

## COMUNICACIONES VIRTUALES

---

CÓDIGO:08

### EFFECTO DE LA CARRERA EN CINTA RODANTE VS SUELO SOBRE LA PRESIÓN PLANTAR

García-Pérez, J.A.; Lucas-Cuevas, A.G.

#### RESUMEN

Las diferencias ocasionadas al utilizar la cinta vs suelo como superficie de carrera pueden cuestionar la validez y uso, cada vez más habitual, de la cinta como herramienta en la investigación, entrenamiento y/o rehabilitación. Dado que la presión plantar es una de las variables más analizadas en la carrera, por su relación con el desarrollo de material deportivo, confort, lesiones y rendimiento del corredor, el objetivo de este estudio ha sido analizar el efecto de la superficie (cinta vs suelo) sobre la presión plantar. Para ello, 27 corredores (17 hombres y 10 mujeres) fueron analizados corriendo en cinta y suelo, a dos velocidades diferentes ( $V_1=3,33$  m/s y  $V_2=4$  m/s), empleando un sistema de plantillas instrumentadas (Biofoot®) que permitió el registro de las presiones plantares.

Los resultados mostraron que la carrera en cinta, en comparación con el suelo, modifica la distribución de presiones plantares (mayor sobrecarga relativa en las zonas del arco plantar y dedos  $2^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) y disminuye la presión plantar máxima (23% y 26% a  $V_1$  y  $V_2$ , respectivamente). Disminución de la presión máxima como consecuencia de la carrera sobre la cinta, que resulta especialmente significativa en las zonas del talón (34%), metatarsiano central (18%) y primer dedo (34% y 38% a  $V_1$  y  $V_2$  respectivamente).

En conclusión, la carrera en cinta (en comparación con el suelo) altera de manera significativa la magnitud y distribución de presiones plantares. Este efecto de la superficie de carrera debe ser tenido en cuenta al interpretar los resultados de las investigaciones que utilizan la cinta en su parte experimental, así como en el desarrollo de material, equipamiento deportivo y prescripción de ejercicio en cinta.

## COMUNICACIONES VIRTUALES

### COMUNICACIÓN VIRTUAL

#### EFFECTO DE LA CARRERA EN CINTA RODANTE VS SUELO SOBRE LA PRESIÓN PLANTAR PALABRAS CLAVE: CINTA RODANTE, PRESIÓN PLANTAR, CARRERA, METODOLÓGICO.

##### **Introducción:**

La carrera a pie se ha convertido en una de las actividades físico deportivas y de ocio más practicadas en todo el mundo (Fredericson & Misra, 2007; Tillman y cols., 2002), buscándose con su práctica objetivos diversos como: la salud, la rehabilitación, el entrenamiento y/o la competición deportiva (Milgrom y cols., 2003; Savelberg y cols., 1998; Wank y cols., 1998).

El incremento en la popularidad de la carrera explica el interés del mundo científico por analizar esta actividad, buscando disminuir el riesgo de lesiones, así como la mejora del rendimiento y confort del deportista (Dugan & Bhat, 2005; Pérez & Llana, 2007). Entre los aspectos más analizados durante la carrera destaca el tipo de superficie, observándose que, entre otros efectos, ésta puede inducir a modificaciones a nivel biomecánico (Ferris y cols., 1999; Hardin y cols., 2004; Kennedy y cols., 2005; Kerdok y cols., 2002; Tessutti y cols., 2008). Este hecho, convierte a la superficie de carrera en un aspecto metodológico determinante en el análisis de la carrera, siendo el uso de la cinta rodante en este ámbito de la investigación cada vez más habitual (I-Ju Ho y cols., 2010; Lavcanska y cols., 2005; Riley y cols., 2008).

Desde esta perspectiva metodológica, la cinta posee una serie de ventajas que hacen muy atractivo su uso como herramienta en la investigación, tales como: la necesidad de un espacio reducido, posibilidad de medición continuada, replicación, control de factores climatológicos, velocidad, pendiente,...o incluso la facilidad en la instrumentación del atleta (Bassett y cols., 1985; Baur y cols., 2007; Kong y cols., 2009; Kram & Powell, 1989; Lavcanska y cols., 2005; Morin & Sève, 2011; Nigg y cols., 1995; Paroczai & Kocsis, 2006; Riley y cols., 2008; Savelberg y cols., 1998; Schache y cols., 2001). Pero la generalización de los resultados de estudios realizados en cinta rodante a la actividad de correr estará muy limitada si no se demuestra la equivalencia entre la carrera en cinta y suelo (Elliott & Blanksby, 1976; Savelberg y cols., 1998; Schache y cols., 2001). En este sentido, existen evidencias sobre diferencias entre la carrera en cinta y suelo en variables como: la frecuencia de zancada (Elliott & Blanksby, 1976; Nelson y cols., 1972; Reinisch y cols., 1991; Riley y cols., 2008; Schache y cols., 2001; Sykes, 1975; Wank y cols., 1998), el tiempo de apoyo (McKenna & Riches, 2007; Nelson y cols., 1972; Schache y cols., 2001; Wank y cols., 1998), la cinemática del centro de gravedad (Nelson y cols., 1972; Wank y cols., 1998), inclinación del cuerpo (Wank y cols., 1998), la cinemática de tobillo, rodilla y/o cadera (Frishberg, 1983; Reinisch y cols., 1991; Riley y cols., 2008; Schache y cols., 2001; Sykes, 1975; Van Caekenberghe y cols., 2010), la percepción de velocidad (Kong y cols., 2009), la velocidad en la transición marcha/carrera (Van Caekenberghe y cols., 2010), las velocidades máximas (Bowtell y cols., 2009; Morin & Sève, 2011), la actividad muscular (Baur y cols., 2007; Wank y cols., 1998), el coste energético (Frishberg, 1983; Jones & Doust, 1996; Meyer y cols., 2003; Pugh,

