

 EDITORIAL  
**DYKINSON**

# LA SEGURIDAD DEPORTIVA A DEBATE III

**Gabriel Flores Allende**  
**Ana María Magaz González**  
**Marta García Tascón**



# LA SEGURIDAD DEPORTIVA A DEBATE III

Gabriel Flores Allende

Ana María Magaz González

Marta García-Tascón

*(Editores)*

Agustín Guardiola Vera	José Luis Gómez Calvo
Alfonso Ribarrocha Ribarrocha	José Manuel Lobo Serrato
Ana M <sup>a</sup> Gallardo Guerrero	Juan Felipe Muñoz Bedoya
Ana María Magaz González	Keyla Andrea Porras Ramírez
Ángela Domínguez Pérez	Leonor Gallardo Guerrero
Angélica M <sup>a</sup> Saenz Macana	José Antonio Santacruz Lozano
Bart Bloem Herraiz	M <sup>a</sup> Ángeles Miranda Martínez
Benito Zurita Ortíz	M <sup>a</sup> del Pilar Méndez Sánchez
Carmen Navarro Mateos	María José Arenilla Villalba
Carlos Chavarría Ortiz	María José Maciá Andreu
Daniel Daners	Marta García Tascón
David Alarcón Rubio	Mauricio Hernández Londoño
Declan Hill	Miguel Almagro Nieto
Eugenio Samuel López Moreno	Nicolás Gonzalo Alejandro Castillo Abad
Elena Martínez Moreno	Omar Velarde Martínez
Enrique Colino Acevedo	Pablo Caballero Blanco
Erik Fernando Dávalos Barajas	Pablo García González
Gabriel Flores Allende	Patricia I. Jaenes Amarillo
Isaac José Pérez López	Rafael Baena González
Jesús del Barrio Díez	Rafael Peñaloza Gómez
José Antonio Santacruz Lozano	Samuel Manzano Carrasco
José Carlos Jaenes Sánchez	Sebastián Restrepo Moncada
Jorge Ehlers Hödar	Zonaika Posada López
Jorge Fernando García-Unanue	

# LA SEGURIDAD DEPORTIVA A DEBATE III

Gabriel Flores Allende

Ana María Magaz González

Marta García-Tascón

*(Editores)*



DYKINSON

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (art. 270 y siguientes del Código Penal). Diríjase a Cedro (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con Cedro a través de la web [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com) o por teléfono en el 917021970/932720407. Este libro ha sido sometido a evaluación por parte de nuestro Consejo Editorial Para mayor información, véase [www.dykinson.com/quienes\\_somos](http://www.dykinson.com/quienes_somos)

La Red “RIASPORT Red estatal de investigación aplicada sobre seguridad deportiva” ha sido financiada con cargo a la Convocatoria de concesión de ayudas para la creación de «Redes de Investigación en Ciencias del Deporte» para el año 2019, con el número de expediente 03/UPB/19 y resolución del día 26 de julio de 2019. También, con cargo a la Convocatoria de ayudas a «Redes de Investigación en Ciencias del Deporte» para el año 2021, con el número de expediente 14/UPB/21 y resolución de 20 de julio de 2021 y, mediante el expediente 32/UPB/23, resolución de 12 de julio para el año 2023.

Los autores  
Madrid

© Diseño de Portada: Juan Eduardo Martínez Solís

Editorial  
DYKINSON, S.L. Meléndez Valdés, 61 - 28015 Madrid  
Teléfono (+34) 91 544 28 46 - (+34) 91 544 28 69  
e-mail: [info@dykinson.com](mailto:info@dykinson.com)  
<http://www.dykinson.es>  
<http://www.dykinson.com>

ISBN: 978-84-1070-205-9  
DOI: 10.14679/2330

Maquetación:  
Realizada por los autores

## ÍNDICE

<b>Prólogo</b>	La seguridad deportiva .....	11
<b>Presentación</b>	La seguridad deportiva a debate. RIASPORT .....	13

### BLOQUE I. SEGURIDAD EN INSTALACIONES DEPORTIVAS

<b>Capítulo 1</b>	Método mosler de análisis y evaluación de riesgos en instalaciones deportivas (España)..... <i>Agustín Guardiola Vera - José Antonio Santacruz Lozano</i>	17
<b>Capítulo 2</b>	¿Se tiene en cuenta la seguridad infantil en las instalaciones deportivas? (España)..... <i>María Ángeles Miranda Martínez</i>	33
<b>Capítulo 3</b>	Diseño de instalaciones deportivas, las escalas y la seguridad (Uruguay)..... <i>Daniel Daners</i>	49
<b>Capítulo 4</b>	Normas de seguridad: Comité Técnico Europeo (España)... <i>Jesús del Barrio Díez</i>	65
<b>Capítulo 5</b>	La inspección acreditada de la seguridad en piscinas de uso público (España)..... <i>Alfonso Ribarrocha Ribarrocha</i>	73

