

Estudio biomecánico cadavérico de lesiones ligamentarias puras de Lisfranc

Cadaveric biomechanical study on purely Lisfranc ligamentous injuries

Alcacer M, Gaytan M, Verger B, Iturria J, Navarro S, Calvo L, Ceirano A, Stur M, Bonifetto B, Geasi A

Descriptores:

Traumatismos de los pies;
Ligamentos articulares/lesiones;
Diagnóstico por imagen

Keywords:

Foot injuries; Ligaments, articular/
injuries; Diagnostic imaging

Multicentric Study: Cirugía de Pie Rosario/Museo de Ciencias Morfológicas de Rosario (UNR)/ Instituto Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE)/Servicio de Imágenes, Hospital Centenario, Rosario, Argentina.

Autor correspondiente:

Alcacer Miguel
Tel.: 5493415630058.
E-mail: malcacer@hotmail.com

Conflictos de interés:

no

Recibido en:

21/5/2018

Aceptado en:

20/7/2018

RESUMEN

Introducción: El propósito de este trabajo es poder describir el mecanismo de producción de las lesiones según la fuerza aplicada, con el uso de la RNM pre y postensayo, determinar la secuencia de ruptura ligamentaria, para poder establecer que estructuras se lesionan a medida que la fuerza axial va en aumento(simulando el mecanismo de acción) para conocer cuáles son más resistentes.

Métodos: Se estudiaron 8 piezas cadavéricas frescas sin antecedentes de traumas previos. Se realizó el estudio del complejo ligamentario de Lisfranc, incluyendo el ligamento dorsal, interóseo y plantar con sus dos haces (C1-M2/C1-M3). Se realizó Resonancia Magnética pre y postensayo en las piezas estudiadas. Las piezas fueron divididas en 4 grupos: 1. Control (2 pies); 2. Se aplicó una fuerza progresiva en Newtons en segunda cuña, simulando un mecanismo directo hasta producir ruptura arco transversal. (2 pies); 3. Se aplicó una fuerza axial progresiva desde tibia proximal simulando mecanismo de acción de baja energía, previa sección del ligamento dorsal e interóseo (2 pies). 4. Se aplicó una fuerza axial progresiva desde tibia proximal simulando mecanismo de acción de baja energía, previa sección del ligamento plantar (2 pies). **Resultados:** Encontramos una franca diferencia entre la resistencia ligamentaria a las fuerzas ejercidas entre el mecanismo directo e indirecto de lesión. Además, constatamos, postensayo una diferencia entre el grupo 3 y 4 a la misma carga, obteniendo como resultado una mayor resistencia a la fuerza en el ligamento de Lisfranc o interóseo comparado con el ligamento dorsal y plantar. **Conclusiones:** El estudio nos permitió discernir la resistencia relativa de cada ligamento a la fuerza ejercida, pudiendo demostrar mayor resistencia a las fuerzas ejercidas por parte del ligamento de Lisfranc en relación al dorsal y plantar. Logramos, además, demostrar la secuencia de ruptura y estudiar la importancia del diagnóstico precoz de estas lesiones a la resonancia magnética, y también demostrar la estabilidad que ejerce el ligamento plantar.

ABSTRACT

Introduction: The aim of this work is to describe mechanism of Lisfranc injuries according to the force applied; and with the use of pre and post-trial MRI, to determine the sequence of the ligament rupture so as to state which structures are injured as the axial force increases (simulating the action mechanism) and recognize which are the most resistant. **Methods:** Eight (8) fresh cadaveric pieces were studied. The study of Lisfranc ligamentous complex was performed with emphasis on the dorsal, interosseous and plantar ligaments. Pre and Post-trial MRI were performed. The pieces were divided into four groups: 1. Control group (2 feet); 2. A direct force was applied in the second cuneiform bone, simulating a direct mechanism until transverse arch was broken (2 feet); 3. An axial force was applied to the proximal tibia, simulating the mechanism in low energy injuries (midfoot sprain), previous dorsal and Lisfranc ligaments sectioned (2 feet); 4. An axial force was applied to the proximal tibia, simulating the mechanism of low energy, previous plantar ligament sectioned (2 feet). **Results:** We found a marked difference between the ligamentary resistance to the forces exerted between the direct and indirect mechanism of Lisfranc injuries. In addition, after the trial we confirmed a difference as for the same load between group 3 and 4, thus, obtaining a greater resistance to the force in the Lisfranc ligament, if compared to the dorsal and plantar ligaments. **Conclusions:** This study allowed us to distinguish the relative resistance of each ligamentary structure to the exerted force. A greater resistance to the exerted forces of the Lisfranc ligament could be demonstrated, compared to the plantar and dorsal ligaments. Besides, in the trials of indirect mechanism injuries, we could demonstrate the rupture sequence. We demonstrate the importance of the MRI to determine possible injuries clinically suspected, and the ligament plantar in stability of Lisfranc injuries.

