aporta (9). Junto a la higiene personal y la alimentación constituye una de las actividades básicas de la persona. Durante ella, los diferentes puntos de la superficie plantar están sometidos a unas determinadas presiones. El conocimiento, tanto de la intensidad como de la distribución de estas presiones es importante, ya que su alteración puede ocasionar distintas patologías, y, a la inversa, en determinadas afecciones se producen modificaciones en aquéllas.

Los estudios experimentales de la marcha, desde hace tiempo, han estado asociados a las pistas rodantes. Éstas permiten la marcha en un área reducida, controlando el nivel de actividad, variando la velocidad o la pendiente, y facilitan el uso de diferentes equipos de monitorización. Está demostrada la validez de la utilización de estas pistas en las pruebas de esfuerzo en las que se registran parámetros fisiológicos (7, 13). Por otra parte, respecto a los parámetros cinemáticos, aunque existe algún trabajo, como el de Zatshiorski (14), que indica que no hay variaciones al caminar en suelo y en tapiz, se acepta, que existen modificaciones, que van disminuyendo con la adaptación, aunque sin llegar a desaparecer, como una menor cadencia y longitud de paso en el tapiz, una menor extensión de cadera al final de la fase de apoyo, y una menor flexión dorsal del tobillo en esta fase, entre otras (1, 5, 12). En cuanto a la cinética, Nakhla y col. (6), describieron fuerzas verticales de reacción en tapiz menores que en suelo, pero no está muy estudiado lo que ocurre con las presiones plantares; en este sentido, Gheluwe y col. (2), usando un electrodinamograma, indicaban que, en tapiz, disminuyen las presiones en el talón, y Llana y Brizuela (3) también describen esta disminución, pero en un grupo muy reducido, de sólo tres sujetos.

Sabemos que existen diferentes factores que influyen en la intensidad y en la distribución de las presiones plantares. Entre ellos se encuentra el sexo, la edad, el peso, la velocidad de la marcha, el tipo de calzado y el tipo de terreno o superficie de apoyo. Si las diferentes superficies pueden afectar a las presiones plantares, caminar sobre un tapiz, que, además de las características de los materiales que lo forman, está en movimiento, también tiene que modificarlas, y debemos conocer estas variaciones ya que si no puede inducirnos a inter-

pretaciones erróneas. Por este motivo, y al no estar bien estudiado, hemos pretendido analizar las posibles diferencias en las presiones plantares, y en su distribución, al caminar en suelo y en tapiz rodante.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 20 sujetos (7 hombres y 13 mujeres), los cuales no padecían alteración alguna que interfiriera en el desarrollo de la marcha normal. Sus edades estaban comprendidas entre los 18 y 33 años (edad media de 21,65 años).

Todos ellos utilizaron el mismo tipo de calzado, de tipo deportivo, con suela blanda y cierre acordonado. El suelo en el que se realizó la marcha era una tarima de madera, de menor dureza que el terrazo, con lo que se disminuían las diferencias que podían derivarse de la menor dureza de la pista rodante, y se utilizó un tapiz EN-TRED, con posibilidad de regular la velocidad.

Para el registro de las presiones plantares se utilizó el Sistema PDM 240, que consta de diferentes juegos de plantillas, según el número y características del pie. Los sensores de cada plantilla, en número de 6, utilizan tecnología piezorresistiva, tipo interlink, que permite mediciones tanto estáticas como dinámicas (8), y están localizados en las zonas de mayor interés biomecánico del pie: el talón y debajo de las cinco cabezas metatarsianas. Las señales, desde un pequeño transmisor, colocado en la cintura, se transmiten por radiofrecuencia lo que da total libertad de movimientos. Las presiones se expresan en  $g / cm^2$  y no realizamos ninguna rectificación por el peso, ya que los valores se comparaban en los mismos sujetos, sólo que en diferentes condiciones.

Tras unos minutos de habituación al sistema, todos los sujetos caminaron sobre suelo llano una media de 20 pasos a un ritmo normal de marcha; posteriormente, y durante 10 minutos, realizaron una adaptación al tapiz rodante a una velocidad cómoda para cada uno, después de lo cual, caminaron sobre el mismo una media también de 20 pasos.