## COMUNICACIONES VIRTUALES

1970; Van Ingen Schenau, 1980), la atenuación de aceleraciones (Hines & Mercer, 2004), la presión plantar (Baur y cols., 2007; Van Gheluwe y cols., 1994).

Esta comparación cinta vs suelo genera discrepancias y falta de consenso entre los diversos autores, ya que mientras para unos autores (Cunningham & Perry, 2007; Fellin y cols., 2007; Fellin cols., 2010; Jones & Doust, 1996; Meyer y cols., 2003; Pugh, 1970; Riley y cols., 2008; Schache y cols., 2001; Van Ingen Schenau, 1980; Willy & Davis, 2008) la carrera en cinta es representativa de la carrera en el suelo, para otros (Baur y cols., 2007; Bowtell y cols., 2009; Frishberg, 1983; Hines & Mercer, 2004; Ki-Kwang y cols., 2005; Milgrom y cols., 2003; Nelson y cols., 1972; Nigg y cols., 1995; Reinisch y cols., 1991; Savelberg y cols., 1998; Van Caekenberghe y cols., 2010; Van Gheluwe y cols., 1994; Wank y cols., 1998) las diferencias encontradas entre ambas superficies ponen en duda la equivalencia entre cinta rodante y suelo.

Considerando esta falta de consenso, teniendo en cuenta que la presión plantar es una variable analizada habitualmente en ambos tipos de superficie, siendo relevante para el desarrollo de material y equipamiento deportivo (Cheung & Ng, 2008; Hagen & Hennig, 2008; Hennig & Milani, 1995; Milani y cols., 1995; Tessutti y cols., 2008; Tillman y cols., 2002; Verdejo & Mills, 2004; Wegener y cols., 2008; Wiegerinck y cols., 2009), la prevención de lesiones (Gross & Bunch, 1989b; Weist y cols., 2004; Willems y cols., 2006 y 2007), y/o el rendimiento deportivo (Nagel y cols., 2008a y b; Rosenbaum y cols., 2008; Schlee y cols., 2006; Weist y cols., 2004), y que no hay un elevado número de investigaciones que aporten resultados concluyentes sobre el efecto de la carrera en cinta sobre las presiones, el objetivo de este estudio ha sido: analizar el efecto de la carrera en cinta vs suelo sobre la presión plantar.

### **Material y método:**

En el estudio participaron 27 corredores de nivel recreativo: 17 hombres y 10 mujeres ( $33.96 \pm 7.83$  años,  $1.73 \pm 0.08$  m,  $66.2 \pm 9.43$  Kg), que tras ser informados de las características experimentales del estudio firmaron un informe de consentimiento autorizando su participación voluntaria.

Todos los corredores realizaron, en días distintos y de manera randomizada, una prueba de carrera en cinta y otra en pista. La prueba en cinta se realizó en una cinta modelo: e-motion runner (EE 6100 MTC CLIMB/T) (2.24 Kw) con una pendiente de cero grados, mientras que la prueba en suelo se realizó en una pista de atletismo. En ambas superficies, tras un periodo de calentamiento de 15 minutos "*at libitum*" [en cinta sirvió, además, como periodo de familiarización (Lavcanska y cols., 2005)], se registraron las presiones plantares a dos velocidades de carrera de manera randomizada entre los corredores ( $V_1=3,33$  m/s y  $V_2=4$  m/s).

Las pruebas de cinta y pista se realizaron con una separación de siete días, un día de descanso previo, en similar horario, sin condiciones climatológicas adversas y cada corredor con su propio calzado (el mismo en todos los tests). Al igual que en estudios precedentes (Blondel et al., 2001; Di Michelle et al., 2009), la velocidad de carrera en pista se controló mediante un sistema de señales acústicas que marcaba el paso por diferentes conos colocados a tal efecto en un pasillo de medición de 50 m.

## COMUNICACIONES VIRTUALES

Los datos de presión plantar se obtuvieron mediante un sistema de plantillas instrumentadas Biofoot 2001® (Pérez-Soriano y cols., 2011), las cuales permitieron registrar datos del atleta entre los 35m y los 45m de una recta de medición de 50 m en la pista y tras 9 s de carrera a la velocidad establecida por el protocolo en la prueba en cinta. Con una frecuencia de 500 Hz, se registró la presión plantar durante 3 s sobre el pie izquierdo, dado que diversos autores (Baur y cols., 2007; Weist y cols., 2004; Willson & Kernozek, 1999) señalan la no diferencia significativa entre la presión plantar registrada en ambos pies.

