

# Factores del calzado deportivo de carrera que influyen en la práctica deportiva: revisión sistemática

Marina Fernández Villarejo, Gabriel Gijón-Nogueron

Departamento de Enfermería y Podología. Universidad de Málaga. Málaga

**Recibido:** 20.01.2014

**Aceptado:** 27.02.2014

## Resumen

**Objetivo:** La tecnificación del calzado deportivo ha contribuido ampliamente a mejorar la biomecánica del deportista y evitar o disminuir múltiples tipos de lesiones deportivas de la extremidad inferior. El calzado de correr es uno de los que mayores cambios ha tenido en los últimos años, con la introducción de materiales y conceptos biomecánicos aplicados a la zapatilla. Esta revisión bibliográfica analiza la literatura científica relacionada con el uso de estos elementos en el calzado de correr y su repercusión en el estado de salud y en la biomecánica del deportista

**Material y método:** Se realizó una revisión de la literatura científica para los diferentes elementos del calzado que inciden en las lesiones del calzado de carrera. Se han consultado los principales buscadores y bases de datos biomédicas, tanto de habla española como inglesa (Medline-pubmed, Enfispo, Cochrane Library y Cinhal), durante el periodo comprendido entre febrero y noviembre de 2013, utilizando las palabras clave *footwear, running, running shoes, biomechanics, athletes, athletics, health promotion* realizando búsquedas booleanas. Posteriormente dos revisores realizaron la evaluación de la calidad mediante la herramienta Caspe y la extracción de datos.

**Resultados:** En la primera búsqueda se hallaron 80 resúmenes de artículos con las palabras claves seleccionadas, de los cuales, fueron excluidos 56 tras leerlos los abstracts por no cumplir los criterios de selección del estudio. El resultado final fue de 16 artículos analizados.

**Conclusiones:** Hay elementos del calzado que pueden modificarse alterando la biomecánica del ejercicio, y son los materiales (densidades), entresuela (flexibilidad, grosor), suela (grosor, material, diseño), acordonaje (patrón y tipo de sujeción) y la curvatura posterior (orientación).

## Palabras clave:

Calzado deportivo. Carrera.  
Biomecánica. Suela.  
Materiales.

## Related running footwear factors that influence sports practice: systematic review

### Summary

**Background:** The tecnification of the sports shoes has greatly contributed to improve the biomechanics of the athlete and to prevent or reduce many types of sports injuries of the lower extremity. The running shoe is one of the biggest changes has been in recent years, with the introduction of materials and biomechanical concepts applied to the shoe. This literature review examines the scientific literature related to the use of these elements in running shoes and their impact on the health and biomechanics of the athlete

**Material and methods:** A review of the scientific literature for the different elements that influence footwear injuries race was conducted. We have consulted the main search engines and biomedical English and Spanish database (Medline-pubmed, Enfispo, Cochrane Library and Cinhal), in the period between February and November 2013, using keywords *footwear, running, running shoes, biomechanics, athletes, athletics, health promotion*. Two reviewers evaluate quality with Caspe skills and data obtained.

**Results:** In our first search 80 abstracts of articles were found with the selected keywords, of which 56 were excluded after reading the abstracts did not meet the selection criteria of the study. The end result was 16 articles analyzed

**Conclusions:** There are modifiable elements on shoes that changes running biomechanics, and they are materials (density), insole (flexibility, thickness), sole (thickness, material, design, lace (pattern and type) and posterior curvature (direction)

## Key words:

Sport footwear. Running.  
Biomechanics. Material.

**Correspondencia:** Gabriel Gijón-Nogueron

E-mail: gagijon@uma.es

## Introducción

En las sociedades desarrolladas, la creciente promoción de los estilos de vida saludables, convierte a la población en individuos activos, teniendo un efecto positivo sobre ellos, tanto física como mentalmente<sup>1-4</sup>. Hay estudios que demuestran que la realización de deportes de bajo impacto con movimientos repetitivos (carrera de larga distancia) se asocia a cambios geométricos óseos favorables; practicarlos de manera habitual durante la pubertad precoz, mejora el pico de masa ósea, manteniendo esas mejoras a lo largo de los años y pudiendo ser beneficioso para evitar ciertas enfermedades óseas degenerativas<sup>5-9</sup>.