## BLOQUE II.

### GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DEPORTIVA

Capítulo 6	Mantenimiento del orden, tranquilidad y convivencia de los usuarios del Parque Público Solidaridad en Guadalajara (México) .....	95
	<i>Omar Velarde Martínez</i>	
Capítulo 7	Análisis del cumplimiento de la normativa española (UNE-EN) en canastas y porterías de las instalaciones deportivas de la Región de Murcia (España).....	109
	<i>María José Maciá Andreu - Elena Martínez Moreno - Miguel Almagro Nieto - Benito Zurita Ortíz - Ana María Gallardo Guerrero</i>	
Capítulo 8	La seguridad de un recinto deportivo (Chile) .....	121
	<i>Jorge Eblers Hödar</i>	
Capítulo 9	Innovación en los equipamientos deportivos y su incidencia en la seguridad: hito a nivel mundial en el balonmano (España) .....	139
	<i>Rafael Baena González - Marta García Tascón - Carlos Chavarría Ortiz - Ana María Gallardo Guerrero</i>	
Capítulo 10	Análisis de la accesibilidad y seguridad de las instalaciones deportivas de la Región de Murcia durante el covid-19 (España) .....	153
	<i>Ana María Gallardo Guerrero - Miguel Almagro Nieto - Elena Martínez Moreno - Benito Zurita Ortíz - María José Maciá Andreu</i>	
Capítulo 11	Observatorio de corrupción en el deporte (Colombia) .....	165
	<i>Mauricio Hernández Londoño - Sebastián Restrepo Moncada - Angélica María Saenz Macana - Juan Felipe Muñoz Bedoya - Zonaika Posada López - Nicolás Gonzalo Alejandro Castillo Abad</i>	
Capítulo 12	Nueva visión de la gestión de la seguridad aplicada a los servicios deportivos. Seguridad-calidad (España) .....	185
	<i>José Luis Gómez Calvo</i>	

### BLOQUE III.

## FORMACIÓN EN SEGURIDAD DEPORTIVA

<b>Capítulo 13</b>	Estudio piloto sobre el análisis del concepto “seguridad” en el currículo de los programas de deporte en universidades colombianas (Colombia) .....	201
	<i>Keyla Andrea Porras Ramírez - Gabriel Flores Allende - Marta García Tascón</i>	
<b>Capítulo 14</b>	Buenas prácticas para reducir los accidentes deportivos: Campaña #ceroaccidentesdeportivos-Riasport (España) .....	213
	<i>Eugenio Samuel López-Moreno – Ana María Magaz González - Ana María Gallardo Guerrero – María José Maciá Andreu - Gabriel Flores Allende- Marta García Tascón</i>	
<b>Capítulo 15</b>	Juego, aprendo y emprendo. Gamificación culinaria para exportar la seguridad deportiva (España).....	227
	<i>Isaac José Pérez López - Carmen Navarro Mateos</i>	
<b>Capítulo 16</b>	La seguridad moral y ética. La trascendencia del respeto (España) .....	247
	<i>José Carlos Jaenes Sánchez - María José Arenilla Villalba - Rafael Peñaloza Gómez - María del Pilar Méndez Sánchez - Patricia I. Jaenes-Amarillo - Pablo García González - David Alarcón Rubio</i>	

**BLOQUE IV.**  
**OTRAS PERSPECTIVAS APLICADAS AL ÁMBITO**  
**LA SEGURIDAD DEPORTIVA**

<b>Capítulo 17</b>	Construir un deporte sin violencia desde el olimpismo (España) .....	263
	<i>Ángela Domínguez Pérez</i>	
<b>Capítulo 18</b>	Aplicación práctica de los protocolos de protección del menor frente a la violencia en el deporte en las Entidades Deportivas (España) .....	277
	<i>José Manuel Lobo Serrato</i>	
<b>Capítulo 19</b>	La seguridad en ámbito deportivo en el ordenamiento jurídico deportivo mexicano (México) .....	289
	<i>Erik Fernando Dávalos Barajas - Gabriel Flores Allende</i>	
<b>Capítulo 20</b>	La digitalización como forma de vida para mejorar la calidad de vida, seguridad y condición física orientada a la salud en los adultos-mayores: Moevap program (España) .....	303
	<i>Samuel Manzano Carrasco - Jorge Fernando García Unanue - Leonor Gallardo Guerrero</i>	
<b>Capítulo 21</b>	Propuesta de adaptación del método MIDE a itinerarios en bicicleta de montaña como factor de seguridad (España) .....	313
	<i>Pablo Caballero Blanco - Bart Bloem Herraiz</i>	
<b>Capítulo 22</b>	The asian sports gambling market (Canadá) .....	331
	<i>Declan Hill</i>	
<b>Capítulo 23</b>	Los tapices rodantes y la seguridad de los corredores (España) .....	357
	<i>Enrique Colino Acevedo</i>	