Mediante el propio software del sistema de plantillas instrumentadas Biofoot 2001®, se dividió el pie en 9 zonas de análisis similares a las encontradas en la literatura (figura nº1) (Cheung & Ng, 2008; Chuckpaiwong y cols., 2008; Lee y cols., 2007; Nagel y cols., 2008a y b; Rosenbaum y cols., 2008; Schlee y cols., 2006; Weist y cols., 2004; Wiegerinck y cols., 2009). Realizado el promedio de dos apoyos consecutivos para cada velocidad ( $V_1$  y  $V_2$ ) se obtuvo la presión plantar media máxima de cada zona analizada. Posteriormente se calculó el porcentaje que supone la presión máxima en cada zona del pie con respecto a la suma de las presiones máximas de todas las zonas.

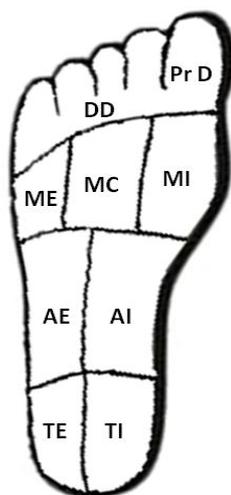


Figura nº1.- Representación de las diferentes zonas utilizadas para el análisis de presión plantar.

Mediante el paquete estadístico SPSS.18 ®, y de manera independiente para ambas velocidades de carrera, se comprobó la normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (Levene) de las variables, se llevó a cabo un estudio descriptivo de la muestra y un ANOVA de un factor para comparar entre superficies de carrera. Además del ANOVA, se utilizó una prueba *t* de medidas relacionadas para comparar los valores adoptados por las variables dependientes en las dos velocidades de carrera analizadas, estableciéndose como nivel de significación una  $P \leq 0.05$  en todos los casos.

### Resultados:

#### EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE CARRERA:

Los resultados muestran un incremento generalizado de la presión plantar máxima como consecuencia del incremento de la velocidad de carrera. Este efecto de la velocidad se muestra significativo en las zonas

## COMUNICACIONES VIRTUALES

del talón, arco interno para la carrera en cinta y dedos para la carrera en pista (tabla nº1). Por otra parte, la distribución de presiones no se modifica significativamente como consecuencia del incremento de la velocidad de carrera en ninguna de las dos superficies.

VARIABLE	SUPERFICIE	VELOCIDAD DE CARRERA		p
		3.33 m/s	4 m/s	
Unidad de medida KPa (Media ± SD)				
Talón externo	PISTA	265,38 ± 172,72	335,42 ± 202,95	0,003*
	CINTA	185,40 ± 121,37	241,81 ± 160,25	0,013*
Talón interno	PISTA	394,39 ± 201,98	474,56 ± 246,97	0,026*
	CINTA	241,21 ± 117,16	292,78 ± 168,68	0,018*
Arco externo	PISTA	31,10 ± 26,01	42,51 ± 42,29	0,101
	CINTA	36,58 ± 27,52	38,69 ± 24,44	0,565
Arco interno	PISTA	79,91 ± 39,56	98,71 ± 65,84	0,059
	CINTA	78,29 ± 37,87	101,39 ± 72,51	0,018*
Metatarso externo	PISTA	72,74 ± 50,34	75,27 ± 62,82	0,808
	CINTA	68,89 ± 66,63	69,59 ± 73,72	0,921
Metatarso central	PISTA	269,5 ± 130,45	275,56 ± 120,13	0,625
	CINTA	232,66 ± 115,91	235,85 ± 129,58	0,768
Metatarso interno	PISTA	140,23 ± 119,09	165,89 ± 127,34	0,057
	CINTA	127,59 ± 77,3	136,34 ± 102,96	0,407
Dedos (2º al 5º)	PISTA	36,32 ± 44,31	40,90 ± 46,56	0,026*
	CINTA	49,39 ± 37,26	56,03 ± 45,88	0,261
Primer dedo	PISTA	200,12 ± 156,13	224,18 ± 163,90	0,114
	CINTA	129,63 ± 139,11	163,07 ± 142,64	0,697
Toda la planta	PISTA	1477,31 ± 542,09	1721,90 ± 521,17	0,000*
	CINTA	1149,64 ± 366,45	1308,56 ± 404,45	0,001*

Tabla nº1.- Efecto de la velocidad de carrera sobre las presiones máximas (\*  $p < 0,05$ ).

### CINTA VS SUELO

A pesar de un patrón similar en ambas superficies en cuanto a las zonas donde se producen las presiones máximas más elevadas (talón, metatarsiano central y primer dedo), la carrera en cinta provoca una disminución generalizada de las presiones máximas, siendo esta disminución significativa ( $p < 0,05$ ) en las zonas del talón y primer dedo (observándose además una tendencia en el metatarsiano central a  $V_1$ ). Por otra parte, se encuentra un aumento en la presión máxima en la zona de los dedos (2º-5º) corriendo en cinta, únicamente a  $V_2$  (figura y tabla nº2).