Por esta razón, en el último cuarto de siglo, se ha producido un aumento significativo en la práctica de la carrera a pie<sup>2,10</sup>. Se estima que entre 30 y 34 millones de personas en Estados Unidos practican alguna modalidad de carrera<sup>11,12</sup> y en los dos últimos años, estas cifras han aumentado un 10,3%<sup>2</sup>. Según estadísticas de Running USA, unos 14 millones de personas participaron en alguno de los eventos deportivos organizados en USA en 2011, de los cuales 7.685.700 fueron mujeres y 6.288.300 varones<sup>13</sup>.

Los movimientos que se producen durante la carrera son fundamentalmente en el plano sagital, es decir, flexión y extensión de las articulaciones implicadas<sup>14</sup>, aunque el 18,9% de la energía se concentra en controlar los movimientos en el plano frontal<sup>11</sup>. El sistema nervioso central coordina la acción de los músculos para mantener la postura de las extremidades durante la carrera y junto con las acciones de los tendones y los ligamentos, que son un excelente almacenaje de energía elástica, sirven de soporte mecánico. Por tanto, el ser humano es capaz de adaptar la rigidez musculotendinosa de la pierna durante el paso, para acomodarse a las diferentes superficies o para mantener la frecuencia durante la aceleración, lo que permite a los atletas correr de manera similar en diferentes tipos de pista, consiguiendo así una mejora en el rendimiento<sup>15</sup>.

El aumento de la práctica de ejercicio físico, tiene también algunos aspectos negativos, tales como el riesgo de producir lesiones. Entre las causas extrínsecas que favorece la lesión, podemos incluir el tipo de calzado<sup>10,11,16</sup>.

Tradicionalmente, en la carrera, la mayoría de la atención se ha centrado en la rodilla y en la cadera, por ser las localizaciones anatómicas que más lesiones registran, aunque últimamente, una parte importante de los estudios se centran en describir y analizar la biomecánica del pie y del tobillo, entendiendo la importancia del pie en este deporte, por ser el nexo de unión del cuerpo con el suelo, y la necesidad de que trabajen armoniosamente<sup>17</sup>. En 1920 surgió la creación del primer calzado específicamente deportivo, con refuerzos laterales y acordonados, y a partir de ahí continuó evolucionando para proporcionar a los corredores mayor confort y resistencia<sup>2</sup>. Actualmente, se pretende desarrollar una eficacia en el control de los movimientos mediante la zapatilla de deporte en términos cinemáticos, y hay estudios que demuestran que ciertas características del calzado, son útiles para controlar el movimiento de los segmentos proximales del pie<sup>18</sup>.

El calzado deportivo se ha diseñado para aumentar el rendimiento de todos los deportes participando en la locomoción y en la dinámica de la interacción calzado-suelo. Las características del calzado pueden ser modificadas para conseguir una meta específica.

El objetivo de esta revisión, es analizar la literatura científica publicada en los últimos 10 años sobre la biomecánica de la carrera y los elementos de la zapatilla que tienen alguna influencia sobre la misma.

## Material y métodos

La búsqueda bibliográfica se inició con la recuperación de los artículos publicados en las bases de datos electrónicas relacionadas con la salud y la biomecánica de Medline-pubmed, Enfsipo, Cochrane Library y Cinhal. La búsqueda se realizó para identificar los posibles estudios que identificasen la biomecánica de la carrera y analizasen los elementos de la zapatilla que intervienen en la biomecánica, que tuviesen validez. En los términos de búsqueda, se utilizaron "footwear, running, running shoes, biomechanics, athletes, athletics, health promotion", y la combinación de ellos. Se obtuvieron también artículos mediante referencias cruzadas derivadas de la primera búsqueda.

La búsqueda se limitó a artículos en inglés o español, cuyo tema de estudio se relacionara con los objetivos de la revisión, de no más de 10 años de antigüedad, artículos con acceso a texto completo o que la población de estudio o la muestra fuese relevante para el presente estudio. La búsqueda se realizó entre Febrero y Noviembre de 2013.

