



COMUNICACIONES VIRTUALES

CÓDIGO:02

ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN CORRIENDO EN CINTA EN COMPARACIÓN CON EL SUELO

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

RESUMEN

TEXTO (Máximo 300 palabras)

La utilización, cada vez más habitual, de la cinta rodante como superficie de carrera puede generar diferencias biomecánicas en comparación con la carrera sobre el suelo, que cuestionen la conveniencia de su uso como herramienta en la investigación, entrenamiento y/o rehabilitación. Dado que la aceleración ha sido analizada tradicionalmente tanto en cinta como en suelo y su estudio es muy relevante en la carrera a pie por su relación con el desarrollo de material deportivo, lesiones, rendimiento y fatiga del corredor; el objetivo del presente trabajo ha sido analizar el efecto de la superficie (cinta vs suelo) sobre la aceleración. Para ello, 20 corredores (11 hombres y 9 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 acelerómetros (Sportmetrics®) que permitió el registro de la aceleración en tibia y cabeza.

Los resultados mostraron que la carrera en cinta, en comparación con el suelo, provoca una disminución del impacto de aceleración en tibia (24% - 38%, a V_1 y V_2) y cabeza (4% - 13%, a V_1 y V_2), así como una disminución de la ratio de aceleración en tibia (20,4% - 34%, a V_1 y V_2).

En conclusión, la carrera en cinta rodante disminuye significativamente la magnitud y ratio de los impactos de aceleración en comparación con el suelo. Este efecto de la cinta debe ser tenido en cuenta al interpretar los resultados de las investigaciones que la utilizan como herramienta en su parte experimental, así como en el desarrollo de material y el asesoramiento deportivo.

COMUNICACIONES VIRTUALES

COMUNICACIÓN VIRTUAL

ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN CORRIENDO EN CINTA EN COMPARACIÓN CON EL SUELO.

Introducción:

La necesidad de compensar la vida sedentaria en las sociedades desarrolladas, entre otras razones, ha provocado un incremento en la popularidad de la carrera a pie en los últimos años (Fredericson & Misra, 2007; Higginson, 2009; Tillman y cols., 2002), ya que se trata de una actividad que se puede hacer de forma aeróbica y saludable, es fácil de adaptar a la capacidad física individual, es sencilla técnicamente y necesita de material poco sofisticado (Tillman y cols., 2002; van Gent y cols., 2007; Verbitsky y cols., 1998). Junto con el calzado deportivo, la superficie de carrera es el equipamiento más determinante en la realización de esta actividad. Pudiendo elegir los corredores entre diferentes superficies (Taunton y cols., 2003), que se pueden clasificar en dos grandes grupos: la carrera sobre la cinta rodante y la carrera sobre el suelo.

La elección de la superficie es un factor importante en el desarrollo de la carrera, no solo desde el punto de vista epidemiológico y de rendimiento, sino también a nivel metodológico. Según Leboeuf y cols. (2006), hay cuatro criterios que determinan la calidad de la superficie deportiva como son: la amortiguación, la flexibilidad, la elasticidad y el deslizamiento, comprobándose que las diferencias entre las distintas superficies utilizadas pueden inducir a cambios en los patrones biomecánicos y alterar las condiciones de la carrera (Dixon y cols., 2000; Ferris y cols., 1999; Hardin y cols., 2004; Kennedy y cols., 2005; Kerdok y cols., 2002; Tessutti y cols., 2008). Además, desde que aparece la posibilidad de utilizar la cinta rodante como superficie de carrera, otros aspectos como: el grado de familiarización con la cinta (Lavcanska y cols., 2005), la variación de la velocidad de la cinta en la interacción con el corredor (Riley y cols., 2008; Savelberg y cols., 1998; Schache y cols., 2001), la resistencia del aire (Bassett y cols., 1985; Bowtell y cols., 2009; Jones & Doust, 1996; Meyer y cols., 2003), la búsqueda de estabilidad (Baur y cols., 2007; Nigg y cols., 1995; Wank y cols., 1998; Willy & Davis, 2008), la fatiga (Bowtell y cols., 2009) y/o el esquema de referencia del corredor (Van Ingen Schenau, 1980) pueden generar diferencias entre la carrera en cinta y suelo, modificando los aspectos biomecánicos de la carrera (Baur y cols., 2007; Frishberg, 1983; Hines & Mercer, 2004; McKenna & Riches, 2007; Milgrom y cols., 2003; Morin & Sève, 2011; Nigg y cols., 1995; Reinisch y cols., 1991; Savelberg y cols., 1998; Van Gheluwe y cols., 1994; Wank y cols., 1998). A pesar de las posibles diferencias entre estos dos tipos de superficie, cada vez resulta más habitual el uso de la cinta rodante para la práctica deportiva y/o rehabilitación (I-Ju Ho y cols., 2010; Lavcanska y cols., 2005; Milgrom y cols., 2007; Riley y cols., 2008), así como en la investigación (Kong y cols., 2009; Nigg y cols., 1995; Riley y cols., 2008; Savelberg y cols., 1998; Schache y cols., 2001; Willy & Davis, 2008).