## CAPÍTULO 23. LOS TAPICES RODANTES Y LA SEGURIDAD DE LOS CORREDORES

**Dr. D. Enrique Colino Acevedo**

*Facultad Ciencias de la Salud.*

*Universidad Francisco de Vitoria. Pozuelo de Alarcón, Madrid, España.*

*Orcid 0000-0003-3376-2303*

DOI: 10.14679/2353

### 1. INTRODUCCIÓN

Las cintas de correr constituyen un equipamiento ampliamente utilizado en diferentes entornos, incluyendo el entrenamiento deportivo, pruebas de evaluación del rendimiento, rehabilitación o investigación (Miller et al., 2019). Aunque con frecuencia se asume que la locomoción en una cinta de correr es un fiel reflejo de la locomoción sobre el suelo firme, existe controversia en cuanto a la equivalencia de las respuestas biomecánicas, fisiológicas o psicológicas entre esas dos condiciones (Colino et al., 2019; Miller et al., 2019; Van Hooren et al., 2019).

Tradicionalmente se entendía que una familiarización insuficiente o una menor resistencia debido a la ausencia de aire relativo podían hacer que correr sobre un tapiz rodante difiera de correr sobre el suelo firme (Jones y Doust, 1996; Lavcanska, Taylor y Schache, 2005; Pugh, 1971). Sin embargo, estudios más recientes indican que todavía se pueden encontrar diferencias entre las dos condiciones independientemente de la familiarización previa (Van Hooren et al., 2019) y del efecto de la resistencia del aire, ya que este último sólo se convierte en un factor diferencial a velocidades de carrera relativamente altas –por encima de 16 km/h–

, que es más rápido que las velocidades utilizadas en la mayoría de los estudios de campo que reportan diferencias entre superficies (Miller et al., 2019). Por lo tanto, otros factores distintos de la familiarización o la resistencia del aire podrían estar involucrados.

En este sentido, se ha sugerido que las dimensiones de la cinta y las fluctuaciones de velocidad de la propia correa podrían causar diferencias entre ambas condiciones, pero debido a que las cintas de correr modernas son suficientemente grandes y tienen mecanismos de conducción fuertes que proporcionan una variabilidad mínima de la velocidad de la correa durante la zancada, se estima que la influencia de esas variables es muy pequeña (Van Hooren et al., 2019).

Por otro lado, la controversia en cuanto a la equivalencia entre correr en tapiz rodante y correr en suelo firme también podría ser causada por diferencias en las propiedades mecánicas de las superficies (Sassi et al., 2011; Shi, Li, Liu y Yu, 2019; Van Hooren et al., 2019). De hecho, investigaciones recientes apuntan a que las propiedades mecánicas de la cinta de correr tienen una mayor influencia en las respuestas fisiológicas de los atletas que la propia ausencia de resistencia por el viento relativo (Colino et al., 2019; Di Michele, Di Renzo, Ammazalorso y Merni, 2009), y también pueden afectar a la biomecánica de carrera (Van Hooren et al., 2019), ya que los atletas ajustan la rigidez y la dinámica de sus piernas en función de las diferentes propiedades mecánicas de la superficie (Butler, Crowell y Davis, 2003; Dixon, Collop y Batt, 2000; Hardin, van den Bogert y Hamill, 2004; Schache y otros, 2001).

Aunque las propiedades mecánicas de muchas superficies deportivas (p.ej., campos de césped artificial, pistas de atletismo, suelos de pabellones deportivos, canchas de tenis, etc.) se evalúan con frecuencia para garantizar que cumplan con los criterios establecidos por las federaciones deportivas internacionales y otros órganos de gobierno (Shorten y Himmelsbach, 2002), Este no es el caso de las superficies de las cintas de correr, para las cuales aún no existen criterios de rendimiento estandarizados (CEN, 2014). Este hecho constituye una grave limitación para la mayor parte de la investigación científica en la que se compara la locomoción sobre tapiz rodante y la locomoción sobre suelo firme, ya que en la mayoría de estos estudios no se reportan las propiedades mecánicas de ninguna de las superficies (Van Hooren et al., 2019).

Por lo tanto, evaluar las propiedades mecánicas de las cintas de correr es un tema importante no solo en el deporte, sino también desde una perspectiva clínica. Por ejemplo, distintas investigaciones indican que las propiedades mecánicas de las cintas de correr tienen una influencia significativa en las fuerzas plantares máximas y en el consumo de energía metabólica (Shi et al., 2019; Smith, McKerrow y Kohn, 2017), mientras que otras apuntan a que correr sobre un tapiz rodante supone un menor riesgo de desarrollar fracturas por estrés tibial, pero un mayor riesgo de lesiones por sobrecarga en el tendón de Aquiles en comparación con correr sobre suelo firme (Milgrom y otros, 2003; Milner, Hawkins y Aubol,

2020; Smits, 2019), debido a la alteración de la cinética y cinemática de las extremidades inferiores.