Tras la revisión de dos revisores independientes, completaron la evaluación de la calidad metodológica. Los estudios se evaluaron mediante la herramienta *Critical Appraisal Skills Programme Español (CASPe)*, gracias al cual se controló el riesgo de sesgo en cada uno de los estudios y se puntuó la evidencia general de los mismos, quedándonos finalmente con 34 artículos, todos en inglés, los cuales fueron aceptados por el comité ético pertinente en cada caso, y acorde a la declaración de Helsinki de los derechos humanos.

## Resultados

Los resultados obtenidos muestran 16 artículos que han servido para la discusión del mismo, descartando los otros 18 que se han utilizado a lo largo de la introducción del trabajo, exponiéndose en la Tabla 1.

## Discusión

En el ciclo de la carrera, el choque de talón produce los mayores impactos, y su magnitud depende de la cantidad de impulso transferido y de su velocidad. Intrínsecamente, el cuerpo presenta mecanismos de defensa contra este daño potencial, mediante absorción activa (con la alineación articular y las fuerzas musculares) o pasiva (a través de la almohadilla de talón, líquido sinovial, hueso y cartílago articular)<sup>19</sup>. Según Whittle *et al*, el calzado deportivo, contribuye a atenuar el impacto hasta en un 46% mediante ciertos materiales que amplían el tiempo de contacto y absorben energía<sup>20</sup>. Estos materiales difieren en densidad, elasticidad y viscosidad. Sun *et al*, orienta la elección de los materiales basándose en la respuesta cíclica. En los materiales de amortiguación, las propiedades a tener en cuenta son la rigidez y la viscosidad, siendo el más efectivo en términos de atenuación de impacto el menos rígido y más viscoso<sup>21</sup>. Los materiales viscoelásticos, reducen el impacto, con-

virtiendo la energía elástica usada para deformarse en calor, y suponen, por tanto una línea adicional de defensa. Los elástomeros de poliuretano ayudan a redistribuir las presiones, y la espuma, es el material más resistente a la compresión<sup>20</sup>. Los materiales resilientes usados en la entresuela recuperan más energía que los viscoelásticos, aunque hay que realizar estudios que confirmen que convierten esta energía elástica en propulsiva<sup>21</sup>. Lo que sí observaron Wilwatcher *et al*, es que para mejorar la propulsión, puede reforzarse la primera articulación metatarsofalángica en la entresuela, con materiales de grosor medios resistentes a la rigidez y flexibilidad, tipo fibra de carbono, mejorando la capacidad mecánica de los flexores<sup>22</sup>. Otros estudios proponen combinar materiales con diferentes tasas de deformidad para controlar movimientos, con zonas blandas que desaceleren la pronación al contacto (zona lateral), y zonas firmes que limiten la pronación excesivo (zona medial), así, conseguiríamos reducir los picos de fuerzas plantares<sup>23</sup>.

Otro efecto descrito de la entresuela es la estabilidad, que fomenta el equilibrio contribuyendo al rendimiento atlético. Se describe una relación positiva entre la dureza y el grosor de la entresuela, ya que el movimiento de tobillo en el plano medial lateral se relaciona directamente con la dureza del material utilizado. Lo ideal es utilizar un material compresible que distribuya excéntricamente las cargas. Hay que tener en cuenta, que ciertos materiales, en concreto suelas gruesas blandas (espumas de polímero expandidas) llevan al corredor a un aislamiento sensorial que no permite a la superficie plantar deformarse según los vectores de fuerzas, fomentando la inestabilidad<sup>9</sup>. Un estudio demuestra que la dureza de la entresuela afecta solo a los movimientos en el plano sagital de rodilla y tobillo, pudiendo ser por tanto una cualidad prescindible en las atletas femeninas (el patrón de movimiento no se da en esos planos), y necesaria en los atletas masculinos<sup>22</sup>.

Una modificación muy común en la entresuela son las cuñas de talón. Según un estudio que compara la mecánica de las extremidades con diferentes cuñas, las cuñas en supinación disminuyen la eversión del retropié, aumentan el impacto tibial, el pico de impacto y la tasa de carga vertical. Debido a que tasas de impacto altas, se relacionan directamente con la aparición de lesiones, el calzado con cuña neutra almohadillado puede resultar el más beneficioso, y contribuye además a la reducción del impacto tibial<sup>24</sup>. Otro estudio en cambio, que investiga el efecto de las cuñas en la mecánica de tobillo, concluye que las cuñas amplifican la velocidad y rango de plantarflexión<sup>25</sup>.