Desde la perspectiva metodológica, el uso de la cinta resulta ventajoso en comparación con otras opciones ya que necesita menor espacio, facilita el control de variables extrañas, velocidad de carrera, inclinación, instrumentación y posibilita la medición de varios apoyos consecutivos (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.,

COMUNICACIONES VIRTUALES

2001). Pero la generalización de los resultados de estudios que utilizan la cinta, 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), ya que las diferencias mostradas entre superficies podrían poner en duda su equivalencia y, por tanto, la validez de las pruebas realizadas en cinta. En este sentido, se evidencian diferencias entre la carrera en cinta y suelo en variables como: frecuencia de zancada (Reinisch y cols., 1991; Riley y cols., 2008; Schache y cols., 2001; Wank y cols., 1998), tiempo de apoyo (McKenna & Riches, 2007; Schache y cols., 2001; Wank y cols., 1998), cinemática del centro de gravedad (Nelson y cols., 1972; Wank y cols., 1998), ángulo del pie en el contacto inicial (Fellin y cols., 2010; Ki-Kwang y cols., 2005; Nigg y cols., 1995; Wank y cols., 1998), cinemática de tobillo, rodilla y/o cadera (Frishberg, 1983; Reinisch y cols., 1991; Riley y cols., 2008; Schache y cols., 2001; Van Caekenberghe y cols., 2010; Wheat y cols., 2004), percepción de velocidad (Kong y cols., 2009), velocidad en la transición de andar a correr (Van Caekenberghe y cols., 2010), velocidades máximas (Bowtell y cols., 2009; Morin & Sève, 2011), actividad muscular (Baur y cols., 2007; Saunders y cols., 2004; Wank y cols., 1998), coste energético (Frishberg, 1983; Jones & Doust, 1996; Meyer y cols., 2003; Van Ingen Schenau, 1980), atenuación de aceleración (Hines & Mercer, 2004) y presión plantar (Baur y cols., 2007; Van Gheluwe y cols., 1994).

En este sentido, a pesar de que la aceleración es una variable importante en el análisis de la carrera y ha sido muy estudiada en su relación con el desarrollo de materiales para la práctica deportiva (Butler y cols., 2006; Derrick y cols., 2002; Derrick, 2004; Dixon y cols., 2000; Flynn y cols., 2004; Hagen & Hennig, 2008; Hines & Mercer, 2004; Laughton y cols., 2003; Mercer y cols., 2002; Milgrom y cols., 2000; Mizrahi y cols., 2000,a,b; Mizrahi y cols., 2001; O'Leary y cols., 2008; Vanhelst y cols., 2009), el confort (O'Leary y cols., 2008), las lesiones (Milner y cols., 2006; Pohl y cols., 2008; Zifchock y cols., 2008) y la fatiga del corredor (Abt y cols., 2011; Derrick y cols., 2002; Le Bris y cols., 2006; Mercer, 1999; Mercer y cols., 2003; Mizrahi y cols., 2000,a,b; Mizrahi y cols., 2001), únicamente se encuentra un trabajo que estudie el efecto de la carrera en cinta vs suelo sobre la aceleración (Hines & Mercer, 2004), mostrando que la atenuación de aceleración se encuentra disminuida al correr en cinta. Teniendo en cuenta que la aceleración se analiza en ambos tipos de superficies, que es una variable relevante en la carrera y, al encontrarse un único estudio comparativo cinta vs suelo para esta variable, se estableció como objetivo del estudio: analizar el efecto de la carrera en cinta en comparación con el suelo sobre la aceleración.