En general, las distintas regulaciones requieren que se evalúen tres propiedades mecánicas principales de las superficies deportivas: absorción de impactos (AI), deformación vertical (DV) y energía de restitución (ER) (Colino et al., 2017). Sin embargo, los pocos estudios que han caracterizado las propiedades mecánicas de la cinta de correr de alguna manera se han centrado principalmente en la rigidez superficial (Kerdok, Biewener, McMahon, Weyand y Herr, 2002; Smith et al., 2017). Aunque la rigidez está estrechamente relacionada con la DV, proporciona poca información sobre la AI y la ER. En este contexto, y dado que las propiedades mecánicas de las cintas de correr siguen siendo en gran parte desconocidas, el objetivo principal de esta investigación consistió en caracterizar las propiedades mecánicas de diferentes modelos de cinta de correr diseñados para fines de acondicionamiento físico, investigación y rehabilitación, así como comparar sus resultados con los obtenidos para otras superficies artificiales típicamente utilizadas en deportes, como el césped artificial y las pistas de atletismo.

## 2. MÉTODO

### 2.1. Muestra

Se incluyeron en el estudio 77 cintas de correr, 30 superficies de césped artificial y 30 superficies de pistas de atletismo. Las cintas de correr comprendían 70 tapices convencionales de centros de fitness (fit-TR), 6 cintas de correr no instrumentadas de diferentes laboratorios de investigación (lab-TR) y una cinta de correr curva no motorizada (NM-TR) (Tabla 1). Las muestras de césped artificial y pista de atletismo se seleccionaron al azar entre una base de datos de pruebas de campo realizadas por un laboratorio acreditado.

Tabla 1. Características de las cintas de correr incluidas en el estudio

Grupo	Marca	Modelo	Año de fabricación	N	Código
Fit-TR	LifeFitness	Integrity Series 97T	2011	14	LF97T
	LifeFitness	Integrity Series DX	2019	9	LFDX
	Technogym	Jog 500	2012	5	TECJog500
	Technogym	Jog 700 Excite	2008	12	TECJog700
	Technogym	Runartis	2018	22	TECRunart
	Precor	956i	2009	8	PRE956i
Lab-TR	Technogym	Excite-Med	2018	1	TECE-M

## Enrique Colino

	HP Cosmos	Pulsar lt 3P	2004	1	HPPul2004
	HP Cosmos	Pulsar lt 3P	2013	1	HPPul2013
	HP Cosmos	Saturn	2006	1	HPSat
	HP Cosmos	Venus	2016	1	HPVen
	Lode	Valiant 2 Rehab	2017	1	LODRRehab
NM-TR	Technogym	Skillmill	2019	1	TECSkill

---

### 2.2. Procedimientos

La AI, la DV y la ER se evaluaron con un dispositivo denominado Atleta Artificial Avanzado (AAA) (Wireless Value; Emmen, Países Bajos) que consiste en un ensayo mecánico de caída libre que simula el apoyo del pie de un atleta en el suelo. El césped artificial y las superficies de las pistas de atletismo se evaluaron en diferentes lugares de acuerdo con los protocolos actuales de la FIFA y World Athletics, respectivamente. (FIFA, 2015; IAAF, 2016). Para eso, realizamos tres repeticiones de ensayo en cada lugar de prueba, con intervalos de  $30 \pm 5$  segundos. Se descartaron los resultados de la primera repetición y se calcularon las propiedades mecánicas de cada ubicación como los valores medios entre la segunda y la tercera repetición. Por su parte, las cintas de correr se evaluaron en tres puntos, tal y como se describe en el artículo de Colino et al. (2020). Para cada superficie incluida en el estudio, se calculó su AI, VD y ER como la media global de los valores obtenidos en todas las ubicaciones de prueba.

### 2.3. Análisis estadístico

Los resultados de las distintas propiedades mecánicas se presentan como media y desviación estándar (DE). Se utilizaron la prueba de Kolmogorov-Smirnov para verificar la normalidad de la distribución de los datos y la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de las varianzas. Además, se compararon las propiedades mecánicas en los tres tipos de superficies (fit-TR, césped artificial y pista de atletismo) con una prueba de análisis de varianza (ANOVA) de una vía y la prueba de Bonferroni para comparaciones por pares post-hoc. Los datos de lab-TR y NM-TR se excluyeron de los análisis ya que no siguieron las premisas de distribución normal y homogeneidad de las varianzas.