En los registros obtenidos se analizaron los valores máximos y medios de la presión en retropié, globalmente en antepié y dentro de éste, en cada una de las cabezas de los cinco metatarsianos, así como la distribución porcentual de la presión, por una parte, entre el retropié y el antepié y, por otra, entre las cabezas de los cinco metatarsianos. Con

los datos recogidos, se establecieron las diferencias de presión y de su distribución cuando se camina en suelo y en tapiz rodante.

Para la comparación de todos los parámetros estudiados, cuando se camina en suelo y en tapiz, se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon, dada la variabilidad de los datos y por tratarse de series apareadas.

**RESULTADOS**

Los resultados los hemos agrupado en dos bloques. En el primero se exponen los datos referentes al retropié y globalmente al antepié, y en el segundo los relativos a las cabezas de los cinco metatarsianos.

Los valores máximos y medios de presión registrados en antepié y retropié quedan reflejados en las Tablas I y II respectivamente. Se observa un aumento significativo tanto de la presión máxima

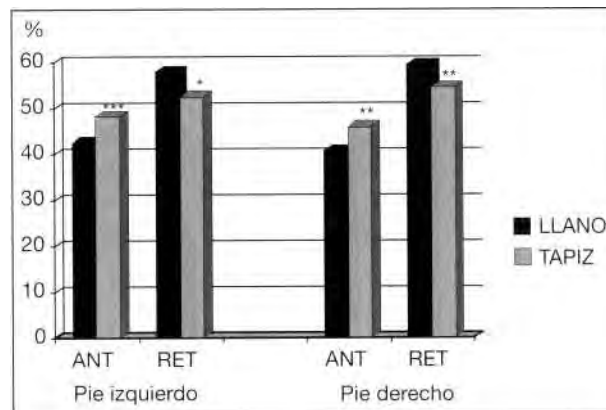


Fig. 1. Distribución porcentual de la presión en antepié y retropié, caminando en suelo y en tapiz (\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001).

como media en el antepié al caminar sobre tapiz rodante. La distribución porcentual entre estas dos zonas la encontramos en la Tabla III y la Fig. 1, en las que se aprecia una mayor participación del antepié al caminar en tapiz.

Los valores máximos y medios de presiones registrados bajo las cabezas de los cinco metatarsianos se observan en las Tablas IV y V respectivamente. Cabe destacar un aumento de los valores medios de presión, tanto máximos como medios, al caminar en tapiz, siendo significativa la diferencia en la mayoría de los casos, principalmente en el primer y segundo metatarsianos. La distribución porcentual de las presiones entre estos cinco puntos la encontramos en la Tabla VI y Fig. 2, en las que se aprecia una mayor participación de los metatarsianos internos (1º y 2º), con la consiguiente disminución en la parte externa, al caminar en tapiz.

Tabla I. Valores máximos de presión en antepié y retro pié, caminando sobre suelo llano y tapiz rodante (g/cm<sup>2</sup>).

	PIE IZQUIERDO		PIE DERECHO	
	LLANO	TAPIZ	LLANO	TAPIZ
Antepié	1252,650 (±545,962)	1455,200 (±687,552)	1291,353 (±748,814)	1470,765 (±894,606)
Retropié	2122,400 (±669,878)	1970,400 (±455,199)	2100,353 (±648,872)	2033,529 (±882,05)

(\*p < 0,05; \*\* p < 0,01)

Tabla II. Valores medios de presión en antepié y retropié, caminando sobre suelo llano y tapiz rodante (g/cm<sup>2</sup>).

	PIE IZQUIERDO		PIE DERECHO	
	LLANO	TAPIZ	LLANO	TAPIZ
Antepié	288,650 (±249,638)	345,950 (±301,460)	299,941 (±348,569)	352,882 (±397,051)
Retropié	337,350 (±138,678)	316,750 (±128,048)	321,765 (±108,579)	318,353 (±142,176)

(\*\*\* p < 0,001; \*\*\*\* p < 0,0001)

Tabla III. Distribución porcentual de la presión entre antepié y retropié, caminando sobre suelo llano y tapiz rodante (%).