Material y método:

En el estudio participaron 20 corredores sanos de nivel recreativo: 11 hombres y 9 mujeres ($34,45 \pm 8,44$ años, $1,72 \pm 0,08$ m, $63,57 \pm 8,05$ 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 pista se realizó en una pista de atletismo. En ambas superficies, tras un periodo de calentamiento de 15 minutos "*at libitum*" [en

COMUNICACIONES VIRTUALES

cinta sirvió, además, como periodo de familiarización (Lavcanska y cols., 2005)], se registró la aceleración en tibia y cabeza a dos velocidades de carrera y de manera randomizada ($V_1=3,33$ 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 y cols., 2001; Di Michelle y cols., 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.

Para obtener los datos de aceleración en tibia y cabeza se utilizaron acelerómetros capacitivos uniaxiales (MMA7261QT, Freescale semiconductor ©, Munich, Germany) (masa total: 55g, dimensiones: 64x42x24 mm, equivalencias: $\max.\pm 9,81$ m/s² ~ 1 g). La señal de cada acelerómetro fue adquirida durante 10 segundos por Rf mediante PC, con una frecuencia de 100Hz a través del software *SignalFrame* (Sportmetrics®). El acelerómetro de la tibia se colocó en la zona anteromedial de la tibia derecha y a lo largo del eje longitudinal del hueso, mientras que el acelerómetro de la cabeza se colocó en la zona central de la frente del corredor. Ambos acelerómetros se conectaron al transmisor de la señal por telemetría que llevaba el corredor en una pequeña mochila y fueron fijados a la piel mediante cinta adhesiva de doble cara y sujetos con cinta elástica colocada en el plano horizontal.

Mediante el software *SignalFrame* (Sportmetrics®) se comprobó el patrón de la señal de acelerometría de cada una de las mediciones realizadas, de las cuales se obtuvieron tres valores relacionados con el momento del contacto inicial del pie en la superficie de carrera (figura 1): (A) el mínimo de aceleración justo antes del contacto, (B) la aceleración máxima tras el contacto y (C) el tiempo que transcurre entre ambos valores. Se tomaron medidas de tres pasos consecutivos para cada superficie y sujeto que después permitieron calcular la media como valor representativo. Utilizando los factores de conversión del instrumental, se transformaron los valores de aceleración obtenidos en "g" ($1\text{ g} = 9,8\text{ m/s}^2$).

Posteriormente se calcularon otras variables de interés como: impacto de aceleración (diferencia entre aceleración mínima y máxima), ratio del impacto (dividiendo la magnitud del impacto por el tiempo necesario para que se produzca), la atenuación del impacto (porcentaje de disminución de la aceleración entre tibia y cabeza).

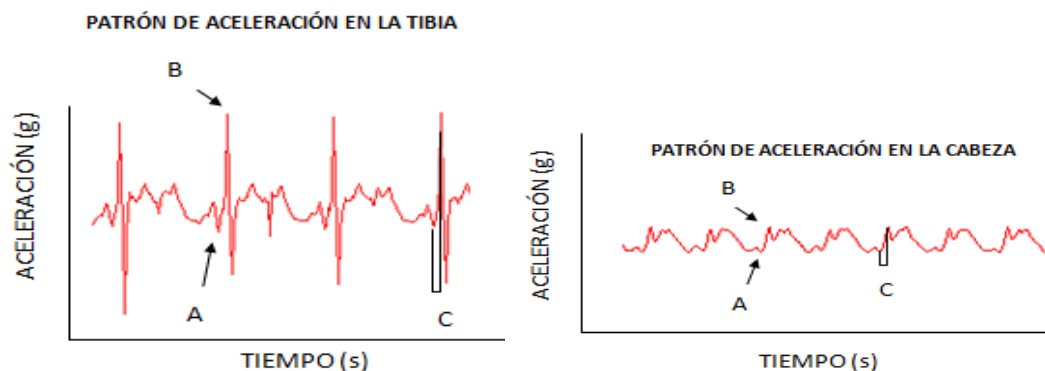


Figura 1.- Patrón de la aceleración en carrera. (A) mínimo de aceleración justo antes del contacto inicial, (B) máxima aceleración como consecuencia del contacto y (C) tiempo necesario para el impacto.