ZONA DEL PIE	PRESIONES MÁXIMAS (KPa)					
	Media ± SD					
	Velocidad de carrera 3'33m/s			Velocidad de carrera 4 m/s		
	PISTA	CINTA	p	PISTA	CINTA	p
Talón externo	263,12 ± 169,28	185,4 ± 121,369	0,006*	349,90 ± 195,19	246,69 ± 157,03	0,004*
Talón interno	389,28 ± 199,12	241,21 ± 117,16	0,000*	474,56 ± 246,97	289,76 ± 171,81	0,000*
Arco externo	33,86 ± 28,81	36,58 ± 27,52	0,613	42,51 ± 42,29	37,21 ± 23,87	0,595
Arco interno	79,85 ± 38,69	78,29 ± 37,87	0,841	98,71 ± 65,84	101,70 ± 74,12	0,866
Metatarso externo	90,21 ± 95,54	71,60 ± 68,95	0,141	69,47 ± 63,56	57,13 ± 31,45	0,321
Metatarso central	278,89 ± 135,63	232,66 ± 115,91	0,073	275,56 ± 120,13	226,27 ± 123,5	0,111
Metatarso interno	142,70 ± 116,95	130,71 ± 77,49	0,448	159,69 ± 127,92	130,37 ± 100,94	0,170
Dedos (2º - 5º)	35,46 ± 43,54	49,39 ± 37,26	0,143	40,9 ± 46,56	57,68 ± 46,18	0,049*

## COMUNICACIONES VIRTUALES

<b>Primer dedo</b>	195,08 ± 154,68	129,63 ± 139,11	0,067	224,18±163,91	140,13 ± 144,42	0,016*
<b>Toda la planta pie</b>	1495,04±537,25	1149,6 ± 366,45	0,002*	1721,9±521,17	1275,2 ± 378,37	0,000*

Tabla nº2.- Efecto de la superficie de carrera sobre las presiones plantares máximas (\*  $p < 0,05$ ).

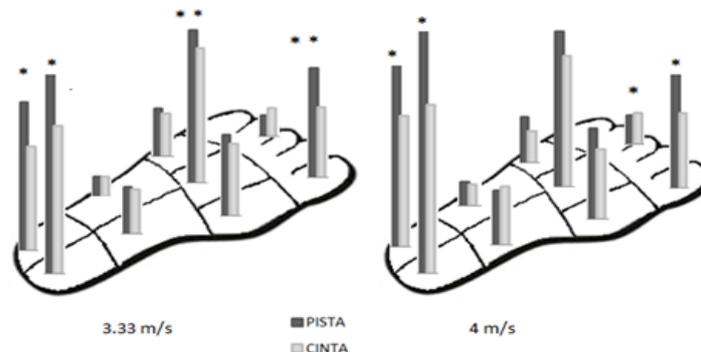


Figura nº2.- Efecto de la superficie de carrera sobre las presiones plantares máximas (\*  $p < .05$  \*  $p < 0,05$ ).

Además, se muestran diferencias en la distribución de presiones plantares en función de la superficie. Tal y como se observa en la figura y tabla nº3, la cinta sobrecarga relativamente menos las zonas del talón y primer dedo, sobrecargando más el resto de zonas de la planta del pie (fundamentalmente arco plantar y dedos 2º-5º).

ZONA DEL PIE	PRESIÓN RELATIVA (%)					
	Media ± SD					
	Velocidad de carrera 3'33m/s			Velocidad de carrera 4 m/s		
	PISTA	CINTA	p	PISTA	CINTA	p
<b>Talón externo</b>	18,96 ± 9,08	17,14 ± 7,47	0,315	21,06 ± 9,72	19,6 ± 7,77	0,444
<b>Talón interno</b>	26,39 ± 9,62	20,94 ± 6,97	0,008*	27,65 ± 11,23	22,36 ± 9,96	0,026*
<b>Arco externo</b>	2,25 ± 1,68	3,25 ± 2,45	0,011*	2,37 ± 2,02	3,06 ± 1,92	0,170
<b>Arco interno</b>	5,48 ± 2,59	7,32 ± 4,56	0,031*	5,75 ± 3,27	8,41 ± 6,5	0,035*
<b>Metatarso externo</b>	6,64 ± 5,39	6,89 ± 4,08	0,682	5,40 ± 3,31	5,48 ± 2,49	0,908
<b>Metatarso central</b>	19,29 ± 7,27	20,26 ± 8,78	0,601	16,59 ± 6,94	17,74 ± 8,43	0,580
<b>Metatarso interno</b>	9,05 ± 5,45	11,51 ± 6,25	0,013*	9,12 ± 5,56	10,42 ± 8,77	0,363
<b>Dedos (2º - 5º)</b>	2,47 ± 3,08	4,35 ± 2,65	0,002*	2,47 ± 3,02	4,47 ± 3,35	0,000*
<b>Primer dedo</b>	13,62 ± 7,95	11,83 ± 11	0,443	12,96 ± 8,27	11,4 ± 10,59	0,390

Tabla nº3.- Efecto de la superficie de carrera sobre la carga relativa por zonas del pie (\*  $p < 0,05$ ).