La suela es un elemento que contribuye a reducir la presión, mediante la utilización de materiales y geometría concreta en función del patrón del corredor<sup>26</sup> y que, además influye en la estabilidad. Para controlar esta estabilidad en sentido anteroposterior, se propone una modificación en la inclinación del balancín de la suela, que aumenta el ángulo dorsoplantar de tobillo, produciendo cambios articulares (disminuye un 12% el tiempo de plantarflexión de tobillo durante el apoyo) y reducción en los picos de impacto, que solo son apreciables en el pie, no en rodilla ni cadera, y fundamentalmente en la marcha debido a su movimiento de aceleración pendular<sup>27,28</sup> (Figura 1).

Otro aspecto importante del calzado, es la correcta adaptación, ya que previene que el pie se salga y resbale, garantizando estabilidad y evitando lesiones<sup>29</sup>. Ciertos estudios, concluyen que el calzado acordonado es más cómodo, ya que permiten ajustar la presión y adaptar el talón, favoreciendo el control de los movimientos del retropié. Los

**Figura 1. Partes del calzado deportivo**



calzados elásticos provocan mayores rangos de eversión, siendo percibidos como menos cómodos. Se describe también un acordonado pronado que contribuye al control del movimiento en individuos pronadores, pudiendo contribuir a la disminución de las lesiones<sup>30</sup>. Además, el patrón de lazada tiene influencias en la biomecánica, siendo el más efectivo el diseño de siete ojales que permite un abrochado más alto, con mejor acoplamiento y uso de las características antipronatorias y de la amortiguación del pie, además al tener un ojal extra, reparte la presión dorsal, disminuyéndola<sup>31</sup> (Figura 1).

La adaptación no solo se produce mediante el abrochado, sino que es importante que el calzado se adapte a la morfología concreta de cada atleta<sup>29</sup>. El factor morfológico más analizado ha sido la altura del arco, concluyendo que los corredores con arcos altos pronan menos, y tienen pies más rígidos y menos flexibles, lo que lleva a una reducción del impacto que puede comprometer la musculatura de los gastrocnemios y el sóleo. Los corredores con arcos bajos, en cambio, tienden a la hiper movilidad de retropié y mediopié, que les lleva al exceso de pronación. Se encuentran por tanto inestables en el despegue, desplazando medialmente el centro de gravedad. Se produce también una excesiva rotación tibial interna, que aumenta el estrés medial en pie, pierna y rodilla<sup>24,26,32,33</sup>. Debido a que los picos de impacto y el movimiento del retropié, aumentan según avanza la carrera, correr con un calzado adaptado a la morfología, puede tener mayores efectos según avanza la carrera<sup>24</sup>.

Tras analizar estos elementos, podemos describir cuatro categorías fundamentales de calzado:

- De estabilidad: buen acolchado, soporte medial y durabilidad. Semicurvos, con una combinación que ofrece estabilidad al retropié y flexibilidad al antepié. Suelen tener posteo medial o entresuela de multidensidad para proporcionar un control de la pronación. Recomendado para corredores de peso medio, con posición neutra y arcos medios o bajos<sup>24,32,33</sup>.
- De control del movimiento: Son los más rígidos, diseñados para limitar la el exceso de pronación. Tienen la parte posterior rígida y

Tabla 1. Resultados de los artículos de la búsqueda bibliográfica.