Además de lo anterior, se utilizó el mismo enfoque para comparar las propiedades mecánicas entre los distintos modelos de fit-TR. Se calculó el tamaño del efecto para el efecto de grupo (ES) y su valor parcial de Eta cuadrado ( $\eta^2$ ) con la siguiente interpretación: pequeño ( $\eta^2 = 0,01-0,059$ ), mediano ( $\eta^2 = 0,06-0,14$ ) y efecto grande ( $\eta^2 > 0,14$ ). Para llevar a cabo todos estos análisis se utilizó el software estadístico SPSS V24.0 para Windows y se estableció el nivel de significancia en  $p < 0,05$ .

### 3. RESULTADOS - DISCUSIÓN

Al comparar las diferencias generales en las propiedades mecánicas entre los tres tipos de superficies (fit-TR, césped artificial y pista de atletismo) se encontró un efecto de grupo significativo en función del tipo de superficie para las tres propiedades mecánicas evaluadas (AI, DV y ER; Tabla 2).

En las comparaciones por pares post hoc, la AI fue menor en las pistas de atletismo que en las otras dos superficies ( $p < .001$  vs fit-TR y césped artificial) y menor en césped artificial que en fit-TR ( $p = .001$ ). La DV también fue menor en la pista de atletismo que en las otras dos superficies ( $p < .001$  vs fit-TR y césped artificial, respectivamente) y menor en fit-TR que en césped artificial ( $p < .001$ ). Por el contrario, la ER fue más alta en las pistas de atletismo que en las otras dos superficies ( $p < .001$  vs fit-TR y césped artificial) y también más baja en césped artificial que en fit-TR ( $p = .002$ ).

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los principales tipos de superficies

	Caminadora (ajuste-TR)		Artificial césped		Pista		Efecto de grupo (p valor y ES)	
AI (%)	64	± 2	62	± 2 <sup>F</sup>	30	± 4 <sup>F,*</sup>	p<,001, ES =0,96	
VD (mm)	7.6	± 1.3	9.3	± 0.4 <sup>F</sup>	2.5	± 0,4 <sup>F,*</sup>	p<,001, ES =0,87	
ER (%)	45	± 11	39	± 3 <sup>F</sup>	58	± 1 <sup>F,*</sup>	p<,001, ES =0,51	

Los datos se presentan como media (±) DE. Abreviaturas: ER, energía de restitución; AI: absorción de impactos; DV: deformación vertical. Símbolos: F:  $p < .05$  vs. cinta de correr; \*:  $p < .05$  vs. césped artificial.

Tabla 3. Propiedades mecánicas por modelo de cinta de correr.

	LF97T a)		LFDX b)		TECJOG 500 c)		TECJOG 700 d)		TECRUN ART (e)		PRE956I f)		Efecto de grupo (p valor y ES)	
AI (%)	6	± 1 <sup>c,d,e,f</sup>	6	± 1 <sup>c,d,e</sup>	6	± 2	6	± 2	6	± 2	6	± 2	p<,001, ES =0,69	
DV (m)	9	± 0.3 <sup>b,c</sup>	8	± 0.2 <sup>c</sup>	7	± 0.4 <sup>f</sup>	6	± 0.4 <sup>e</sup>	7	± 0.6 <sup>f</sup>	6	± 0	p<,001, ES =0,90	
ER (%)	5	± 3 <sup>b,c,d,e</sup>	5	± 4 <sup>c,d,e</sup>	4	± 2	3	± 5 <sup>f</sup>	4	± 2 <sup>f</sup>	3	± 1	p<,001, ES =0,89	

Abreviaturas: ER, energía de restitución; AI: absorción de impactos; DV: deformación vertical. Símbolo: <sup>a-f</sup>:  $p < .005$  vs (a), (b)... f), respectivamente.

Por su parte, la Tabla 3 muestra las diferencias encontradas entre los seis modelos de fit-TR, revelando un efecto de grupo significativo para cada una de las tres propiedades mecánicas evaluadas (AI, DV y ER). Los modelos de tapiz rodante de la marca LifeFitness (LF97T y LFDX) mostraron valores más altos de AI, DV y ER en comparación con otras cintas de correr ( $p < .01$  para todos los casos), mientras que el modelo Precor (PRE956I) mostró los valores más bajos de DV y ER ( $p < 0.05$  para todos los casos), sin que apareciesen diferencias significativas en la AI en comparación con los modelos de cinta de Technogym.

Estos resultados demuestran que existen diferencias entre las propiedades mecánicas de las superficies de las cintas de correr, los campos de césped artificial y las pistas de atletismo. En conjunto, las superficies de césped artificial cumplen con los estándares internacionales tanto para el fútbol (FIFA, 2015) (SA, 55–70 %; VD, 4–11 mm; ER, N/A) y rugby (World Rugby, 2016) (SA, 55–70 %; VD, 5,5–11,0 mm; ER, 20-50%), mientras que las superficies de pistas de atletismo cumplen con los criterios establecidos por World Athletics cuando se evalúan con la AA (IAAF, 2016) (SA, 35–50 %; VD, 0,6–2,5 mm; ER: N/A). Al ser comparadas con estas superficies, las cintas de correr muestran diferencias estadísticamente significativas en todas las propiedades mecánicas evaluadas. Así, las cintas de correr tienen la mayor capacidad de AI de todas las superficies, mientras que su DV y su ER oscilan entre las del césped artificial y la pista de atletismo, estando mucho más cerca de la primera.