## COMUNICACIONES VIRTUALES

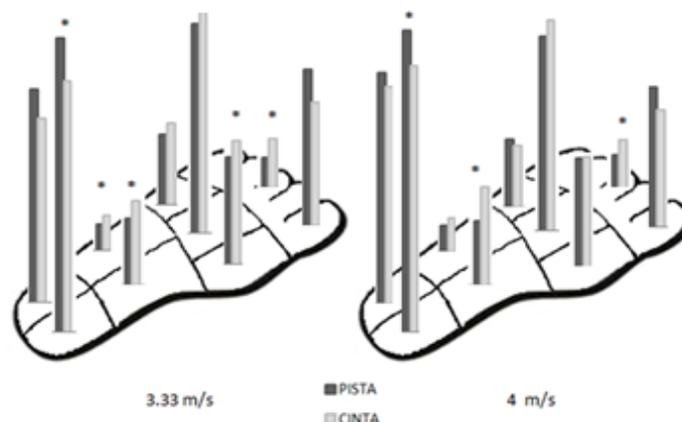


Figura nº3.- Efecto de la superficie de carrera sobre la carga relativa por zonas del pie ( $*p < 0,05$ ).

### Discusión

El estudio comparativo de la carrera en cinta vs suelo muestra que, en consonancia con estudios anteriores (Chuckpaiwong y cols., 2008; Weist y cols., 2004; Wiegerinck y cols., 2009), las presiones máximas más elevadas se encuentran (mayoritariamente) en un rango entre los 200 y 400 KPa; y se producen (en general y por este orden) en: talón, zona central metatarsiana y primer dedo (Novacheck, 1998; Perry y cols., 2010; Wiegerinck y cols., 2009). Además, coincidiendo con los resultados de Escamilla-Martínez (2011), se encuentra un incremento de la presión máxima en la zona interna del pie en comparación con la externa.

Los resultados de este estudio demuestran que, al **incrementar la velocidad de carrera**, se produce un incremento generalizado de la presión máxima independientemente de la superficie utilizada, coincidiendo con los resultados de estudios previos (Alex y cols., 2008; Gross & Bunch, 1989a; I-Ju Ho y cols., 2010; Kernozek & Zimmer, 2000; Lee y cols., 2007). Este incremento resulta más significativo en la zona del talón y, junto con el aumento no significativo de la carga relativa en esta zona, podría estar correlacionado con el incremento de la amplitud de zancada y pico de fuerzas al aumentar la velocidad de carrera (Alex y cols., 2008). El hecho de que el incremento de la presión máxima en la zona interna del arco plantar al aumentar la velocidad de carrera solo sea significativo corriendo en cinta, puede ser debido al apoyo inicial más plano demostrado al correr en esta superficie (Fellin y cols., 2010; Ki-Kwang y cols., 2005; Nigg y cols., 1995; Wank y cols., 1998), provocando una mayor sobrecarga en el medio pie. Del mismo modo, el incremento de la presión máxima en la zona de los dedos mostrado únicamente al correr en suelo será debido a la mayor necesidad de impulso necesaria al correr sobre esta superficie (Baur y cols., 2007; Reinisch y cols., 1991; Riley y cols., 2008), haciendo necesaria una mayor participación de esta zona de la planta del pie en la fase de impulso que generará un aumento en las presiones máximas.

El incremento en las presiones máximas que soporta la planta del pie al aumentar la velocidad de carrera, puede suponer un mayor riesgo de lesión a velocidades más rápidas, ya que hay investigaciones que relacionan el aumento de la presión plantar máxima con lesiones típicas del corredor (Ferris y cols., 1995; Gross & Bunch, 1989b; Tessutti y cols., 2008; Weist y cols., 2004; Willems y cols., 2006 y 2007).

En cuanto a la **superficie de carrera**, tal y como citan Baur y cols. (2007), la carrera en cinta (comparada con suelo) provoca una disminución de la presión máxima en toda la planta del pie (23% y 26%

## COMUNICACIONES VIRTUALES

a  $V_1$  y  $V_2$ , respectivamente), siendo especialmente significativa para las zonas del talón (34%), primer dedo (34% y 38% a  $V_1$  y  $V_2$ , respectivamente) y metatarsiano central (18%). Así mismo, la cinta provoca una mayor carga relativa en la zona del arco plantar, la zona metatarsiana interna ( $V_2$ ) y los dedos ( $2^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ), y una menor carga relativa en la parte interna del talón en comparación con el suelo, que podría relacionarse con la menor presión máxima encontrada en esta zona al correr en cinta por Ki-Kwang y cols. (2005).

Teniendo en cuenta que la zona metatarsiana central y primer dedo están muy implicadas en la fase de impulso, se podría explicar la menor presión máxima encontrada en estas zonas al correr en cinta (y la disminución importante aunque no significativa de la carga relativa sobre el primer dedo), como consecuencia de la disminución de la fase de impulso observada en esta superficie (Baur y cols., 2007; Reinisch y cols., 1991; Riley y cols., 2008). Por otra parte, la menor presión y carga relativa encontrada en el talón, unido al incremento de la carga relativa en la zona del arco plantar, podría estar relacionado con un apoyo más plano del pie al correr en cinta (Fellin y cols., 2010; Ki-Kwang y cols., 2005; Nigg y cols., 1995; Wank y cols., 1998), que provocaría un reparto de presiones más uniforme, así como menores fuerzas de reacción en la zona del talón (Ki-Kwang y cols., 2005; Laughton y cols., 2003).

