

Biomecánica funcional del pie y tobillo: comprendiendo las lesiones en el deportista

Elsa Viridiana Sánchez Hernández,* César Octavio de Loera Rodríguez,**
Andrés Enrique Cobarrubias Bustamante,*** Xavier Martín Oliva****

RESUMEN

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura sobre biomecánica del pie y tobillo, de artículos en PubMed y libros, sintetizándola para la correlación clínica y diagnóstica de lesiones en el deportista. Encontramos que hay morfotipos de pie con predisposición a lesiones específicas al ser sometidos a fuerzas mecánicas a repetición, como en el salto, la carrera, fútbol americano y soccer, entre otros. También hallamos que el calzado es influyente, tanto su configuración como su rigidez, y se implica en lesiones como el *turf toe* o las *bursitis* en el *hallux* y *Aquiles* por las compresiones anormales del calzado o las tendinosis de los extensores del pie en los ciclistas. Concluimos que hay que llevar a cabo un entendimiento completo de la sinergia del pie y el tobillo y su morfotipo específico en cada paciente para el diagnóstico en atletas. Idealmente en el deporte, el pie óptimo es

SUMMARY

A literature review was made of articles in PubMed and books related to the topics, synthesizing the information for its correlation in clinical practice and diagnostics of injuries in athletes. We found that there are types of feet with a predisposition to specific injuries when submitted to repetitive mechanical forces as in running, jumping, football and soccer, amongst other sports. We also found that footwear plays a major role, since its design and rigidity can be related to injuries like turf toe or bursitis in the hallux and Achilles by abnormal compression or tendinosis of the foot extensors in cyclists. We conclude that understanding the synergy between the foot and ankle and the anatomical variants specific to each patient is key to the diagnostic process in athletes. The «perfect» foot for sports should have a discrete valgus of approximately 5° in prone position, with a

* Cirujana Ortopedista, Coordinadora Médica, «Clínica Esportiva», Guadalajara, Jalisco. Profesora adjunta del Postgrado en Fisioterapia Deportiva en la Universidad del Valle de México, campus Zapopan, Jalisco.

** Profesor titular e Investigador titular «A». Departamento de Fisiología, Universidad de Guadalajara.

*** Médico residente de 4.º año, de Cirujano Ortopedista, Centro Médico Nacional de Occidente, IMSS, Guadalajara, Jalisco.

**** Traumatólogo y Ortopedista, Profesor del Departamento de Anatomía, Universidad de Barcelona. Responsable del Servicio de Traumatología de Urgencias de la «Clínica del Remei», Barcelona, España.

Dirección para correspondencia:

Dra. Elsa Viridiana Sánchez Hernández
Horizonte No. 1357,
Col. Jardines Plaza del Sol, C.P. 44510,
Guadalajara, Jalisco, México.
Correo electrónico: evsh1985@gmail.com

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medicgraphic.com/orthotips>

aquel en un discreto valgo, de alrededor de 5° de pronación, con una bóveda en ligero cavo pero elástica y un apoyo metatarsal regular. Sin embargo, cualquier pie puede ser apto para toda clase de deporte debido a su capacidad ilimitada de adaptarse. A continuación, se presentan los datos más relevantes para el entendimiento de estos complejos mecanismos.

Palabras clave: Biomecánica, lesión en el deportista, morfotipos de pie, diagnóstico, carrera.

slightly cavus but elastic dome and a regular metatarsal support. However, any foot can be suitable for any sport due to its capability to adapt. We present the most relevant data we found for the understanding of these complex mechanisms.

Key words: Biomechanics, injury in athletes, foot morphotypes, diagnostic, running.

INTRODUCCIÓN

El tobillo actúa como un puente de contacto entre el cuerpo y el pie, el cual a su vez, nos crea un vínculo dinámico con el suelo. Avances en técnicas de análisis biomecánico nos han llevado a una mejor comprensión de esta compleja estructura y su funcionamiento.

