



PREMIOS FUNDACIÓN SECOT

Estudio biomecánico en cadáver de reconstrucción con plastia de los ligamentos peroneoastragalio anterior y peroneocalcáneo

A. Abarquero-Diezhandino^{a,b,*}, M.Á. Mellado-Romero^c, M. Muñoz de la Espada-López^d,
R. Díaz-Suárez^a, E. García-Jarabo^e, A. Núñez-García^f, E.J. Sánchez-Morata^c,
M.T. Vázquez-Osorio^g, F. Guerra-Pinto^{h,i,j} y J. Vilá-Rico^{c,k,l}

^a Unidad de Pie y Tobillo, Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz, Madrid, España

^b Departamento de Anatomía, Histología y Neurociencia, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

^c Unidad de Pie y Tobillo, Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid, España

^d Hospital Universitario de Móstoles, Móstoles, España

^e Unidad de Pie y Tobillo, Hospital Universitario Rey Juan Carlos, Móstoles, España

^f Unidad de Pie y Tobillo, Hospital Universitario General de Villalba, España

^g Departamento de Anatomía y Embriología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España

^h Departamento de Ortopedia, Hospital de Sant'Ana, Parede, Portugal

ⁱ Departamento de Ortopedia, Hospital da Cruz Vermelha, Lisboa, Portugal

^j NOVA Medical School – Facultad de Ciencias Médicas, Nueva Uniersidad de Lisboa, Lisboa, Portugal

^k Cirugía Ortopédica y Traumatología, Complejo Hospitalario Ruber Juan Bravo, Madrid, España

^l Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España

Recibido el 23 de diciembre de 2024; aceptado el 10 de febrero de 2025

Disponible en Internet el 14 de febrero de 2025

PALABRAS CLAVE

Inestabilidad del
tobillo;
Biomecánica;
Ligamento
peroneocalcáneo;
Ligamento
peroneoastragalino
anterior;
Reconstrucción
ligamentosa

Resumen

Antecedentes y objetivos: El esguince de tobillo puede derivar en inestabilidad lateral crónica de tobillo (ILCT) en el 10-50% de los casos. Aunque clásicamente se considera que el ligamento peroneoastragalino anterior (LPAA) es el principal afectado, investigaciones recientes muestran una alta incidencia de lesiones combinadas del LPAA y el ligamento peroneocalcáneo (LPC). Dada la importancia del LPC, el objetivo es evaluar la eficacia biomecánica de la reconstrucción con plastia tendinosa doble del LPAA y LPC en casos de ILCT.

Material y métodos: Se trata de un estudio biomecánico en tobillos de cadáver que compara dos técnicas: la reconstrucción anatómica con plastia doble de ambos ligamentos (LPAA y LPC) frente a la reconstrucción anatómica aislada del LPAA con plastia única. Se evaluó la estabilidad mediante maniobras específicas de exploración (cajón anterior, varo forzado y maniobra de pivote) utilizando un artrómetro que mide el desplazamiento angular en los 3 planos del espacio (horizontal, coronal y sagital). Se analizaron 4 modelos: tobillo intacto, sección de LPAA y LPC, reconstrucción con plastia doble del LPAA y LPC y reconstrucción con plastia única del LPAA.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: ana.abarquero@gmail.com (A. Abarquero-Diezhandino).

<https://doi.org/10.1016/j.recot.2025.02.004>

1888-4415/© 2025 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Resultados: Los resultados mostraron que no había diferencias entre la plastia doble y el tobillo intacto. Al comparar la plastia doble con la plastia simple, encontramos diferencias estadísticamente significativas a favor de una mayor estabilidad angular en el plano coronal, con las maniobras de varo forzado y rotación externa.

Conclusiones: La reconstrucción con plastia doble del LPAA y LPC ofrece mayor estabilidad angular en comparación con la plastia aislada del LPAA, mostrando beneficios significativos en la estabilización lateral y rotacional del tobillo con sección del LPPA y LPC.

© 2025 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

KEYWORDS

Ankle instability;
Biomechanics;
Calcaneofibular
ligament;
Anterior talofibular
ligament;
Ligament
reconstruction

Biomechanical study on cadaveric reconstruction with graft of the anterior talofibular and calcaneofibular ligaments

Abstract

Background and aim: Ankle sprains can lead to chronic lateral ankle instability (CLAI) in 10-50% of cases. While the anterior talofibular ligament (ATFL) is traditionally considered the primary structure affected, recent studies indicate a high incidence of combined injuries to the ATFL and the calcaneofibular ligament (CFL). Given the importance of the CFL, this study aims to evaluate the biomechanical efficacy of double tendon graft reconstruction of the ATFL and CFL in cases of CLAI.