INTRODUCCIÓN

Las lesiones ligamentarias de Lisfranc (midfoot sprain) representan un espectro amplio de injurias, que incluyen desde rupturas parciales sin diástasis radiográficas hasta rupturas completas con franco desplazamiento entre el primer y segundo metatarsiano. Son producidas por mecanismos de acción de baja energía, frecuentes.⁽¹⁻⁴⁾

La mayoría de los esguinces de mediopié son tratados en forma conservadora; creemos que es porque no se sospecha o no se conoce una potencial lesión ligamentaria pura.

Representan la segunda causa más frecuente de lesiones deportivas después de las metatarsofalángicas. El mecanismo de acción se produce por fuerzas axiales sobre el pie en posición de flexión plantar y/o rotación.⁽⁵⁻⁷⁾

El complejo ligamentario de Lisfranc esta conformado por 3 estructuras ligamentarias que le confieren la estabilidad primaria a la articulación de Lisfranc; 1-ligamentos dorsales 2-ligamentos interóseos (Lisfranc) y 3- los ligamentos plantares. Existen estabilizadores secundarios de la articulación de Lisfranc que sirven de contrafuertes dinámicos. Estas estructuras son: el tendón del tibial anterior, posterior, peroneo lateral largo y la fascia plantar.^(1,2,8) (Figura 1).

Las rupturas del ligamento de Lisfranc (interóseo) y los ligamentos plantares son la primera causa de inestabilidad transversal del medio pie.^(3,9,10)



Figura 1. Ligamento plantar

El propósito de este trabajo es poder describir el mecanismo de producción de las lesiones según la fuerza aplicada, con el uso de la RNM pre y postensayo, determinar la secuencia de ruptura ligamentaria, para poder establecer que estructuras se lesionan a medida que la fuerza axial va en aumento (simulando el mecanismo de acción) para conocer cuales son más resistentes.

Además la hipótesis de trabajo se basa en poder demostrar la importancia de cada ligamento, específicamente del ligamento plantar de Lisfranc como predictor de inestabilidad, para plantearse de esta manera el tratamiento de restauración anatómica (aloinjerto o autoinjerto) sin recurrir a la fijación con tornillo o la artrodesis.

MÉTODOS

Se estudiaron 8 piezas cadavéricas frescas sin antecedentes de traumas previos. Todas las piezas fueron amputadas a 8cm proximal a articulación del tobillo. Se realizó la disección anatómica de las piezas, siguiendo el protocolo del Departamento de Anatomía Aplicada en Ortopedia y Traumatología del Museo de Ciencias Morfológicas de la Facultad de Ciencias Médicas de Rosario. (UNR).

Se realizó el estudio del complejo ligamentario de Lisfranc, con énfasis en el ligamento dorsal, interóseo y plantar. (C1-M2-M3).

Se realizaron RNM pre ensayo en todas las piezas estudiadas, usando un Resonador General Electric 1,5 Tesla con microbobina dual colocada adecuadamente para visualizar la articulación de Lisfranc y las inserciones ligamentarias. Se realizaron cortes coronales DP (densidad protónica) sagitales DP, axiales DP (a 45, 60, 90 grados y estrictos), siguiendo protocolo previo creado por el servicio. Las imágenes fueron analizadas por el jefe de servicio, sin conocer el resultado de los ensayos.

Se estudiaron los ligamentos dorsales, interóseo (Lisfranc) y el ligamento plantar, (C1-M2-M3) siguiendo los siguientes parámetros: **A**/4- excelente visualización; 3- visible; 2- visible pero no en su curso entero; y 1- no visible. **B**/intensidad de señal en densidad de protón. **C**/números de fascículos de ligamento de Lisfranc.