Durante la práctica deportiva, el pie está sometido a cargas biomecánicas transmitidas por sus estructuras que le dan funcionalidad, hay diferentes tipos de funciones: soporte, locomoción, percusión y ataque,¹ para llevar a cabo estas funciones biomecánicas, es necesario el funcionamiento de todas las estructuras que conforman la articulación. Cuando el atleta presenta dolor del tercio distal de la extremidad o sólo del pie sin antecedentes de trauma, hay que sospechar en anormalidades biomecánicas.²

BIOMECÁNICA DEL TOBILLO Y EL PIE EN MARCHA Y CARRERA

Durante el movimiento de supinación, se involucra el primer estabilizador de la articulación subastragalina (ligamento colateral lateral-CLL) y cuando se acentúa este movimiento, el interóseo calcáneo-astragalino en su porción lateral se ve involucrado, si este movimiento es completado por flexión plantar para lograr inversión, el segundo estabilizador (peroneo-astragalino anterior) se activa. Esta estabilización doble es esencial y ofrece una explicación clínica de la asociación o disociación de las articulaciones talocrural y subtalar.

Durante la flexión plantar, el astrágalo lleva a cabo rotación medial, y durante la flexión dorsal, se realiza una rotación lateral. El rango de movimiento rotacional es producido en su mayor parte entre la posición neutra a flexión dorsal, documentado por varios autores de 5 a 6°, 12 y 10°.⁴

Cuando la carga se adiciona al tobillo, reporta un movimiento rotacional del astrágalo sin flexión dorsal asociada: con rotación medial de la tibia, el astrágalo realiza un movimiento lateral. Actualmente, los autores consideran que el astrágalo realiza un movimiento de rodaje combinando la flexión dorsal con deslizamiento horizontal en la abducción y aducción.⁴

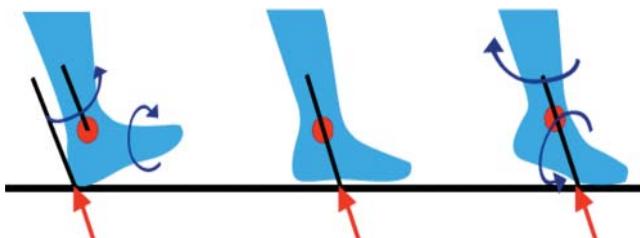


Figura 1.

Movimiento en relación de tibia/antepié.
(Modificación de Dr. A. Viladot).

La morfología oseoligamentaria no es lo único fundamental en la estabilidad rotatoria: el complejo tendinoso periarticular juega un importante papel en la anticipación funcional dependiente de la posición del pie. La importancia de estas estructuras estabilizadoras debe ser incluida cuando se habla de transposición tendinosa para el tratamiento de inestabilidad ligamentaria.^{6,7}

La pronación del pie se acompaña de una rotación interna de la tibia, y la supinación de una rotación externa (*Figura 1*). La interdependencia entre ambos segmentos explica muchas patologías en el deporte, como pueden ser los dolores femoropatelares en un pie hiperpronador y las tendinitis del tibial posterior en deportistas con una tibia vara.⁸

ANATOMÍA FUNCIONAL

El pie no es una estructura rígida sino un sistema dinámico que distribuye las cargas entre los diversos puntos del apoyo plantar, por lo que la descripción del cuadro *I* es un referente útil dentro de la exploración en consulta y no de manera dinámica.

La carrera es el gesto deportivo más importante, ya que forma parte del entrenamiento y práctica deportiva.^{9,12}

ANATOMÍA FUNCIONAL EN LOS DISTINTOS TIPOS DE CARRERA

Recordando que en la carrera no contamos con la fase de doble apoyo podal siendo sustituida por el vuelo, analizaremos la carrera en sus diferentes modalidades por tres etapas: choque, pie sobre plano (antepié, en el caso del velocista) y despegue.

En el corredor de fondo: El choque del talón con el suelo se efectúa en ligera supinación y el ángulo de la planta del pie con el suelo está ligeramente aumentado; después, se produce un movimiento de eversion que tiende a aplanar la bóveda plantar para posteriormente presentar una contracción de los flexores cortos y los tibiales, con una inversión del pie que tensa la bóveda y la prepara para el despegue, mismo que se realiza sólo con el apoyo de los metatarsianos y los dedos (*Figura 2*).^{1,12}

En el velocista: El pie choca con el suelo con el exterior del metatarso, conocido como «zarpazo», nunca entra con el talón;⁹ posteriormente, se produce una contracción muscular de los flexores largos y cortos que arquea más el pie,