Materials and methods: This biomechanical study on cadaveric ankles compares two techniques: anatomical reconstruction using a double graft for both the ATFL and CFL versus isolated anatomical reconstruction of the ATFL with a single graft. Stability was assessed using specific examination maneuvers (anterior drawer, forced varus, and pivot shift) with an arthrometer measuring angular displacement across three spatial planes (horizontal, coronal, and sagittal). Four models were analyzed: intact ankle, sectioning of the ATFL and CFL, double graft reconstruction of the ATFL and CFL, and single graft reconstruction of the ATFL.

Results: The results showed no significant differences between the double graft reconstruction and the intact ankle. Comparing the double graft with the single graft reconstruction revealed statistically significant differences, favoring the double graft for greater angular stability in the coronal plane during forced varus and external rotation maneuvers.

Conclusions: Double graft reconstruction of the ATFL and CFL provides greater angular stability compared to isolated ATFL reconstruction, demonstrating significant benefits in lateral and rotational stabilization of the ankle in CLAI cases.

© 2025 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

El esguince de tobillo puede dar lugar a un cuadro de inestabilidad lateral crónica de tobillo (ILCT) en el 10-50% de los casos¹. Tradicionalmente se ha asumido que la mayoría de las lesiones afectan de forma aislada al ligamento peroneoastragalino anterior (LPAA), siendo menos frecuente la combinación de lesión de LPAA y ligamento peroneocalcáneo (LPC)²; sin embargo, estudios más recientes encuentran lesiones combinadas de LPAA y LPC en el 64% de pacientes con clínica de ILCT³.

El LPC parece jugar un papel fundamental en la estabilización en varo, no solo de la articulación talocrural, sino también de la articulación subtalar⁴. La lesión del LPC puede provocar un aumento del rango de movimiento en inversión y eversión, lo que puede alterar la mecánica normal de carga de la articulación subtalar^{5,6}.

Actualmente, el patrón oro del tratamiento quirúrgico de la ILCT sigue siendo la técnica de la reparación anatómica descrita por Bröström y modificada posteriormente

por Gould que se basa en la reparación del LPAA con el remanente tisular local y aumentación con el retináculo extensor^{7,8}.

El origen común de LPAA y LPC ha llevado a algunos autores a defender la reparación aislada del LPAA como único tratamiento de la ILCT^{9,10}; sin embargo, ésta podría no ser suficiente en pacientes con pobre remanente tisular, hiperlaxitud ligamentosa o alta demanda funcional, donde las técnicas de reconstrucción con plastia son más recomendables^{11,12}.

En la bibliografía encontramos evidencias sobre el papel que desempeña el LPC en la estabilidad de las articulaciones tibioastragalina y subastragalina, sin embargo, no se han evidenciado estudios de calidad que respalden la eficacia biomecánica de la reparación combinada del LPAA y LPC en la ILCT. El objetivo del trabajo es analizar si la reconstrucción anatómica con plastia tendinosa de LPAA y LPC es superior a la reconstrucción aislada del LPAA tras la sección de ambos ligamentos en un modelo cadavérico a tiempo cero.