Cuando se comparan estos resultados con los de otras superficies como asfalto u hormigón, con valores de AI inferiores al 2% y DV y ER cercanos a 0 (Baroud, Nigg, y Stefanyshyn, 1999; Sassi et al., 2011), estas diferencias son aún mayores. Esto sugiere que, a pesar de haber sido concebidas para correr y caminar, el comportamiento mecánico de las superficies de las cintas de correr difiere notablemente en comparación con otras superficies utilizadas para fines similares, como pistas de atletismo o carreteras asfaltadas. Por el contrario, las superficies de las cintas de correr parecen reproducir mejor las propiedades mecánicas del césped artificial.

Estos resultados están en línea con los de estudios previos que informan que las superficies de las cintas de correr suelen amortiguar más que las superficies de carrera sobre el suelo firme (Schache y otros, 2001), y también con aquellos que informan que las superficies de las cintas de correr devuelven una mayor cantidad de energía –aquí indicada por un ER más alto –, que las superficies de césped artificial (Di Michele et al., 2009; Zanetti, Bignardi, Franceschini y Audenino, 2013). Sin embargo, nuestros hallazgos con respecto al comportamiento mecánico de las cintas de correr no pueden generalizarse, ya que existen grandes diferencias entre los modelos de cintas de correr, incluso dentro de la misma marca. De hecho, nuestros resultados muestran diferencias significativas entre las cintas de correr

comúnmente utilizadas en los gimnasios (fit-TR) de hasta 6% en AI, 3,1mm en DV y 25% en ER, respectivamente.

Estos hallazgos sugieren que las cintas de correr no pueden considerarse como superficies homogéneas en términos de propiedades mecánicas, y que cada modelo de cinta de correr debe probarse individualmente para caracterizar su comportamiento mecánico. Además, nuestros resultados sugieren que pueden existir diferencias sistemáticas entre las distintas marcas de cintas de correr, como ya se sugirió anteriormente (Milani, Hennig y Riehle, 1988), aunque la pequeña muestra de marcas y modelos incluidos en este estudio impide sacar conclusiones generales en este sentido.

En cuanto a las cintas de correr empleadas en laboratorios de investigación (lab-TR), si bien estas cintas no se pudieron introducir en los análisis estadísticos, los resultados sugieren que las diferencias entre las distintas cintas de esta categoría podrían ser incluso mayores que las informadas para las cintas de los centros fitness (fit-TR). En este sentido, algunos estudios han demostrado que las diferencias en las propiedades mecánicas de las superficies de las cintas de correr pueden afectar el coste metabólico y las fuerzas de reacción del suelo durante la carrera (Asmussen et al., 2019; Smith et al., 2017), y otros han informado que las propiedades mecánicas variables de la superficie de carrera pueden provocar fatiga prematura o un desgaste indeseable durante una determinada tarea (Parvataneni, Plough, Olney y Brewer, 2009; Schrier, Wannop, Lewinson, Worobets, & Stefanyshyn, 2014).

En conjunto, estos hallazgos sugieren que los investigadores, médicos y atletas que utilizan cintas de correr para fines específicos deben elegir cuidadosamente el modelo que se utilizará, ya que esto puede afectar la generalización de las evaluaciones clínicas o la investigación realizada sobre las mismas, lo que podría conducir a resultados de investigación erróneos (Asmussen et al., 2019; Schache y otros, 2001; Sinclair et al., 2013; Smith et al., 2017; Van Hooren et al., 2019).

Por ejemplo, nuestros hallazgos implican que las marcadas diferencias en las propiedades mecánicas entre la cinta de correr y las superficies sobre suelo firme podrían afectar críticamente los estudios de calzado que utilizan cintas de correr para evaluar los efectos de las zapatillas en la economía y la biomecánica de carrera (Hoogkamer et al., 2018; TenBroek, Rodrigues, Murphy y Hamill, 2011; Willwacher et al., 2020), dado que el calzado óptimo en una cinta de correr puede no ser necesariamente el calzado óptimo en una superficie sobre suelo firme. Por lo tanto, los investigadores que utilizan cintas de correr para reproducir las condiciones de suelo firme en entornos clínicos o de investigación deben intentar utilizar una cinta de correr cuya superficie imite lo más cercanamente posible las propiedades mecánicas de la superficie específica sobre el suelo, ya que la comparabilidad entre ambas condiciones variará dependiendo de esa cercanía (Smith et al., 2017).