Cuadro I. Anatomía funcional pie-tobillo.		
Movimiento	Músculos	Articulaciones involucradas-estabilizadores
Flexo-extensión tobillo	Dorsiflexión: tibial anterior, extensor propio del dedo gordo, extensor común de los dedos del pie. Flexores plantares: peroneos largo y corto, gemelos y sóleo, flexor largo del hallux, tibial posterior	Tibio-peroneo-astragalina ¹ Flexión plantar: peroneo-astragalino anterior ¹ (detiene la inversión) Dorsiflexión: peroneocalcáneo ¹
Flexo-extensión dedos	Flexor largo del dedo gordo, largo común de los dedos del pie. Extensor propio del hallux, extensor común de los dedos del pie	Metatarsofalángicas e interfalángicas ¹
Rotación interna-rotación externa	Se realiza un movimiento conjunto de la extremidad	Coxofemoral ¹
Aducción-abducción	Movimiento conjunto con pronación y supinación	Subastragalina y Chopart ¹
Pronación-supinación del tarso	Inversión: tibial anterior-posterior Eversión: peroneos	Subastragalina y Chopart ¹
Flexión-extensión del antepié	Flexores y extensores de los dedos	Subastragalina y Chopart ¹
Pronación-supinación de antepié	Tibial anterior-posterior. Peroneos	Lisfranc ¹

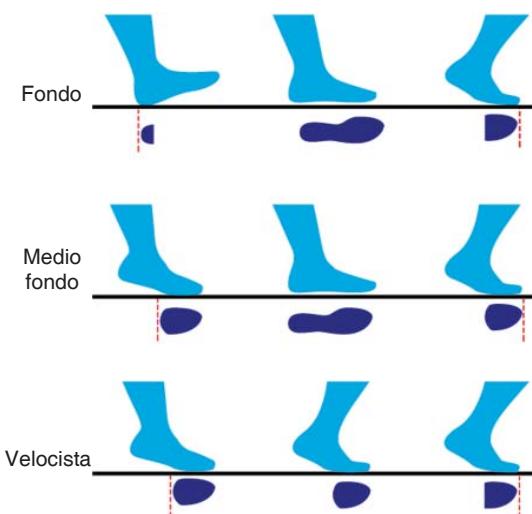


Figura 2. El pie en los distintos tipos de carrera.
(Modificación de Dr. A. Viladot/Dr. X. Martín)

aumenta el equinismo y la fuerza del despegue;¹ cuanto más rápida sea la carrera, el apoyo y contacto se realizan con los dedos (*Figura 2*).⁹

En el corredor del medio fondo: La fase de choque es con el antepié; presenta un choque instantáneo con el talón y de inmediato se produce el despegue con el apoyo único del antepié y la flexión de los dedos (*Figura 2*).¹

Morfotipos y lesiones

Idealmente en el deporte, el pie óptimo es aquel en un dis-

Cuadro II. Lesiones relacionadas con el morfotipo o alteración anatómica del pie.		
Morfotipo o alteración	Lesión o gesto deportivo afectado	Mecanismo
Pie plano pronado	Disminución en la fuerza de despegue en la carrera	Disminución de la actividad de los tibiales, menor inversión y menor capacidad de formación de bóveda plantar necesaria para el despegue ^{1,3}
Pie plano	Lesiones por eversión y sobrecarga de partes blandas	Debilidad del tibial posterior ^{1,3}
Pie plano	Síndrome del canal tarsiano	Estiramiento del nervio tibial posterior
Laxitud de ligamentos interóseos subastragalinos (pie plano)	Síndrome de estrés tibial, síndrome de dolor patelofemoral, tendinitis del tibial posterior	Contracción refleja de peroneos al realizar sobreesfuerzo debido al excesivo movimiento de la articulación subtalar por hiperpronación ⁴
Pie cavo	Disminución de la función amortiguadora en la carrera y salto	Disminución de la eversión necesaria para la amortiguación del pie en superficies irregulares ^{1,3}
Pie cavo	Síndrome de fricción de la banda iliotibial, tendinitis de los peroneos, fracturas por estrés, bursitis trocantérica y fascitis plantar. Lesiones por inversión y sobrecarga de las estructuras óseas	Disminución de la movilidad de la articulación subastragalina con disminución de la función amortiguadora del pie y sobrecarga lateral ⁵
Pie cavo talo varo	Lesiones por distensión del compartimento lateral Tendinitis de los peroneos	Carrera en supinación compensatoria
Fórmula metatarsal <i>index minus</i>	Fracturas por sobrecarga	Aumento de la carga de los metatarsos 2 al 4 ^{1,3}
<i>Hallux rigidus</i>	Incapacidad para el despegue en el salto y carrera	Pérdida del movimiento MTT-falángico del dedo gordo ¹
<i>Hallux valgus</i>	Dolor e incapacidad en la fase de choque en el velocista y medio fondo Incapacidad para el despegue en el salto y carrera	Fracturas por sobrecarga de los sesamoideos y necrosis aséptica de los mismos ^{1,3}
<i>Hallux valgus</i>	Dolor al realizar la fase de batida en el salto Síndrome de dolor patelofemoral	Limitación de la eversión, con disminución de la función amortiguadora del pie y sobrecarga lateral ^{1,5}
1º MTT elevado, débil	Fracturas por sobrecarga 5º MTT	Incremento de la carga plantar lateral ³
Eje tibial externo mayor a 20°	Lesiones de peroneos	Sobrecarga de los ligamentos externos por rotación interna compensatoria ^{1,3}