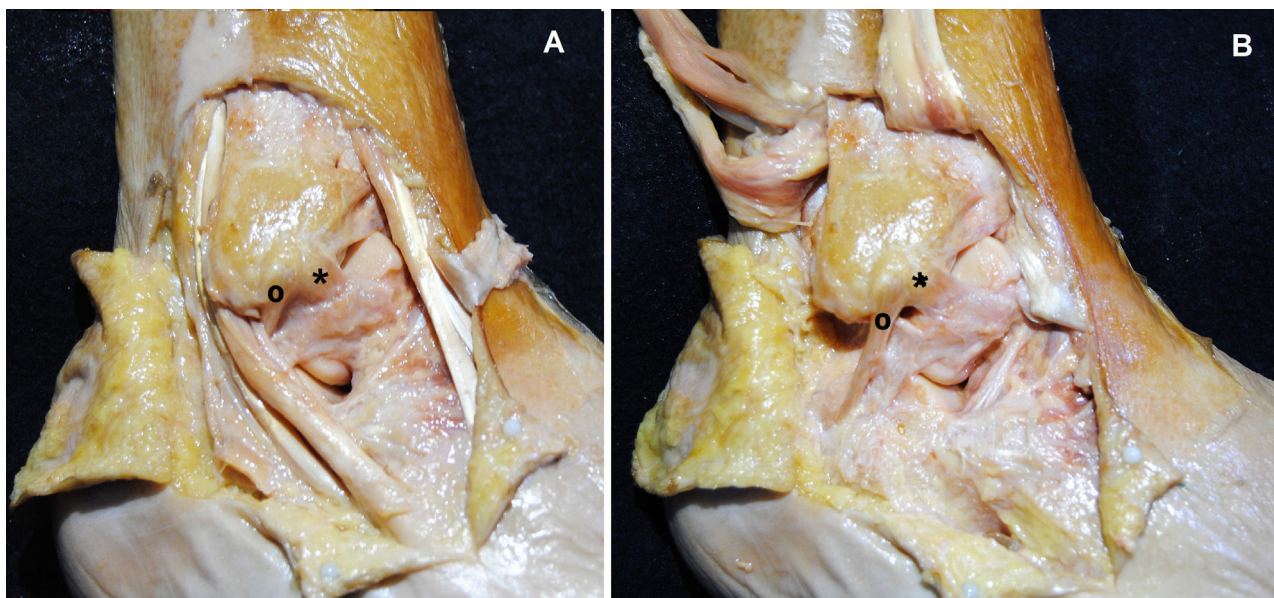


Figura 1 Detalle anatómico del complejo ligamentoso lateral del tobillo. El LPAA está señalado con * y el LPC está señalado como °. A. Tendones peroneos normoposicionados. B. Los tendones peroneos se han eliminado; nótese como el LPC discurre en una posición mas vertical e interviene en la estabilidad de la articulación tibioastragalina y subastragalina.

Material y métodos

Se trata de un estudio experimental, comparativo y transversal donde las unidades de estudio son piezas anatómicas de tobillos de cadáveres congelados. Se explora la estabilidad angular de la articulación tibiotalar al realizar maniobras de cajón anterior, varo forzado y maniobra de pivote tras la reconstrucción del complejo ligamentoso lateral del tobillo utilizando dos técnicas quirúrgicas diferentes. El estudio se realiza en 4 fases consecutivas atendiendo a los 4 modelos objetos de estudio: LPAA y LPC íntegros (fig. 1), sección combinada del LPAA y LPC, tras reconstrucción con plastia doble LPAA y LPC y reconstrucción anatómica con plastia única de LPAA.

Para estimar el tamaño muestral, hemos empleado la fórmula aplicable a poblaciones infinitas: $n = (Z_{\alpha/2} PQ) / e^2$. Se toma un nivel de confianza del 95% y un error de estimación máximo aceptado (e) de 0,2; de esta manera, obtenemos como resultado una muestra estimada de 24 piezas anatómicas de tobillo.

Para la selección de la muestra se excluyeron aquellos tobillos con antecedentes de cirugías previas locales, rigidez articular, deformidad anatómica significativa y antecedentes de cáncer metastásico o enfermedad reumática. En total trabajamos con 24 tobillos (12 izquierdos y 12 derechos); 11 pertenecientes a mujeres y 13 a hombres. La mediana de la edad de los donantes al momento de fallecer era de 73 (48-95) años. Todos ellos mantenían una longitud de tibia de al menos 15 cm desde la articulación tibioastragalina. Las piezas anatómicas fueron obtenidas de acuerdo al programa del Centro de Donación de Cuerpos de la Universidad Complutense de Madrid.

Se compararon dos técnicas: reconstrucción anatómica con plastia doble de LPAA y LPC (fig. 2) y reconstrucción anatómica con plastia única de LPAA (fig. 3), en ambos casos se ha utilizado un injerto autólogo de *Extensor hallucis longus*