COMUNICACIONES VIRTUALES

Mediante el paquete estadístico SPSS18.0 ®, y de manera independiente para cada velocidad 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 de medidas repetidas para comparar las variables entre superficies de carrera. Además, se utilizaron pruebas *t* de medidas relacionadas para comparar las variables en función de la velocidad de carrera, estableciéndose como nivel de significación una $P \leq 0.05$ en todos los casos.

Resultados:

EFEECTO DE LA VELOCIDAD DE CARRERA:

Los resultados de la tabla nº1 muestran un incremento significativo ($p < 0.05$) de la aceleración y ratio de aceleración en tibia (significativo solo en pista), así como un incremento de aceleración en cabeza al pasar de V_1 a V_2 . No encontrándose diferencias significativas para el resto de variables.

EFEECTO DE LA VELOCIDAD DE CARRERA SOBRE LAS ACELERACIONES				
Media \pm desviación típica				
VARIABLE	SUPERFICIE	VELOCIDAD DE CARRERA		p =
		3,33 m/s	4 m/s	
Aceleración en tibia (g)	PISTA	18,72 \pm 6,84	24,61 \pm 10,8	0,004*
	CINTA	14,15 \pm 7,8	15,25 \pm 6,84	0,175
Ratio de aceleración en tibia (g/s)	PISTA	445 \pm 190	614 \pm 245	0,010*
	CINTA	354 \pm 219	405 \pm 215	0,198
Aceleración en cabeza (g)	PISTA	2,71 \pm 0,47	3,17 \pm 0,68	0,001*
	CINTA	2,6 \pm 0,48	2,76 \pm 0,58	0,045*
Ratio de aceleración en cabeza (g/s)	PISTA	42 \pm 9	41 \pm 10	0,939
	CINTA	40 \pm 7	41 \pm 8	0,695
Atenuación del impacto (%)	PISTA	82,2 \pm 7,98	82,09 \pm 9,72	0,930
	CINTA	69,22 \pm 36,98	75,51 \pm 20,83	0,239

Tabla 1.- Efecto de la velocidad de carrera sobre la aceleración (* $p < 0,05$).

CINTA VS SUELO

Los valores adoptados por todas las variables de aceleración analizadas están disminuidos al correr en cinta en comparación con la pista (tabla nº 2), pero esta disminución solo es significativa para el impacto de aceleración en tibia y cabeza (figura nº 2) y para la ratio del impacto en tibia (a 4 m/s).

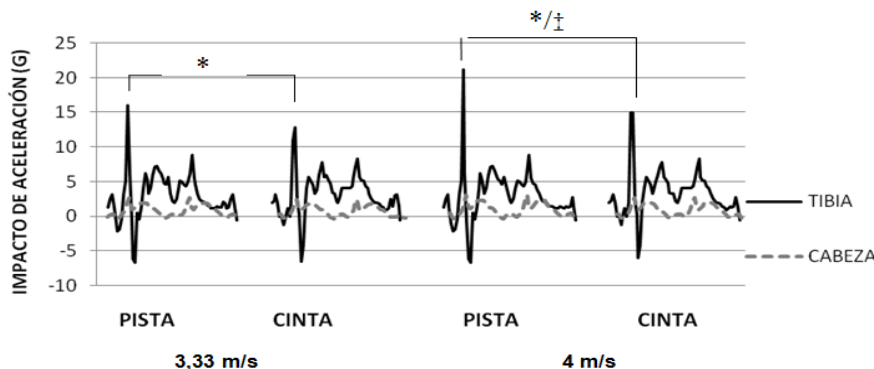


Figura nº 2.- Patrón que describe la aceleración medida en tibia y cabeza durante la carrera en cuatro condiciones distintas. * $p < 0.05$ en el impacto de aceleración en tibia. ‡ $p < 0,05$ en el impacto de aceleración en cabeza.

COMUNICACIONES VIRTUALES

IMPACTOS DE ACELERACIÓN						
Media ± desviación típica						
	Velocidad de carrera 3,33m/s			Velocidad de carrera 4 m/s		
	PISTA	CINTA	p	PISTA	CINTA	p
Aceleración en tibia (g)	18,72 ± 6,84	14,15 ± 7,8	0,032*	24,6 ± 10,8	15,25 ± 6,84	0,007*
Ratio de aceleración en tibia (g/s)	445 ± 190	354 ± 219	0,122	614 ± 245	405 ± 215	0,013*
Aceleración en cabeza (g)	2,71 ± 0,47	2,6 ± 0,48	0,328	3,17 ± 0,68	2,76 ± 0,58	0,009*
Ratio de aceleración en cabeza (g/s)	42 ± 9	40 ± 7	0,624	41 ± 10	41 ± 8	0,881
Atenuación impacto (%)	82,2 ± 7,98	69,22 ± 36,98	0,211	82,09 ± 9,72	75,51 ± 20,83	0,207

Tabla 2.- Efecto de la carrera en cinta vs pista sobre los impactos de aceleración (* $p < 0,05$).