En general, los hallazgos actuales apoyan la importancia de regular las propiedades mecánicas de las superficies de las cintas de correr porque: (i) las propiedades mecánicas de

todas las superficies deportivas se consideran determinantes importantes del rendimiento y el riesgo de lesiones, y (ii) nuestros resultados indican que las propiedades mecánicas de las cintas de correr varían entre los modelos y no coinciden con las de otras superficies que se usan a menudo para caminar y correr.

Además, dado que las cintas de correr con DV muy similar (que es un indicador de su rigidez) pueden diferir fuertemente en AI y ER, nuestros resultados también indicarían que evaluar y regular solo la rigidez en las superficies de la cinta de correr puede no ser suficiente para caracterizar completamente su comportamiento mecánico. Del mismo modo, relacionar los resultados de la investigación con la rigidez de la superficie podría llevar a conclusiones engañosas. La investigación adicional en esta área puede ayudar a los fabricantes a diseñar cintas de correr con propiedades superficiales que coincidan con las de superficies específicas sobre suelo firme, o cintas de correr con propiedades mecánicas diseñadas específicamente para lograr ciertos propósitos, como mejorar el rendimiento atlético o disminuir el riesgo de lesión.

#### 4. CONCLUSIONES

Las propiedades mecánicas (absorción de impactos, deformación vertical y energía de restitución) de las superficies de las cintas de correr difieren significativamente de las de las superficies deportivas de uso común, como el césped artificial, las pistas de atletismo o las superficies rígidas de asfalto u hormigón. Además, también existen diferencias notables entre los distintos modelos de cintas de correr, lo que sugiere que estos equipamientos condicionarán de manera variable a los deportistas que se ejerciten sobre ellos.

Los resultados también sugieren que las cintas de correr variarán en su comparabilidad con las superficies sobre suelo firme dependiendo de las propiedades mecánicas de sus plataformas. Por lo tanto, alentamos a evaluar e informar siempre acerca de las propiedades mecánicas de las superficies para permitir que se realicen comparaciones fiables en cualquier contexto, especialmente cuando el objetivo sea investigar la relación entre la locomoción sobre cinta de correr y sobre suelo firme, o en investigaciones que necesiten reproducir condiciones sobre el suelo firme para fines específicos como, por ejemplo, las destinadas a rehabilitación de pacientes o al diseño del calzado.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Asmussen, M.J., Kaltenbach, C., Hashlamoun, K., Shen, H., Federico, S., & Nigg, B.M. (2019). Force measurements during running on different instrumented treadmills. *J Biomech*, *84*, 263-268. doi:10.1016/j.jbiomech.2018.12.025
- Baroud, G., Nigg, B.M., & Stefanyshyn, D. (1999). Energy storage and return in sport surfaces. *Sports Engineering*, *2*(3), 173-180.

- Butler, R.J., Crowell, H.P., & Davis, I.M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clin Biomech*, 18(6), 511-517. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12828900>
- CEN. (2014). EN 957-6:2010+A1:2014 Stationary training equipment-Part 6: Treadmills, additional specific safety requirements and test methods.
- Colino, E., Garcia-Unanue, J., Van Hooren, B., Gallardo, L., Meijer, K., Lucia, A., & Felipe, J.L. (2020). A Proposed Method to Assess the Mechanical Properties of Treadmill Surfaces. *Sensors*, 20(9), 2724-2738. doi:<https://doi.org/10.3390/s20092724>
- Colino, E., Sánchez-Sánchez, J., García-Unanue, J., Ubago-Guisado, E., Haxaire, P., Le Blan, A., & Gallardo, L. (2017). Validity and reliability of two standard test devices in assessing mechanical properties of different sport surfaces. *Polymer Testing*, 62, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.06.011>
- 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. *J. Strength Cond. Res.*, 23(3), 939-945. doi:10.1519/JSC.0b013e3181a07b6e
- Dixon, S.J., Collop, A.C., & Batt, M.E. (2000). Surface effects on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32(11), 1919-1926. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11079523>
- FIFA Quality Programme for Football Turf. Handbook of Test Methods. V 3.0., (2015).
- Hardin, E.C., van den Bogert, A.J., & Hamill, J. (2004). Kinematic adaptations during running: effects of footwear, surface, and duration. *Med Sci Sports Exerc*, 36(5), 838-844. doi:10.1249/01.mss.0000126605.65966.40
- Hoogkamer, W., Kipp, S., Frank, J.H., Farina, E.M., Luo, G., & Kram, R. (2018). A Comparison of the Energetic Cost of Running in Marathon Racing Shoes. *Sports Med*, 48(4), 1009-1019. doi:10.1007/s40279-017-0811-2
- IAAF Track and Runway Synthetic Surface Testing Specifications (2016).
- Jones, A.M., & Doust, J.H. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J. Sports Sci.*, 14(4), 321-327. doi:10.1080/02640419608727717
- 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. doi:10.1152/jappphysiol.01164.2000
- Lavcanska, V., Taylor, N.F., & Schache, A G. (2005). Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Hum Mov Sci*, 24(4), 544-557. doi:10.1016/j.humov.2005.08.001
- Milani, T.L., Hennig, E.M., & Riehle, H.J. (1988). A comparison of locomotor characteristics during treadmill and overground running. Biomechanics XI-B. Free University Press, Amsterdam, 655-659.
- 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. doi:10.1136/bjism.37.2.160
- Miller, J.R., Van Hooren, B., Bishop, C., Buckley, J.D., Willy, R.W., & Fuller, J.T. (2019). A Systematic Review and Meta-Analysis of Crossover Studies Comparing Physiological, Perceptual and Performance Measures Between Treadmill and Overground Running. *Sports Med*, 49(5), 763-782. doi:10.1007/s40279-019-01087-9