Autor	Tipo de estudio	Evidencia (Nº de participantes)	Intervención principal
Hreljac A <sup>9</sup>	Revisión bibliográfica		Estudiar la etiología, prevención y la intervención temprana en las lesiones por sobreuso en la carrera
Ly QH, Aloui A, Erlicher S, Bali L <sup>19</sup>	Analítico observacional		Comparar la elasticidad del diseño de dos modelos de zapatos
Whittle MW, MD, PhD, Chataggon TN <sup>20</sup>	Revisión sistemática		Analizar características de los materiales
Sun Pc, <i>et al</i> <sup>21</sup>	Estudio controlado de laboratorio		Testar las características de deformación de los materiales del talón
Willwacher S, König M, Potthast W, Brüggermann GP <sup>22</sup>	Analítico observacional	19	Estudiar los efectos de la rigidez y elasticidad de la entresuela en la primera articulación metatarsal
Cheung RT, Ng GY <sup>23</sup>	Analítico intervencional	25	Buscar cambios en relación al calzado
Butler RJ, Hamill J, Davis I <sup>24</sup>	Analítico intervencional	24	Cambios cinemáticos y cinéticos en corredores con arcos altos y bajos con calzado de control del movimiento y amortiguador
Willwacher S, Pottash W, Konrad M, Brüggermann GP <sup>25</sup>	Analítico intervencional	19	Evaluar el efecto de la talonera en la mecánica del tobillo durante la fase de apoyo
Wegener C, Burns J, Penkala S <sup>26</sup>	Analítico intervencional	22	Analizar la carga plantar y el confort en un calzado en corredores con pie cavo
Boyer KA, Andriachi TP <sup>27</sup>	Analítico intervencional	19	Estudiar la afectación cinemática y cinética de tobillo, rodilla y cadera con calzados de diferentes suelas
Sobhani S, <i>et al</i> <sup>28</sup>	Diseño cruzado	16	Evaluar la biomecánica de tobillo al modificar la suela de balancín en la marcha y la carrera
Krauss I, Valiant, Horstmann T, Grau <sup>29</sup>	Analítico intervencional	455	Investigar diferencias entre la morfología de pie femenina y los calzados
Hong Y, Wang L, Li JX, Zhou JH <sup>30</sup>	Analítico intervencional	15	Determinar diferencias en el confort percibido, la presión plantar y el movimiento del pie entre calzado acordonado o elástico
Hagen M, Homme AK, Umlauf T, Hennig EM <sup>31</sup>	Analítico intervencional	14	Investigar el efecto de diferentes patrones de lazada en la presión dorsal y en la percepción de confort y estabilidad
Asplund CA, Brown D <sup>32</sup>	Revisión bibliográfica		Analiza los básicos del calzado, la anatomía y tipos de calzado
Knapik JJ <i>et al</i> <sup>33</sup>	Ensayo clínico	3062	Evaluar la efectividad en la incidencia de lesiones de la prescripción del calzado basada en la forma del pie

Criterio de inclusión	Resultados
Se comparan dos modelos de zapatos en laboratorio	Las fuerzas de impacto se afectan por la superficie, y esto se puede controlar con el diseño del calzado
	Aumentar la dureza o la rigidez de los materiales, mejora la resiliencia o la capacidad de comprimirse persistentemente sin aplanarse
Corredores masculinos	Modificaciones en la rigidez de la entresuela alteran la mecánica de la primera articulación metatarsofalángica
Corredores recreacionales con más de 6° de pronación.	Para los corredores con <6° pronación, el calzado con control del movimiento ayuda a prevenir lesiones
Corredores recreacionales (con arcos altos o bajos) entre 18 y 20 años y una carrera mínima de 10 km semanales	En corredores con arcos bajos, el calzado con control del movimiento disminuyó la rotación tibial interna. En corredores con arcos altos, el calzado amortiguador redujo el impacto tibial
Corredores varones	Los ángulos máximos de eversión no se ven afectados por las taloneras Los potenciales generadores de los momentos articulares se inhiben debido a la rápida plantar flexión que se produce por la relación fuerza velocidad
Corredores de más de 20 kilómetros semanales con pies cavos	El calzado amortiguador neutro es efecto para reducir las cargas plantares en individuos con pies cavos
Voluntarios sin lesiones previas, ni dolores en los últimos 6 meses.	Se observan cambios en la dinámica del tobillo en relación a las alteraciones en la geometría de la suela
Corredores sanos sin antecedentes de lesión en los 12 meses previos, y que corran al menos 2 veces a la semana 5 km cada vez	La suela en balancín reduce el momento de plantarflexión de tobillo
Corredoras femeninas entre 14 y 60 años	Mediciones específicas de atletas femeninas
Corredores recreacionales con patrón de retropié y talla de calzado 41	El calzado elástico proporciona menor confort, mayores picos de presiones plantares, y mayor pronación del pie. El calzado acordonado se adapta mejor
Corredores varones experimentados con patrón de retropié y sin síntomas de posible lesión	La lazada con 7 ojales demostró un aumento del confort percibido, debido a una diferencia en la presión sobre astrágalo, escafoides y tendones de los extensores, sin diferencias en la estabilidad. Contribuye también a la distribución de la presión dorsal
Voluntarios reclutados del equipo básico de entrenamiento de la armada americana	Elegir el calzado en base a la forma plantar del pie, no parece tener relación con la reducción de las lesiones