Discusión

Uno de los aspectos más determinantes en la práctica de la carrera a pie es la superficie sobre la que ésta se realiza, con dos grandes alternativas de elección: suelo o cinta. El efecto de la actividad sobre el organismo puede verse modificado en función de la superficie de carrera utilizada (Milgrom, 2003), pero además, desde un punto de vista metodológico la elección de una u otra superficie puede afectar a los resultados de las investigaciones (Baur et al., 2007; Bowtell et al., 2009; Hines & Mercer, 2004; Ki-Kwang et al., 2005; Milgrom et al., 2003; Nigg et al., 1995; Reinisch et al., 1991; Savelberg et al., 1998; Van Caekenberghe et al., 2010; Wank et al., 1998). Por ello, resulta necesario caracterizar la carrera en cinta vs suelo, así como entender la relación a nivel biomecánico entre las dos superficies (Riley y cols., 2008) para, en caso necesario, poder interpretar los resultados obtenidos al analizar la carrera en cinta (Morin & Sève, 2011).

Los resultados de este estudio muestran un patrón de aceleración en tibia y cabeza coincidente con la literatura (Mercer y cols., 2002; Mercer y cols., 2003; Mizrahi y cols., 2000b), común para la carrera en cinta y suelo, y caracterizado por un máximo de aceleración que se produce como consecuencia de la toma de contacto del pie con la superficie de carrera.

Al aumentar **la velocidad de carrera** en este estudio se genera, tal como era de esperar (Clarke y cols., 1985; Verbitsky y cols., 1998), un incremento en la magnitud del impacto de aceleración medido en tibia y cabeza, así como un incremento de la severidad del impacto en la tibia (ratio). Mayores niveles de aceleración al aumentar la velocidad de carrera que pueden relacionarse con mayor riesgo de lesiones típicas en el corredor (Milner y cols., 2006; Zifchock y cols., 2008) al correr más rápido. Siendo, además, este efecto de la velocidad sobre las aceleraciones más significativo sobre la pista que sobre la cinta.

Por otra parte, el incremento de la aceleración al aumentar la velocidad es más importante porcentualmente en tibia que en cabeza, proporcionando un mayor grado de estabilidad para el impacto transmitido a la cabeza, tal y como citan previamente Hamill y cols. (1995). Este hecho indica, en cierto modo, un incremento de la atenuación de la aceleración al aumentar el impacto en tibia como consecuencia de la carrera a mayor velocidad. Sin embargo, a pesar de esta circunstancia y de que algún trabajo anterior

COMUNICACIONES VIRTUALES

(Mercer y cols., 2002) sí que encontraba incrementada la atenuación al aumentar la velocidad, no se observa significativo en el presente estudio. Las diferencias entre los resultados de ambos estudios pueden deberse a que en el presente estudio el incremento de la velocidad es mucho menos importante (20%) que el incremento generado (100%) en el estudio de Mercer y cols. (2002).

Por otra parte, la **carrera en la cinta en comparación con el suelo** provoca una disminución de la magnitud de todas las variables de aceleración analizadas, siendo significativa esta disminución únicamente en la magnitud del impacto de aceleración en tibia y cabeza y la ratio del impacto en tibia. La cinta provoca una disminución del impacto de aceleración en tibia entre un 24,4% y un 38%, una disminución de la ratio en tibia entre un 20,4% y un 34%, así como una disminución del impacto en la cabeza entre un 4% y un 13% (respectivamente a V_1 y V_2). Teniendo en cuenta que hay autores que relacionan el incremento en la magnitud y ratio de los impactos de aceleración en tibia con lesiones típicas del corredor (Milner y cols., 2006; Zifchock y cols., 2008), parece que la carrera sobre el suelo puede generar un mayor riesgo de lesión para el deportista. A pesar de ello, si el aumento de la aceleración es consecuencia de la disminución de la masa efectiva (por ejemplo por una mayor flexión de rodilla al correr sobre el suelo tal y como citan McKenna y Riches (2007) y Reinisch et al. (1991)), puede que no estén aumentadas las fuerzas de impacto, y no se incrementaría el riesgo de lesión (Derrick y cols., 2002; Derrick, 2004). Sin embargo, sabiendo que la carrera en suelo provoca un incremento de presiones máximas en comparación con la cinta (Baur y cols., 2007) y que este hecho está correlacionado con un incremento de las fuerzas de reacción (Alex y cols., 2008), el incremento de la aceleración se debe, no solo a la disminución de masa efectiva, sino también al incremento de fuerzas de reacción indicando, por tanto, un mayor riesgo de lesión al correr sobre el suelo.