De los 8 pies estudiados, se dividieron en 4 grupos: 1. Grupo control (2 pies), 2. Grupo (2pies) en que se aplicó la fuerza directa en C2, 3. Grupo con sección del ligamento dorsal y Lisfranc. (2 pies) y 4. Grupo con sección del ligamento plantar (2 pies).

Se colocaron las piezas, en diferentes cajones realizados con concavidad plantar para observar más detalladamente los cambios producidos en el ensayo, con 30 grados de angulación, de tal manera que el pie quede en 30 grados de flexión plantar (Figura 2).

Usando una máquina para ensayos (Shimadzu modelo AG 100 kng) se realizó en el Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE) compresión con fuerza vertical en 2 diferentes áreas:

1. Directamente en la articulación de Lisfranc con punto de máxima compresión en C2 simulando un mecanismo directo hasta producir ruptura arco transversal (Figura 3).
2. Se aplicó una fuerza axial simulando el mecanismo de producción en lesiones de baja energía (midfoot sprain) en deportistas, sobre la tibia proximal, realizando con una pequeña mecha un orificio en la esponjosa, colocando un clavo de



Figura 2. Ensayo de simulación

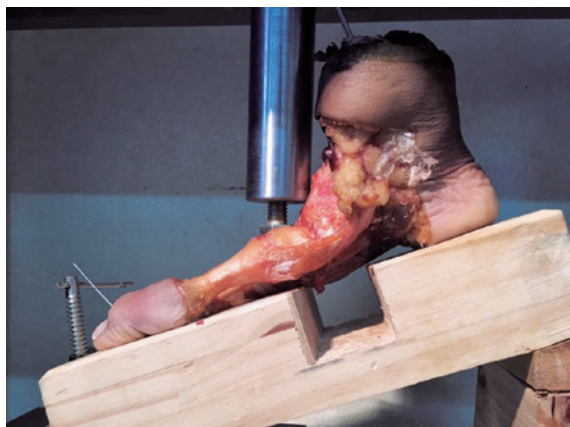


Figura 3. Fuerza axial simulando mecanismo directo

Steinman bloqueando la articulación tibiotalar, y posteriormente se realizó el cementado del canal; constituyendo de esta manera una fuerza axial directa, para transmitir al mediopié (Figura 4).



Figura 4. Fuerza axial simulando mecanismo de baja energía

Se aplicó una fuerza de 100 Newton como precarga inicial para luego aumentar gradualmente hasta 300, luego a 500 y posteriormente a 800, hasta llegar a la luxación o ruptura del arco transversal del mediopié. Se usó como método de control una computadora que registra fuerza por mm de desplazamiento.

Por último, se realizaron en todas las piezas RNM postensayo, con los mismos parámetros imagenológicos protocolizados, para constatar los cambios y compararlos.

Se evaluaron los siguientes parámetros a la RNM, del complejo ligamentario dorsal, interóseo y plantar: 1/ continuidad ligamentaria de ambos sitios de inserción; 2/integridad ligamentaria (atenuación, ruptura parcial o total) y 3/cambios en la señal de imágenes.

RESULTADOS

Se aplicaron fuerzas progresivas en cada grupo estudiado de la siguiente manera: En el grupo 2 (2 pies) se aplicó fuerza progresiva en Newtons, centrada en C2, comenzando con una precarga inicial de 100 Newtons y aumentándola hasta llegar a la ruptura del arco transversal del mediopié. La fuerza máxima aplicada fue de 1360 Newtons. De esta manera simulamos el mecanismo directo de lesión.

Posteriormente, en el grupo 3 (2 pies) en el que se realizó la sección del ligamento dorsal y Lisfranc, aplicamos una carga inicial de 100 Newtons, desde la tibia proximal cementada, en forma progresiva hasta llegar a los 2500 Newtons a una velocidad de aplicación de carga de 3mm/seg. Lo mismo realizamos, en el grupo 4 (2 pies), en el que seccionamos el ligamento plantar. De esta manera simulamos el mecanismo de lesión indirecto o de baja energía.

Los resultados fueron los siguientes: en el grupo 2, constatamos la ruptura ligamentaria de las tres estructuras a 1360 Newtons.