Las diferencias mostradas en la distribución de presiones entre suelo y cinta sugieren modificaciones en la técnica de carrera en función de la superficie, fundamentalmente durante las fases de contacto inicial e impulso. Además, el incremento de presión máxima soportada por el pie al correr en suelo, unido a un aumento en la velocidad con que se genera esa presión (Van Gheluwe y cols., 1994), podría estar relacionado con un mayor riesgo de lesión (Ferris y cols., 1995; Gross & Bunch, 1989b; Tessutti y cols., 2008; Weist y cols., 2004; Willems y cols., 2006 y 2007), ya que al repetirse constantemente impactos durante la carrera de larga distancia, incluso las pequeñas diferencias a nivel de presiones plantares pueden ser importantes desde el punto de vista de las lesiones (Tillman y cols., 2002). Por otra parte, según Ki-Kwang y cols. (2005), las diferencias entre superficies podrían utilizarse para el diseño de calzado específico y apropiado para cada una de ellas, además, se deben tener en cuenta al interpretar los resultados de investigaciones que utilizan la cinta y en la prescripción de ejercicio sobre una u otra superficie.

### **Conclusión:**

La carrera en cinta (en comparación con el suelo) altera de manera significativa la magnitud y distribución de presiones plantares. Este efecto de la superficie de carrera debe ser tenido en cuenta al interpretar los resultados de las investigaciones que utilizan la cinta en su parte experimental, así como en el desarrollo de material, equipamiento deportivo y prescripción de ejercicio en cinta.

### **Bibliografía:**

- Alex, J. Y. L., Chou, J. H., Liu, Y. F., Lin, W. H., & Shiang, T. Y. (2008). Correlation between treadmill acceleration, plantar pressure, and ground reaction force during running. *Engineering of Sport 7, Vol 1*, 281-290.
- Bassett, D. R., Giese, M. D., Nagle, F. J., Ward, A., Raab, D. M., & Balke, B. (1985). Aerobic requirements of overground versus treadmill running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17(4), 477-481.

## COMUNICACIONES VIRTUALES

---

- Baur, H., Hirschmüller, A., Müller, S., Gollhofer, A., & Mayer, F. (2007). Muscular activity in treadmill and overground running. *Isokinetics & Exercise Science*, 15(3), 165-171.
- Blondel, N., Berthoin, S., Billat, V., & Linsel, G. (2001). Relationship between run times to exhaustion at 90, 100, 120, and 140 % of  $\dot{V}O_{2\max}$  and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 27-33.
- Bowtell, M. V., Tan, H., & Wilson, A. M. (2009). The consistency of maximum running speed measurements in humans using a feedback-controlled treadmill, and a comparison with maximum attainable speed during overground locomotion. *Journal of Biomechanics*, 42(15), 2569-2574.
- Cheung, R. T. H., & Ng, G. Y. F. (2008). Influence of different footwear on force of landing during running. *Physical Therapy*, 88(5), 620-628.
- Chuckpaiwong, Nunley, J., Mall, N., & Queen, R. (2008). The effect of foot type on in-shoe plantar pressure during walking and running. *Gait & Posture*, 28(3), 405-411.
- Cunningham, E. A., & Perry, S. D. (2007). Rearfoot kinematic differences between level treadmill and level ground running. *Journal of Biomechanics*, 40(Supplement 2), S515-S515.
- Di Michele, R., Di Renzo, A. M., Ammazalorso, S., & Merni, F. (2009). Comparison of physiological responses to an incremental running test on treadmill, natural grass, and synthetic turf in young soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research (Lippincott Williams & Wilkins)*, 23(3), 939-945.
- Dugan, S. A., & Bhat, K. P. (2005). Biomechanics and analysis of running gait. *Physical Medicine & Rehabilitation Clinics of North America*, 16(3), 603-621.
- Escamilla-Martínez, E. (2011). Presiones plantares en corredores de fondo: análisis longitudinal en tres momentos de desgaste de la zapatilla deportiva. [Tesis doctoral]. Departamento de Enfermería (Universidad de Extremadura). Plasencia.
- Elliott, B. C., & Blanksby, B. A. (1976). Cinematographic analysis of overground and treadmill running by males and females. *Medicine & Science in Sports*, 8(2), 84-87.
- Fellin, R., Barrios, J., & Davis, I. S. (2007). 3D kinematic hip, knee and rearfoot comparison of overground and treadmill running: 828: June 1 8:15 AM - 8:30 AM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(5 Suppl), S72.
- Fellin, R. E., Manal, K., & Davis, I. S. (2010). Comparison of lower extremity kinematic curves during overground and treadmill running. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(4), 407-414.
- Ferris, D. P., Liang, K., & Farley, C. T. (1999). Runners adjust leg stiffness for their first step on a new running surface. *Journal of Biomechanics*, 32(8), 787-794.
- Ferris, L., Sharkey, N. A., Smith, T. S., & Matthews, D. K. (1995). Influence of extrinsic plantar flexors on forefoot loading during heel rise. *Foot & Ankle International*, 16(8), 464-473.
- Fredericson, M., & Misra, A. K. (2007). Epidemiology and aetiology of marathon running injuries. *Sports Medicine*, 37(4), 437-439.
- Frishberg, B. A. (1983). An analysis of overground and treadmill sprinting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 15(6), 478-485.