MTT = metatarso.

creto valgo, de alrededor de 5° de pronación, con una bóveda en ligero cavo, pero elástica, y un apoyo metatarsal regular; sin embargo, cualquier pie puede ser apto para toda clase de deporte debido a su capacidad ilimitada de adaptarse. Algunos morfotipos o alteraciones anatómicas del pie se han relacionado con patologías del miembro pélvico, así como disminución de la capacidad deportiva (*Cuadro II*).

Con lo mencionado previamente y entendiendo las alteraciones biomecánicas, podemos concluir que el tratamiento conservador con uso de plantillas en los pacientes con pie plano es aquel que disminuye la movilidad de la articulación subastragalina, mientras que en el pie cavo, sería aquel que amortigüe el impacto del pie.⁴ Hay que tener en cuenta que en aquellos pacientes deportistas con pie plano debemos ser precavidos, ya que pueden presentar lesiones en los tobillos al frenar súbitamente de lado.^{2,10}

También hay alteraciones secundarias al tipo de deporte y que son necesarias para el desempeño del mismo, como es el caso de los dedos en garra secundarios a la hipertonia de la musculatura flexora y extensora de los dedos, importante para el despegue en la carrera y salto o el pie cavo por hipertonia muscular.¹

COMENTARIOS FINALES

Es importante conocer las estructuras anatómicas implicadas en cada gesto deportivo de nuestro paciente, para así, con los hallazgos clínicos dentro del consultorio, poder establecer un diagnóstico preciso, pronóstico, y por lo tanto, el éxito en el tratamiento a realizar.

También es relevante conocer que la mayoría de las lesiones en el atleta (60%) son debidas a errores en el entrenamiento, sin importar el morfotipo del pie del atleta.⁵

BIBLIOGRAFÍA

1. Viladot A, Viladot R. 20 lecciones sobre patología del pie. Barcelona: Ed. Mayo; 2011.
2. William R. Bull's handbook of sport injuries. 2nd edition. New York: Ed. McGraw-Hill; 2004.
3. Fujitaka K, Taniguchi A, Isomoto S, Kumai T, Otuki S, Okubo M, et al. Pathogenesis of fifth metatarsal fractures in college soccer players. *Orthop J Sports Med.* 2015; 3 (9): 2325967115603654.
4. Kaya D, Atay OA, Callaghan MJ, Cil A, Cağlar O, Citaker S, et al. *Hallux valgus* in patients with patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009; 17 (11): 1364-1367.
5. McKenzie DC, Clement DB, Taunton JE. Running shoes, orthotics, and injuries. *Sports Med.* 1985; 2 (5): 334-347.
6. Hockenberry RT. Forefoot problems in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1999; 31 (7 Suppl): S448-S458.
7. Rodgers M. Dynamic biomechanics of the normal foot and ankle during walking and running. *Phys Ther.* 1988; 68 (12): 1822-1830.
8. Viladot A. Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. *Revista Española de Reumatología.* 2003; 30: 469-477.
9. Rius J. Metodología y técnicas del atletismo. Barcelona: Ed. Paidotribo; 2005.
10. Sous J, Navarro R. Bases biomecánicas del tobillo. *Canarias Médica y Quirúrgica.* 2011; 8 (24): 13-20.
11. Clark KP, Ryan LJ, Weyand PG. Foot speed, foot-strike and footwear: linking gait mechanics and running ground reaction forces. *J Exp Biol.* 2014; 217 (Pt 12): 2037-2040.
12. Nagahara R, Matsubayashi T, Matsuo A, Zushi K. Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biol Open.* 2014; 3: 689-699