En el grupo 3, constatamos la ruptura total de ambos haces del ligamento de Lisfranc plantar (C1-M2 y C1-M3) a 2500 Newtons.

En el grupo 4, constatamos un aumento de la señal del Ligamento de Lisfranc compatible con una ruptura parcial central y una ruptura del ligamento dorsal total a 2500 Newtons.

Por tal motivo, encontramos una franca diferencia entre la resistencia ligamentaria a las fuerzas ejercidas entre el mecanismo directo e indirecto (1140 Newtons), probablemente debido al efecto de los contrafuertes dinámicos.

Además, constatamos pos ensayo, una diferencia entre el grupo 3 y 4 a la misma carga, obteniendo como resultado una mayor resistencia a la fuerza en el ligamento de Lisfranc o interóseo comparado con el ligamento dorsal y plantar.

DISCUSIÓN

Está demostrado que el ligamento de Lisfranc, el ligamento dorsal y el ligamento plantar pueden ser evaluados separadamente, tanto en piezas cadavéricas como a la imagen de la RNM.^(6,7,11,12) Esto permite la descripción anatómica de cada estructura ligamentaria. El ligamento de Lisfranc (interóseo) está compuesto por 1 (73%) o 2 fascículos (27%), que se visualiza como una banda uniforme e hipointensa.⁽¹¹⁾

El ligamento dorsal se visualiza como una banda uniforme e hipointensa.

El ligamento plantar se observa a RNM heterogéneo con una baja a moderada intensidad de señal. Sus 2 bandas hacen más dificultosa su visualización (C1-M2M3).⁽¹²⁾

Numerosos estudios concluyen que el ligamento de Lisfranc es el más fuerte y resistente comparándolo con el dorsal y el plantar. Estas definiciones están basadas

en el aspecto anatómico macroscópico^(2,11,13) con un superficie de área de 135mm² a diferencia del plantar con un área de 64 mm². Las dimensiones promedio del ligamento de Lisfranc es de 9mm de largo, 5mm de ancho y 6,9 de espesor.

No existen estudios que comparen la resistencia ligamentaria en forma biomecánica con controles RNM.

Nunley y Vertullo⁽⁷⁾, establecen una clasificación de lesiones ligamentarias de Lisfranc basándose en tres estadios según radiografías: estadio I: dolor en complejo ligamentario de Lisfranc con radiografías negativas sin desplazamiento pero con centellograma positivo. EstadioII: lesión con diastasis entre el primer y segundo metatarsiano de entre 1 a 5mm pero sin evidencia de pérdida del arco anterior transversal en radiografías laterales.

Estadio III: diastasis mayor de 5mm con pérdida del arco del mediopié en radiografías laterales, que se manifiesta como una disminución de la distancia entre el quinto metatarsiano y la caña medial.

Raikin⁽¹⁰⁾, realizó un estudio en 20 pacientes con RNM, concluyendo que este estudio es de suma importancia para evaluar el grado de lesión del ligamento de Lisfranc y demostró como predictor de inestabilidad, la ruptura del componente plantar del complejo ligamentario de Lisfranc, sirviendo de referencia para realizar la estabilización quirúrgica.

Kaar⁽⁹⁾, concluyó en su estudio que existen dos tipos de inestabilidades de Lisfranc, transversales y longitudinales, según el patrón radiográfico. Las inestabilidades transversales requieren la sección de el ligamento interóseo y el plantar, mientras que las longitudinales, la sección del interóseo y del ligamento interóseo entre C1 y C2.

En lesiones ligamentarias puras a diferencia de las luxos fracturas de Lisfranc, la reducción y fijación interna es una desventaja, por tal motivo se plantea la necesidad de una reconstrucción usando aloinjertos con el fin de restaurar la normal función. En pacientes deportistas sería la mejor opción. Por tal motivo, es sumamente importante conocer las propiedades anatómicas y biomecánicas de cada ligamento.⁽¹⁴⁾

CONCLUSIONES

El estudio nos permitió discernir la resistencia relativa de cada estructura ligamentaria a la fuerza ejercida.

Se pudo demostrar una mayor resistencia a las fuerzas ejercidas por parte del ligamento de Lisfranc en relación al ligamento plantar y dorsal.

Pudimos, además demostrar la secuencia de ruptura, en los ensayos por mecanismo indirecto; con una ruptura inicial del ligamento dorsal, seguida del ligamento plantar y como último elemento, el ligamento interóseo o Lisfranc propiamente dicho.