En consonancia con los resultados de Hines y Mercer (2004), se muestra una disminución de la atenuación del impacto de aceleración cuando se corre en cinta en comparación con el suelo (15,79% - 8%, respectivamente a V_1 y V_2). A pesar de no ser estadísticamente significativo, este dato podría indicar un incremento en la transmisión del impacto corriendo en cinta que resultaría importante por su repetitividad durante la carrera y aumentaría el riesgo de lesiones espinales, degeneración articular y del cartílago (Mizrahi y cols., 2000; Mizrahi y cols., 2001). Sin embargo, según los resultados de estudios previos (Derrick y cols., 1998; Derrick y cols., 2002; Derrick, 2004; Hamill y cols., 1995; Mercer y cols., 2002), esta disminución de la atenuación del impacto puede ser consecuencia del menor impacto en tibia encontrado al correr en cinta. Lo que unido al menor impacto en la cabeza encontrado corriendo en cinta, muestra que la transmisión del impacto (en términos absolutos) no es mayor en esta superficie y, por tanto, no resultará más lesivo que en el suelo.

Desde otro punto de vista, el incremento en la atenuación del impacto que se produce sobre el suelo en comparación con la cinta, puede deberse a diferencias en la cinemática de la carrera entre ambas superficies y generar una mayor demanda energética sobre el suelo [más flexión de rodilla en el contacto inicial (McKenna & Riches, 2007; Reinisch y cols., 1991), disminuye la masa efectiva, incrementa el impacto en tibia y más necesidad de atenuación del impacto], pudiendo provocar una merma en el rendimiento (Derrick y cols., 2002; Derrick, 2004; Hamill y cols., 1995). Esta mayor demanda energética de la carrera en suelo en comparación con la cinta ha sido demostrada previamente (Frishberg, 1983; Jones & Doust, 1996;

COMUNICACIONES VIRTUALES

Meyer y cols., 2003; Pugh, 1970; Van Ingen Schenau, 1980), siendo las diferencias demasiado grandes para que sean causa únicamente de la ausencia de viento sobre la cinta (Frishberg, 1983) e interviniendo en este fenómeno otros posibles factores entre los que se encuentran cambios en la cinemática (Van Ingen Schenau, 1980) y una coordinación muscular diferente (Savelberg y cols., 1998) entre ambas superficies.

Conclusión:

La carrera en cinta rodante disminuye significativamente la magnitud y ratio de los impactos de aceleración en comparación con el suelo. Este efecto de la cinta debe ser tenido en cuenta al interpretar los resultados de las investigaciones que la utilizan como herramienta en su parte experimental, así como en el desarrollo de material, equipamiento y asesoramiento deportivo.

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.
- 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 vVO_{2max} 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.
- Butler, R. J., Davis, I. S., & Hamill, J. (2006). Interaction of arch type and footwear on running mechanics. *American Journal of Sports Medicine*, 34(12), 1998-2005.
- Clarke, T. E., Cooper, L. B., Hamill, C. L., & Clark, D. E. (1985). The effect of varied stride rate upon shank deceleration in running. *Journal of Sports Sciences*, 3(1), 41-49.
- 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.
- Derrick, T. R. (2004). The effects of knee contact angle on impact forces and accelerations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5), 832-837.
- Derrick, T. R., Hamill, J., & Caldwell, G. E. (1998). Energy absorption of impacts during running at various stride lengths. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(1), 128-135.
- Derrick, T. R., Dereu, D., & McLean, S. P. (2002). Impacts and kinematic adjustments during an exhaustive run. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(6), 998-1002.