	PIE IZQUIERDO		PIE DERECHO	
	LLANO	TAPIZ	LLANO	TAPIZ
Antepié	42,33 (±16,070)	47,994 (±15,671)	40,666 (±18,123)	45,722 (±16,812)
Retropié	57,644 (±16,082)	52,258 (±15,072)	59,345 (±18,123)	54,310 (±16,826)

(\* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001)

Tabla IV. Valores máximos de presión en cada una de las cabezas de los cinco metatarsianos, caminando sobre suelo llano y tapiz rodante (g/cm<sup>2</sup>).

	PIE IZQUIERDO		PIE DERECHO	
	LLANO	TAPIZ	LLANO	TAPIZ
M <sub>1</sub>	1502,700 (±666,518)	1932,600 (±914,376)	1642,941 (±847,386)	2007,235 (±1091,573)
M <sub>2</sub>	1810,300 (±753,963)	2131,200 (±841,540)	1736,00 (±884,814)	2116,294 (±1059,132)
M <sub>3</sub>	1873,100 (±798,574)	2131,250 (±1021,491)	2024,529 (±1635,043)	2379,765 (±1912,921)
M <sub>4</sub>	1287,150 (±612,970)	1438,700 (±745,788)	1144,294 (±571,353)	1433,059 (±683,179)
M <sub>5</sub>	1074,750 (±527,882)	1401,600 (±960,369)	1163,412 (±666,534)	1483,941 (±865,546)

(\*p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001)

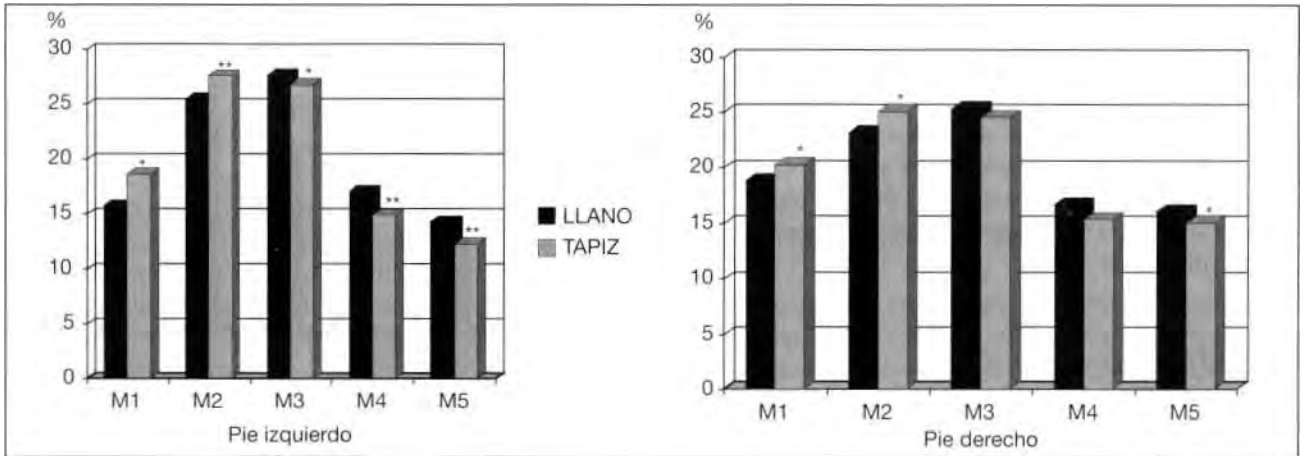


Fig. 2. Distribución porcentual de la presión entre las cabezas de los cinco metatarsianos, caminando en suelo y tapiz (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ).

Tabla V. Valores medios de presión en cada una de las cabezas de los cinco metatarsianos, caminando sobre suelo llano y tapiz rodante ( $g/cm^2$ ).