están contruidos por paneles para ofrecer estabilidad y soporte medial máximo. Tienen talón reforzado con posteo medial y entresuela densa de poliuretano. Tienen además, un efecto de disminución de la rotación tibial interna. Suele ser un calzado más pesado y más duradero. Dirigido a pronadores moderados, severos o con arcos planos y mucho peso<sup>24,32-34</sup>.

- Amortiguador: Aporta más flexibilidad, con una entresuela más blanda y un apoyo menos medial. La entresuela puede incluir moldeado por compresión o EVA encapsulado, almohadillas de gel o silicona, cámaras de flujo de silicona u otros dispositivos específicos para absorber el impacto. Tienen una construcción tubular con forma curva o semicurva. Apropiado para corredores ligeros o de peso medio que pronan poco y tienen arcos altos<sup>24,32-34</sup>.
- Ligero: Diseñados para competir o entrenar a alta velocidad. Se construyen con amortiguación básica, usados para alcanzar un alto rendimiento. Usados por corredores biomecánicamente neutros, ya que al pesar poco, ofrecen una ventaja cinemática<sup>24,32,33</sup>.

Aunque después de dicho análisis bibliográfico habría que concluir que es necesario estudiar todos estos elementos de manera aislada y ver la relación con la morfología específica de cada corredor, para que las mejoras encontradas, sean realmente atribuibles a las modificaciones realizadas en la zapatilla

## Conclusiones

Hay elementos en el calzado que contribuyen a modificar el patrón de locomoción, alterando el patrón de cargas y el control del movimiento, suponiendo modificaciones en la atenuación del impacto y de los picos de fuerza que se producen durante la carrera, dando mayor confort y estabilidad, adecuándose a la morfología específica de cada corredor. Los elementos fundamentales que suponen una mejora son: la suela, la entresuela, el acordonaje, la curvatura posterior, y principalmente los materiales de los que se componen.