- Milner, C.E., Hawkins, J.L., & Aubol, K.G. (2020). Tibial Acceleration during Running Is Higher in Field Testing Than Indoor Testing. *Med Sci Sports Exerc.* doi:10.1249/mss.0000000000002261
- Parvataneni, K., Ploeg, L., Olney, S.J., & Brouwer, B. (2009). Kinematic, kinetic and metabolic parameters of treadmill versus overground walking in healthy older adults. *Clin Biomech*, 24(1), 95-100. doi:10.1016/j.clinbiomech.2008.07.002
- Pugh, L.G. (1971). The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *J Physiol*, 213(2), 255-276. doi:10.1113/jphysiol.1971.sp009381
- Sassi, A., Stefanescu, A., Menaspa, P., Bosio, A., Riggio, M., & Rampinini, E. (2011). The cost of running on natural grass and artificial turf surfaces. *J. Strength Cond. Res.*, 25(3), 606-611. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c7baf9
- 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. *Clin. Biomech.*, 16(8), 667-680. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11535348>
- Schrier, N.M., Wannop, J.W., Lewinson, R.T., Worobets, J., & Stefanyshyn, D. (2014). Shoe traction and surface compliance affect performance of soccer-related movements. *Footwear Sci.*, 6(2), 69-80. doi:10.1080/19424280.2014.886302
- Shi, H., Li, H., Liu, H., & Yu, B. (2019). Effects of treadmill cushion and running speed on plantar force and metabolic energy consumption in running. *Gait Posture*, 69, 79-84. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.01.024
- Shorten, M.R., & Himmelsbach, J.A. (2002). *Shock attenuation of sports surfaces*. Paper presented at The Engineering of Sport IV: Proceedings of the 4th International Conference on The Engineering of Sport, Kyoto.
- Sinclair, J., Richards, J., Taylor, P.J., Edmundson, C.J., Brooks, D., & Hobbs, S.J. (2013). Three-dimensional kinematic comparison of treadmill and overground running. *Sports Biomech*, 12(3), 272-282. doi:10.1080/14763141.2012.759614
- Smith, J.A., McKerrow, A.D., & Kohn, T.A. (2017). Metabolic cost of running is greater on a treadmill with a stiffer running platform. *J Sports Sci*, 35(16), 1592-1597. doi:10.1080/02640414.2016.1225974
- Smits, J.D. (2019). *Metatarsophalangeal Joint Mechanics Differ Between Overground and Treadmill Running*. University of Oregon,
- TenBroek, T.M., Rodrigues, P., Murphy, S., & Hamill, J. (2011). Cushioning mode and magnitude affect treadmill running kinematics. *Footwear Science*, 3(sup1), S157-S159. doi:10.1080/19424280.2011.575876
- Van Hooren, B., Fuller, J.T., Buckley, J.D., Miller, J.R., Sewell, K., Rao, G., . . . Willy, R.W. (2019). Is motorized treadmill running biomechanically comparable to overground running? A systematic review and meta-analysis of cross-over studies. *Sports Med*, 50(4), 785-813. doi:10.1007/s40279-019-01237-z
- Willwacher, S., Fischer, K.M., Rohr, E., Trudeau, M.B., Hamill, J., & Bruggemann, G. P. (2020). Surface Stiffness and Footwear Affect the Loading Stimulus for Lower Extremity Muscles When Running. *J Strength Cond Res*, 36(1), 82-89. doi:10.1519/JSC.0000000000003410
- World Rugby (2016). Rugby Turf Performance Specification. In.

## Capítulo 23. Los tapices rodantes y la seguridad de los corredores

Zanetti, E.M., Bignardi, C., Franceschini, G., & Audenino, A.L. (2013). Amateur football pitches: mechanical properties of the natural ground and of different artificial turf infills and their biomechanical implications. *J. Sports Sci.*, 31(7), 767-778. doi:10.1080/02640414.2012.750005