	PIE IZQUIERDO		PIE DERECHO	
	LLANO	TAPIZ	LLANO	TAPIZ
<b>M<sub>1</sub></b>	198,800	260,550	221,765	279,882
	(±132,481)	(±148,932)	(±187,572)	(±212,358)
<b>M<sub>2</sub></b>	364,850	452,400	364,706	445,529
	(±317,790)	(±365,052)	(±496,109)	(±570,495)
<b>M<sub>3</sub></b>	384,900	475,550	476,294	540,941
	(±344,920)	(±482,148)	(±722,576)	(±802,735)
<b>M<sub>4</sub></b>	259,950	284,100	220,588	250,588
	(±267,901)	(±308,140)	(±221,251)	(±261,178)
<b>M<sub>5</sub></b>	233,000	258,450	217,765	246,235
	(±252,243)	(±313,579)	(±207,510)	(±240,864)

(\* $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*\*\*  $p < 0,0001$ )

Tabla VI. Distribución porcentual de la presión entre las cabezas de los cinco metatarsianos, caminando sobre suelo llano y tapiz rodante ( $g/cm^2$ ).

	PIE IZQUIERDO		PIE DERECHO	
	LLANO	TAPIZ	LLANO	TAPIZ
<b>M<sub>1</sub></b>	15,711	18,568	18,799	20,224
	(±6,014)	(±7,232)	(±11,752)	(±11,997)
<b>M<sub>2</sub></b>	25,421	27,556	23,101	24,998
	(±6,076)	(±6,139)	(±6,650)	(±8,152)
<b>M<sub>3</sub></b>	27,578	26,768	25,305	24,488
	(±5,916)	(±6,087)	(±8,380)	(±8,713)
<b>M<sub>4</sub></b>	16,992	14,898	16,626	15,313
	(±3,370)	(±3,840)	(±6,864)	(±6,190)
<b>M<sub>5</sub></b>	14,297	12,235	16,018	14,982
	(±6,468)	(±6,376)	(±6,027)	(±5,915)

(\* $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ )

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que caminar en tapiz rodante, además de modificar, en mayor o menor medida, los parámetros cinemáticos, como indican Murray (5), Elliot (1) y Strathy (12), entre otros, también induce a modificaciones en parámetros cinéticos.

Así, los valores medios de la presión, máxima y media a lo largo del ciclo, en el talón son menores en el tapiz que en el suelo, aunque las diferencias en nuestro grupo no son significativas (Tablas I y II). Esta tendencia está en línea con lo indicado en los trabajos de Nahkla y col. (6), Gheluwe y col. (2) y Llana y Brizuela (3). Al caminar en tapiz, Nahkla y col. (6) describieron una

disminución de la fuerza de reacción vertical y Gheluwe y col. (2) y Llana y Brizuela (3) una tendencia a una menor presión en talón. Estos autores indican que estas diferencias podrían deberse al efecto amortiguador de la superficie del tapiz. Para nosotros, este efecto puede influir, aunque pensamos que no es demasiado importante ya que la comparación la hemos realizado con una marcha en tarima, con una amortiguación mayor que el terrazo utilizado en los estudios citados. Posiblemente en la tendencia a estas menores presiones influya el menor tiempo de apoyo de talón, visto también por Nahkla y col. (6) y por Llana y Brizuela (3), quien inmediatamente comparte la carga con otras zonas del pie. Por otra parte, esta disminución de presión no ocurre en el antepié,

donde tanto los valores máximos como los valores medios a lo largo del ciclo de la marcha son mayores al caminar en tapiz con diferencias significativas (Tablas I y II).

Estas diferencias, en talón y antepié, parecen deberse a un menor control, al caminar sobre una superficie móvil, a pesar de que la prueba se realizó cuando los sujetos estaban adaptados y aparentemente caminaban con normalidad. De hecho, Strathy y col. (12) indican que la inseguridad que se produce al caminar en tapiz hace que se produzcan pasos más planos, lo que da lugar a menores tiempos de apoyo de talón y mayores de antepié. Lógicamente la disminución de la presión en talón y el aumento en el antepié conlleva que la distribución porcentual varíe (Tabla III, Fig. 1) pasando de 42,33% en antepié y 57,64% en talón, a 47,99% y 52,25%, en suelo y en tapiz respectivamente.