## Bibliografía

1. Willems TM, Witvrouw E, De Cock A, De Clercq D. Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(2):330-9.
2. Rothschild CE. Primitive running: a survey analysis of runners' interest, participation, and implementation. *J Strength Cond Res.* 2012;26(8):2021-6.
3. van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SM, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2007;41(8): 469-80.
4. Colbert LH, Hootman JM, Macera CA. Physical activity-related injuries in walkers and runners in the aerobics center longitudinal study. *Clin J Sport Med.* 2000;10(4):259-63.
5. Tenforde AS, Fredericson M. Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM R.* 2011;3(9):861-7.
6. Hreljac A. Impact and overuse injuries in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(5):845-9.
7. Suominen H. Bone mineral density and long term exercise. An overview of cross-sectional athlete studies. *Sports Med.* 1993;16(5):316-30.
8. Borer KT. Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women: interaction of mechanical, hormonal and dietary factors. *Sports Med.* 2005;35(9):779-830.
9. Hreljac A. Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: a biomechanical perspective. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2005;16(3):651-67.
10. Novacheck TF. The biomechanics of running. *Gait Posture.* 1998;7(1):77-95.
11. Niemuth PE, Johnson RJ, Myers MJ, Thieman TJ. Hip muscle weakness and overuse injuries in recreational runners. *Clin J Sport Med.* 2005;15(1):14-21.
12. Fields KB, Sykes JC, Walker KM, Jackson JC. Prevention of running injuries. *Curr Sports Med Rep.* 2010;9(3):176-82.
13. Ashton-Miller JA, Ottaviani RA, Hutchinson C, Wojtys EM. What best protects the inverted weightbearing ankle against further inversion? Evertor muscle strength compares favorably with shoe height, athletic tape, and three orthoses. *Am J Sports Med.* 1996;24(6):800-9.
14. Wang L, Hong Y, Li JX, Zhou JH. Comparison of plantar loads during running on different overground surfaces. *Res Sports Med.* 2012;20(2):75-85.
15. Ferris DP, Louie M, Farley CT. Running in the real world: adjusting leg stiffness for different surfaces. *Proc Biol Sci.* 1998;265(1400):989-94.
16. Daoud AI, Geissler GJ, Wang F, Saretsky J, Daoud YA, Lieberman DE. Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(7):1325-34.
17. Rodgers MM. Dynamic biomechanics of the normal foot and ankle during walking and running. *Phys Ther.* 1988;68(12):1822-30.
18. Cheung RT, Wong MY, Ng GY. Effects of motion control footwear on running: a systematic review. *J Sports Sci.* 2011;29(12):1311-9.
19. Ly QH, Alaoui A, Erlicher S, Baly L. Towards a footwear design tool: influence of shoe midsole properties and ground stiffness on the impact force during running. *J Biomech.* 2010;43(2):310-7.
20. Whittle MW, MD, PhD, Chataggon TN. *The use of viscoelastic materials in shoes and insoles: a review.* Magister Corporation 1996; 1-7.
21. Sun PC, Wei HW, Chen CH, Wu CH, Kao HC, Cheng CK. Effects of varying material properties on the load deformation characteristics of heel cushions. *Med Eng Phys.* 2008;30(6):687-92.
22. Willwacher S, König M, Potthast W, Brüggemann GP. Does specific footwear facilitate energy storage and return at the metatarsophalangeal joint in running? *J Appl Biomech.* 2013;29(5):583-92.
23. Cheung RT, Ng GY. Influence of different footwear on force of landing during running. *Phys Ther.* 2008;88(5):620-8.
24. Butler RJ, Hamill J, Davis I. Effect of footwear on high and low arched runners' mechanics during a prolonged run. *Gait Posture.* 2007;26(2):219-25.
25. Willwacher S, Potthast W, Konrad M, Brüggemann GP. Effect of Heel Construction on Muscular Control Potential of the Ankle Joint in Running. *J Appl Biomech.* 2013;20.
26. Wegener C, Burns J, Penkala S. Effect of neutral-cushioned running shoes on plantar pressure loading and comfort in athletes with cavus feet: a crossover randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2008;36(11):2139-46.
27. Boyer KA, Andriacchi TP. Changes in running kinematics and kinetics in response to a rockered shoe intervention. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2009;24(10):872-6.
28. Sobhani S, Hijmans J, van den Heuvel E, Zwerver J, Dekker R, Postema K. Biomechanics of slow running and walking with a rocker shoe. *Gait Posture.* 2013;38(4):998-1004.
29. Krauss I, Valiant G, Horstmann T, Grau S. Comparison of female foot morphology and last design in athletic footwear—are men's lasts appropriate for women? *Res Sports Med.* 2010;18(2):140-56.
30. Hong Y, Wang L, Li JX, Zhou JH. Changes in running mechanics using conventional shoelace versus elastic shoe cover. *J Sports Sci.* 2011;29(4):373-9.
31. Hagen M, Hömme AK, Umlauf T, Hennig EM. Effects of different shoe-lacing patterns on dorsal pressure distribution during running and perceived comfort. *Res Sports Med.* 2010;18(3):176-87.
32. Asplund CA, Brown DL. The running shoe prescription: fit for performance. *Phys Sportsmed.* 2005;33(1):17-24.
33. Knapik JJ, Swedler DI, Grier TL, Hauret KG, Bullock SH, Williams KW, et al. Injury reduction effectiveness of selecting running shoes based on plantar shape. *J Strength Cond Res.* 2009 May;23(3):685-97.
34. Rose A, Birch I, Kuisma R. Effect of motion control running shoes compared with neutral shoes on tibial rotation during running. *Physiotherapy.* 2011;97(3):250-5.