## COMUNICACIONES VIRTUALES

---

- Gross, T. S., & Bunch, R. P. (1989a). Discrete normal plantar stress variations with running speed. *Journal of Biomechanics*, 22(6), 699-703.
- Gross, T. S., & Bunch, R. P. (1989b). A mechanical model of metatarsal stress fracture during distance running. *Am J Sports Med*, 17(5), 669-674.
- Hagen, , & Hennig, E. (2008). The influence of different shoe lacing conditions on plantar pressure distribution, shock attenuation and rearfoot motion in running. *Clinical Biomechanics*, 23(5), 12-13.
- Hardin, E. C., Van Den Bogert, A. J., & Hamill, J. (2004). Kinematic adaptations during running: Effects of footwear, surface, and duration. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5), 838-844.
- Hennig, E. M., & Milani, T. L. (1995). In-shoe pressure distribution for running in various types of footwear. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(3), 299-310.
- Hines, B., & Mercer, J. A. F. A. C. S. M. (2004). Comparison of shock attenuation between overground and treadmill running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5) (Supplement), S293-S294.
- I-Ju Ho, Yi-You Hou, Chich-Haung Yang, Wen-Lan Wu, Sheng-Kai Chen, & Lan-Yuen Guo. (2010). Comparison of plantar pressure distribution between different speed and incline during treadmill jogging. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(1), 154-160.
- Jones, A. M., & Doust, J. H. (1996). A 1 percent treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 321-327.
- Kennedy, J. G., Knowles, B., Dolan, M., & Bohne, W. (2005). Foot and ankle injuries in the adolescent runner. *Current Opinion in Pediatrics*, 17(1), 34-42.
- Kerdok, A. E., Biewener, A. A., McMahon, T. A., Weyand, P. G., & Herr, H. M. (2002). Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *J Appl Physiol*, 92(2), 469-478.
- Kernozek, T. W., & Zimmer, K. A. (2000). Reliability and running speed effects of in-shoe loading measurements during slow treadmill running. *Foot & Ankle International*, 21(9), 749-752.
- Ki-Kwang, L., Lafortune, M., & Valiant, G. (2005). Effect of running shoes on mechanics of overground and treadmill running. Paper presented at the *Symposium Footwear Biomechanics Group*, Cleveland.
- Kong, P. W., Candelaria, N. G., & Tomaka, J. (2009). Perception of self-selected running speed is influenced by the treadmill but not footwear. *Sports Biomechanics*, 8(1), 52-59.
- Kram, R., & Powell, A. J. (1989). A treadmill-mounted force platform. *J Appl Physiol*, 67(4), 1692-1698.
- Laughton, C. A., Davis, I. M. C., & Hamill, J. (2003). Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(2), 153-168.
- Lavcanska, V., Taylor, N. F., & Schache, A. G. (2005). Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Human Movement Science*, 24(4), 544-557.
- Lee, S., Ho, I., Yang, C., Wu, W., & Guo, L. (2007). Investigation on plantar pressure pattern while jogging on treadmill. *Journal of Biomechanics*, 40(Supplement 2), S496-S496.
- McKenna, M., & Riches, P. E. (2007). A comparison of sprinting kinematics on two types of treadmill and over-ground. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(6), 649-655.

## COMUNICACIONES VIRTUALES

---

- Meyer, T., Welter, J. P., Scharhag, J., & Kindermann, W. (2003). Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 88(4-5), 387-389.
- Milani, T. L., Schnabel, G., & Henning, E. M. (1995). Rearfoot motion and pressure distribution patterns during running in shoes with varus and valgus wedges. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(2), 177-187.
- Milgrom, C., Finestone, A., Segev, S., Olin, C., Arndt, T., & Ekenman, I. (2003). Are overground or treadmill runners more likely to sustain tibial stress fracture? *Br J Sports Med*, 37(2), 160-163.
- Morin, J., & Sève, P. (2011). Sprint running performance: Comparison between treadmill and field conditions. *European Journal of Applied Physiology*, doi:DOI 10.1007/s00421-010-1804-0
- Nagel, A., Fernholz, F., Kibele, C., & Rosenbaum, D. (2008a). Influence of long-distance running on plantar pressure pattern. *Clinical Biomechanics*, 23(5), 685-686.
- Nagel, A., Fernholz, F., Kibele, C., & Rosenbaum, D. (2008b). Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: A barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait & Posture*, 27(1), 152-155.
- Nelson, R. C., Dillman, C. J., Lagasse, P., & Bickett, P. (1972). Biomechanics of overground versus treadmill running. *Medicine & Science in Sports*, 4(4), 233-240.
- Nigg, B. M., De Boer, R. W., & Fisher, V. (1995). A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(1), 98-105.
- Novacheck, T. F. (1998b). The biomechanics of running. *Gait & Posture*, 7(1), 77-95.
- Paroczai, R., & Kocsis, L. (2006). Analysis of human walking and running parameters as a function of speed. *Technology & Health Care*, 14(4-5), 251-260.
- Pérez, P., & Llana, S. (2007). Instrumentation in sports biomechanics. *Journal of Human Sports and Exercise*, 2(II 2007), 26.
- Pérez-Soriano, P., Llana-Belloch, S., Martínez-Nova, A., Morey-Klapsing, G. & Encarnación-Martínez, A., (2011). Nordic Walking Practice Might Improve Plantar Pressure Distribution. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Volume 82 (4 ): 593–599.
- Perry, J., Burnfield, J. M., & Cabico, L. M. (2010). *Gait analysis :Normal and pathological function* (2nd ed.). Thorofare NJ: Slack.
- Pugh, L. G. (1970). Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *Journal of Physiology*, 823-835.
- Reinisch, M., Schaff, P., Hauser, W., & Rosemeyer, B. (1991). Treadmill versus field trial. movement analysis and pressure distribution in the athletic shoe. *Sportverletz Sportschaden*, 5(2), 60-73.
- Riley, P. O., Dicharry, J., Franz, J., Croce, U. D., Wilder, R. P., & Kerrigan, D. C. (2008). A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(6), 1093-1100.
- Rosenbaum, D., Engl, T., & Nagel, A. (2008). Foot loading changes after a fatiguing run. *Journal of Biomechanics*, 41(Supplement 1), S109-S109.