COMUNICACIONES VIRTUALES

- 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.
- Dixon, S. J., Collop, A. C., & Batt, M. E. (2000). Surface effects on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(11), 1919-1926.
- 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.
- 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.
- Hamill, J., Derrick, T. R., & Holt, K. G. (1995). Shock attenuation and stride frequency during running. *Human Movement Science*, 14(1), 45-60.
- 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.
- Higginson, B. K. (2009). Methods of running gait analysis. *Current Sports Medicine Reports*, 8(3), 136-141.
- 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.
- 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.

COMUNICACIONES VIRTUALES

- Le Bris, R., Billat, V., Auvinet, B., Chaleil, D., Hamard, L., & Barrey, E. (2006). Effect of fatigue on stride pattern continuously measured by an accelerometric gait recorder in middle distance runners. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 46(2), 227-231.
- Leboeuf, S., Achard de Leluardière, F., Lacouture, P., Duboy, J., Leplanquais, F., & Junqua, A. (2006). Étude biomécanique de la course à pied. *Podologie*, 27-020-a-20-2006.
- 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.
- Mercer, J. A. (1999). *Effects of fatigue on shock attenuation during running*. Eugene, Or.; United States: Microform Publications, University of Oregon.
- Mercer, J. A., Vance, J., Hreljac, A., & Hamill, J. (2002). Relationship between shock attenuation and stride length during running at different velocities. *European Journal of Applied Physiology*, 87(4), 403-408.
- Mercer, J. A., Bates, B. T., Dufek, J. S., & Hreljac, A. (2003). Characteristics of shock attenuation during fatigued running. *Journal of Sports Sciences*, 21(11), 911-919.
- 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.
- Milgrom, C., Finestone, A., Levi, Y., Simkin, A., Ekenman, I., Mendelson, S., et al. (2000). Do high impact exercises produce higher tibial strains than running?. *British Journal of Sports Medicine*, 34(3), 195-199.
- 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.
- Milgrom, C., Radeva-Petrova, D. R., Finestone, A., Nyska, M., Mendelson, S., Benjuya, N., et al. (2007). The effect of muscle fatigue on in vivo tibial strains. *Journal of Biomechanics*, 40(4), 845-850.
- Milner, C. E., Ferber, R., Pollard, C. D., Hamill, J., & Davis, I. S. (2006). Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(2), 323-328.
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., Isakov, E., & Daily, D. (2000). Effect of fatigue on leg kinematics and impact acceleration in long distance running. *Human Movement Science*, 19(2), 139-151.
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., & Isakov, E. (2000a). Fatigue-related loading imbalance on the shank in running: A possible factor in stress fractures. *Annals of Biomedical Engineering*, 28(4), 463-469.
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., & Isakov, E. (2000b). Shock accelerations and attenuation in downhill and level running. *Clinical Biomechanics*, 15(1), 15-20.
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., & Isakov, E. (2001). Fatigue-induced changes in decline running. *Clinical Biomechanics*, 16(3), 207-212.
- 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
- 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.

COMUNICACIONES VIRTUALES

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465-485.
- Taunton, J. E., Ryan, M. B., Clement, D. B., McKenzie, D. C., Lloyd-Smith, D., & Zumbo, B. D. (2003). A prospective study of running injuries: The vancouver sun run "in training" clinics. *British Journal of Sports Medicine*, 37(3), 239-244.
- 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 Gent, R. N., Siem, D., van Middelkoop, M., van Os, A. G., Bierma-Zeinstra, S. M. A., & Koes, B. W. (2007). Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(8), 469-480.
- 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.
- Verbitsky, O., Mizrahi, J., Voloshin, A., Treiger, J., & Isakov, E. (1998). Shock transmission and fatigue in human running. *Journal of Applied Biomechanics*, 14(3), 300-311.

COMUNICACIONES VIRTUALES

- 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.
- Wheat, J. S., Milner, C. E., & Barlett, R. M. (2004). Kinematic variability during overground and treadmill running. (abstract). *Journal of Sports Sciences*, 22(3), 245-246.
- 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.
- Zifchock, R. A., Davis, I., Higginson, J., McCaw, S., & Royer, T. (2008). Side-to-side differences in overuse running injury susceptibility: A retrospective study. *Human Movement Science*, 27(6), 888-902.

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.