Si en el antepié, analizamos las presiones bajo la cabeza de cada uno de los cinco metatarsianos, se observa un aumento en todas ellas, pero en mayor medida en las tres primeras (Tablas IV y V). De hecho, al caminar en tapiz se modifica la distribución de presiones en el antepié con una mayor participación de los radios internos (primer y segundo metatarsianos) (Tabla VI, Fig. 2). El aumento de presión en el primer dedo también lo describían Llana y Brizuela (3) en los tres sujetos que estudiaron, y parece estar relacionado con la inestabilidad que produce el terreno móvil, con una mayor pronación, y, por tanto, un mayor apoyo de la zona interna. Estos resultados coinciden con los encontrados por algunos autores (4, 10, 11) que han estudiado la marcha con tacón, en la que también se produce una inestabilidad, y los justifican de la misma forma, es decir, por un aumento de la pronación para conseguir mayor estabilidad.

## CONCLUSIONES

— En la marcha en tapiz rodante hay mayores presiones, tanto máximas como medias a lo largo del ciclo, en el antepié y una tendencia a una disminución en el talón.

— En la marcha en tapiz rodante se produce una modificación de la distribución de presiones entre el antepié y el retropié, aumentando la participación del primero (47,99%) y disminuyendo la del segundo (52,25%).

— Al caminar en tapiz rodante hay mayores presiones, máximas y medias a lo largo del ciclo,

en las cabezas de los cinco metatarsianos, siendo significativa la diferencia en los tres primeros.

- La marcha en tapiz rodante produce una modificación de la distribución de las presiones en el antepié, con una participación mayor de los dos radios internos y menor del resto.

## BIBLIOGRAFÍA

(1) ELLIOT, B.C.; BLANKSBY, B.A.: A cinematographical analysis of overground and treadmill running by males and females. *Medicine sciences in sport.* 8: 84, 1976.

(2) GHELUWE, B.V.; SMEKENS, S.J.; ROOSEN, P.: Electrodinamographic evaluation of the foot during treadmill versus overground locomotion. *JAPMA* 84: 598-606, 1994.

(3) LLANA, S.; BRIZUELA, G.: Modificaciones en la cinética de la marcha humana inducidas por el treadmill. *Selección* 5 (3): 166-170, 1996.

(4) MERRIFIELD, H.H.: Female gait patterns in shoes with different heel heights. *Ergonomics* 14 (3): 411-417, 1971.

(5) MURRAY, M.P.; SPURR, G.B.; SEPIC, S.B.; GARDNER, G.M.; MOLLINGER, L.A.: Treadmill vs. floor walking: kinematics, electromyogram and heart rate. *J. Appl. Physiol.* 59 (1): 87-91, 1985.

(6) NAKHLA, S.S.; KINP, A.I.: Ground reaction patterns of normal human gait. International series on biomechanics. *Biomechanics* IX A: 401-405, 1985.

(7) PEARCE, M.E.; CUNNINGHAM, D.A.; DONNER, A.P.; RECHNITZER, PA.; FULLERTON, G.M.; HOWARD, J.H.: Energy cost of treadmill and floor walking at self-selected paces. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 52:115, 1983.

(8) PÉREZ GARCÍA, J.M.; HERRERA, A.; DOMINGO, J.; LÓPEZ J.E.; MARTÍNEZ, A.; MARTÍNEZ VILLA, J.; ORRITTE, C.: Sistema electrónico portátil PDM 240 para el análisis estático y dinámico del apoyo plantar. *Rev. Med. Cir. Pie.* XI (1): 55-59, 1997.

(9) PLAS, F.; VIELE, E.; BLANC, Y.: La marcha Humana. Barcelona: Masson, 1984.

(10) SCHWARTZ, R.P.; HEATH, A.L.; MISIEK, W.J.: The influence of the shoe in gait. *J. Bone Joint Surg.* 17: 406-418, 1985.

(11) SOAMES, R.W.; CLARK, C.: Heel height-induced changes in metatarsal loading patterns during gait. *Biomechanics* IX-A: 446-450, 1985.

(12) STRATHY, G.M.E.; CHAO, D.R.K.: Laughman. Changes in knee function associated with treadmill ambulation. *J. Biomech.* 16: 517-522, 1983.

(13) WIMORE, J.H.; COSTILL, D.L.: Physiology of sport and exercise. Pp. 214-236, Leeds: Ed Human Kinetics, 1994.

(14) ZATSHIORSKIU, M.; WERNER, S.L.; KAIMIN, M.A.: Basic kinematics of walking, step length and step frequency. A review. *J. sports med physical fitness.* 34:109-134, 1994.