## COMUNICACIONES VIRTUALES

---

- Savelberg, H. H. C. M., Vorstenbosch, M. A. T. M., Kamman, E. H., van de Weijer, J. G. W., & Schambardt, H. C. (1998). Intra-stride belt-speed variation affects treadmill locomotion. *Gait & Posture*, 7(1), 26-34.
- Schache, A. G., Blanch, P. D., Rath, D. A., Wrigley, T. V., Starr, R., & Bennell, K. L. (2001). A comparison of overground and treadmill running for measuring the three-dimensional kinematics of the lumbo-pelvic-hip complex. *Clinical Biomechanics*, 16(8), 667-680.
- Schlee, G., Milani, T., & Hein, A. (2006). Plantar pressure distribution patterns after induced fatigue. *Journal of Biomechanics*, 39(Supplement 1), S192-S192.
- Sykes, K. (1975). Technique and observation of angular gait patterns in running. *British Journal of Sports Medicine*, 9(4), 181-186.
- Tessutti, V., Trombini-Souza, F., Ribeiro, A. P., Nunes, A. L., & Sacco, I. d. C. N. (2008). In-shoe plantar pressure distribution during running on natural grass and asphalt in recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*.
- Tillman, Fiolkowski, P., Bauer, , & Reisinger, . (2002). In-shoe plantar measurements during running on different surfaces: Changes in temporal and kinetic parameters. *Sports Engineering*, 5(3), 121-128.
- Van Caekenberghe, I., De Smet, K., Segers, V., & De Clercq, D. (2010). Overground vs. treadmill walk-to-run transition. *Gait & Posture*, 31(4), 420-428.
- Van Gheluwe, B., Smekens, J., & Roosen, P. (1994). Electrodynographic evaluation of the foot during treadmill versus overground locomotion. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 84(12), 598-606.
- Van Ingen Schenau, G. J. (1980). Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 12(4), 257-261.
- Verdejo, R., & Mills, N. J. (2004). Heel-shoe interactions and the durability of EVA foam running-shoe midsoles. *Journal of Biomechanics*, 37(9), 1379-1386.
- Wank, V., Frick, U., & Schmidtbleicher, D. (1998). Kinematics and electromyography of lower limb muscles in overground and treadmill running. *International Journal of Sports Medicine*, 19(7), 455-461.
- Wegener, C., Burns, J., & Penkala, S. (2008). Effect of neutral-cushioned running shoes on plantar pressure loading and comfort in athletes with cavus feet: A crossover randomized controlled trial. *American Journal of Sports Medicine*, 36(11), 2139-2146.
- Weist, R., Eils, E., & Rosenbaum, D. (2004). The influence of muscle fatigue on electromyogram and plantar pressure patterns as an explanation for the incidence of metatarsal stress fractures. *Am J Sports Med*, 32(8), 1893-1898.
- Wiegerinck, J. I., Boyd, J., Yoder, J. C., Abbey, A. N., Nunley, J. A., & Queen, R. M. (2009). Differences in plantar loading between training shoes and racing flats at a self-selected running speed. *Gait & Posture*.
- Willems, T. M., De Clercq, D., Delbaere, K., Vanderstraeten, G., De Cock, A., & Witvrouw, E. (2006). A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. *Gait & Posture*, 23(1), 91-98.

## COMUNICACIONES VIRTUALES

---

- Willems, T. M., Vitvrouw, E., De Cook, A., & De Clercq, D. (2007). Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2), 330-339.
- Willson, J. D., & Kernozek, T. W. (1999). Plantar loading and cadence alterations with fatigue. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(12), 1828.
- Willy, R., & Davis, I. S. F. A. C. S. M. (2008). Instrumented comparison of overground and treadmill running in healthy individuals: 632: May 28 4:45 PM - 5:00 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(5) (Supplement 1), S27-S28.

### **Agradecimientos:**

A todos los corredores voluntarios que participaron de manera desinteresada en el estudio y sin cuyo gran esfuerzo éste no hubiera sido posible. A la FCAFE, por el apoyo material, institucional y humano durante el desarrollo del trabajo de investigación y, en especial, al Dr. D. Pedro Pérez Soriano por su inestimable ayuda y colaboración en el desarrollo de este proyecto.