Pudimos estudiar la importancia del diagnóstico precoz de estas lesiones a la imagen de RNM, e incluir como tema de debate el concepto de inestabilidad ligamentaria pura de Lisfranc. De esta manera, convenceremos de la necesidad del uso de tratamientos quirúrgicos novedosos en lesiones de esta índole, como el uso de aloinjertos o autoinjertos reconstruyendo anatómicamente los ligamentos.

Además, logramos demostrar la importancia de la RNM para determinar posibles lesiones sospechosas clínicamente, y poder estudiar el complejo ligamentario de Lisfranc en sus componentes dorsal, interóseo y plantar, como estructuras separadas, especialmente el componente plantar que es una sumamente importante en la estabilidad.

Se demostró en este estudio, las diferencias en las simulaciones de Lisfranc por mecanismo directo e indirecto, pudiendo comprobar la absorción de fuerzas por los estabilizadores secundarios (contrafuertes) en las lesiones de baja energía (esguinces), precisando menor fuerza en mecanismo directos comparado con los indirectos.

Podemos concluir recalcando en este estudio, la relación de rupturas ligamentarias asociadas (Lisfranc y plantar) como causal de inestabilidad del arco transversal del mediopié y su necesidad de reparación quirúrgica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Coss HS, Manos RE, Buoncristiani A, Mills WJ. Abduction stress and AP weightbearing radiography of purely ligamentous injury in the tarsometatarsal joint. *Foot Ankle Int.* 1998;19(8):537-41.
2. de Palma L, Santucci A, Sabetta SP, Rapali S. Anatomy of the Lisfranc joint complex. *Foot Ankle Int.* 1997;18(6):356-64.
3. Faciszewski T, Burks RT, Manaster BJ. Subtle injuries of the Lisfranc joint. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72(10):1519-22.
4. Haapamaki VV, Kiuru MJ, Koskinen SK. Ankle and foot injuries: analysis of MDCT findings. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;183(3):615-22.
5. Kent RW, Lievers WB, Riley PO, Frimenko RE, Crandall JR. Etiology and Biomechanics of Tarsometatarsal Injuries in Professional Football Players: A Video Analysis. *Orthop J Sports Med.* 2014;2(3):2325967114525347.
6. Kitsukawa K, Hirano T, Niki H, Tachizawa N, Nakajima Y, Hirata K. MR Imaging Evaluation of the Lisfranc Ligament in Cadaveric Feet and Patients With Acute to Chronic Lisfranc Injury. *Foot Ankle Int.* 2015;36(12):1483-92.
7. Nunley JA, Vertullo CJ. Classification, investigation, and management of midfoot sprains: lisfranc injuries in the athlete. *Am J Sports Med.* 2002;30(6):871-8.
8. Castro M, Melão L, Canella C, Weber M, Negrão P, Trudell D, et al. Lisfranc joint ligamentous complex: MRI with anatomic correlation in cadavers. *AJR Am J Roentgenol.* 2010;195(6):W447-55.
9. Kaar S, Femino J, Morag Y. Lisfranc joint displacement following sequential ligament sectioning. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(10):2225-32.
10. Raikin SM, Elias I, Dheer S, Besser MP, Morrison WB, Zoga AC. Prediction of midfoot instability in the subtle Lisfranc injury. Comparison of magnetic resonance imaging with intraoperative findings. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(4):892-9.
11. Panchbhavi VK, Vallurupalli S, Yang J, Andersen CR. Screw fixation compared with suture-button fixation of isolated Lisfranc ligament injuries. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(5):1143-8.
12. Potter HG, Deland JT, Gusmer PB, Carson E, Warren RF. Magnetic resonance imaging of the Lisfranc ligament of the foot. *Foot Ankle Int.* 1998;19(7):438-46.
13. Sarafian S. *Anatomy of the foot and ankle: descriptive, topographic, functional.* 2nd ed. Philadelphia (PA): Lippincott; 1993.
14. Solan MC, Moorman CT 3rd, Miyamoto RG, Jasper LE, Belkoff SM. Ligamentous restraints of the second tarsometatarsal joint: a biomechanical evaluation. *Foot Ankle Int.* 2001;22(8):637-41.