(EHL). Dichas técnicas se han realizado de forma secuencial en cada uno de los especímenes siguiendo los pasos que se describen a continuación. Tras la sección de LPAA y LPC en su origen fibular se procede a la reconstrucción de ambos con una plastia doble utilizando injerto autólogo del tendón EHL, que fue extraído con una longitud mínima de 150 mm. El extremo de la plastia fue preparado con una sutura de alta resistencia Fiberloop #0 (Arthrex, Naples, FL, EE.UU.), y el extremo opuesto con una sutura reabsorbible 2/0. Tras identificar las huellas de origen LPAA y LPC en peroné, se realizó un túnel óseo de 6 × 15 mm en dirección anteroposterior y con una inclinación de 45° y posteriormente un hemitúnel ciego en el cuello del astrágalo sobre la huella de inserción del LPAA (25 × 5 mm). La huella de inserción del LPC en el calcáneo se identificó tomando como referencia el tubérculo de los peroneos; a través de una pequeña incisión cutánea posterior al mismo se preparó un túnel ciego de 5,5 × 25 mm. Para la sujeción de la plastia en el peroné se utilizó un sistema de tendosuspensión cortical Tightrope (Arthrex, Naples, FL, EE.UU.); el extremo distal anterior de la plastia se fijó en la huella del astrágalo con un implante SwiveLock 4,75 mm (Arthrex, Naples, FL, EE.UU.) manteniendo el tobillo en eversión y dorsiflexión neutra. Por último, el segundo extremo, más posterior, se pasó en profundidad a los tendones peroneos para fajarse en el calcáneo con implante SwiveLock 5,5 mm (Arthrex, Naples, FL, EE.UU.) manteniendo el tobillo en ligera flexión dorsal y eversión. Se completó el procedimiento tensionando el sistema de tendosuspensión en la cortical posterior del peroné. Para estudiar el modelo anatómico con plastia única del LPAA, partimos de la reconstrucción previa y fijamos la plastia en el túnel fibular con un tornillo de biotenodesis 0,5 mm mayor del diámetro del túnel fibular; de esta manera conseguimos una fijación estable tanto del extremo fibular como del extremo talar. Finalmente, para obtener el modelo deseado, se seccionó el fascículo peroneocalcáneo



Figura 2 Detalle de la plastia doble LPC y LPAA. El túnel común en el peroné se realiza sobre la huella anatómica de inserción común de ambos ligamentos.

de la plastia, simulando así la incompetencia del LPC con una reconstrucción ligamentosa aislada de LPAA.

La estabilidad angular de la articulación talocrural fue medida utilizando un artrómetro diseñado específicamente para registrar desplazamientos angulares en los 3 planos del espacio (horizontal, coronal y sagital). El dispositivo combina un giroscopio y un acelerómetro triaxial conectados a un microcontrolador Arduino Mega 2560 con el sensor Mpu6050, que registra y procesa el desplazamiento angular en tiempo real y en los 3 planos mediante un algoritmo de fusión y *software* especializado^{13–15}. La pieza anatómica se fija con una mordaza anclada en la tibia distal y el sensor queda unido al astrágalo mediante 2 agujas de Kirchner posicionadas en el cuello del mismo, siguiendo su eje longitudinal.

Las piezas anatómicas de tobillo fueron preparadas siguiendo un protocolo de disección uniforme, y todas las maniobras de exploración fueron realizadas por un único examinador para asegurar la consistencia en la toma de datos. La evaluación de cada pieza se dividió en 4 fases: LPAA y LPC intactos, sección completa de ambos ligamentos, reconstrucción de LPAA y LPC, y reconstrucción de LPAA con

sección de LPC según las técnicas descritas. Las maniobras empleadas para evaluar la estabilidad articular incluyeron: el cajón anterior (CA), que mide la traslación anterior del astrágalo con respecto a la tibia y evalúa principalmente la resistencia ejercida por el LPAA⁷; el test de estrés en varo (VF), que evalúa la estabilidad lateral aplicando una fuerza en varo, lo que permite observar la resistencia lateral ofrecida por el LPC¹⁶; y la maniobra de pivote (MP), que mide la rotación interna del astrágalo sin traslación anterior, con el examinador aplicando una fuerza de rotación en el calcáneo y la tibia fija en su posición¹⁷. Todas ellas fueron realizadas por el mismo examinador, simulando las condiciones habituales de una consulta médica. Para registrar los datos, se empleó un artrómetro angular previamente descrito. Cada medición se realizó después de calibrar el sensor en los 3 planos, estableciendo referencias en el eje horizontal de la mesa y en la posición neutra de la mordaza de soporte. Las rotaciones y desplazamientos se definieron de la siguiente manera: en el plano axial, la rotación externa se asignó a valores positivos y la rotación interna a valores negativos; en el plano coronal, la inversión se registró como positiva y la eversion como negativa; y en el plano sagital, la flexión

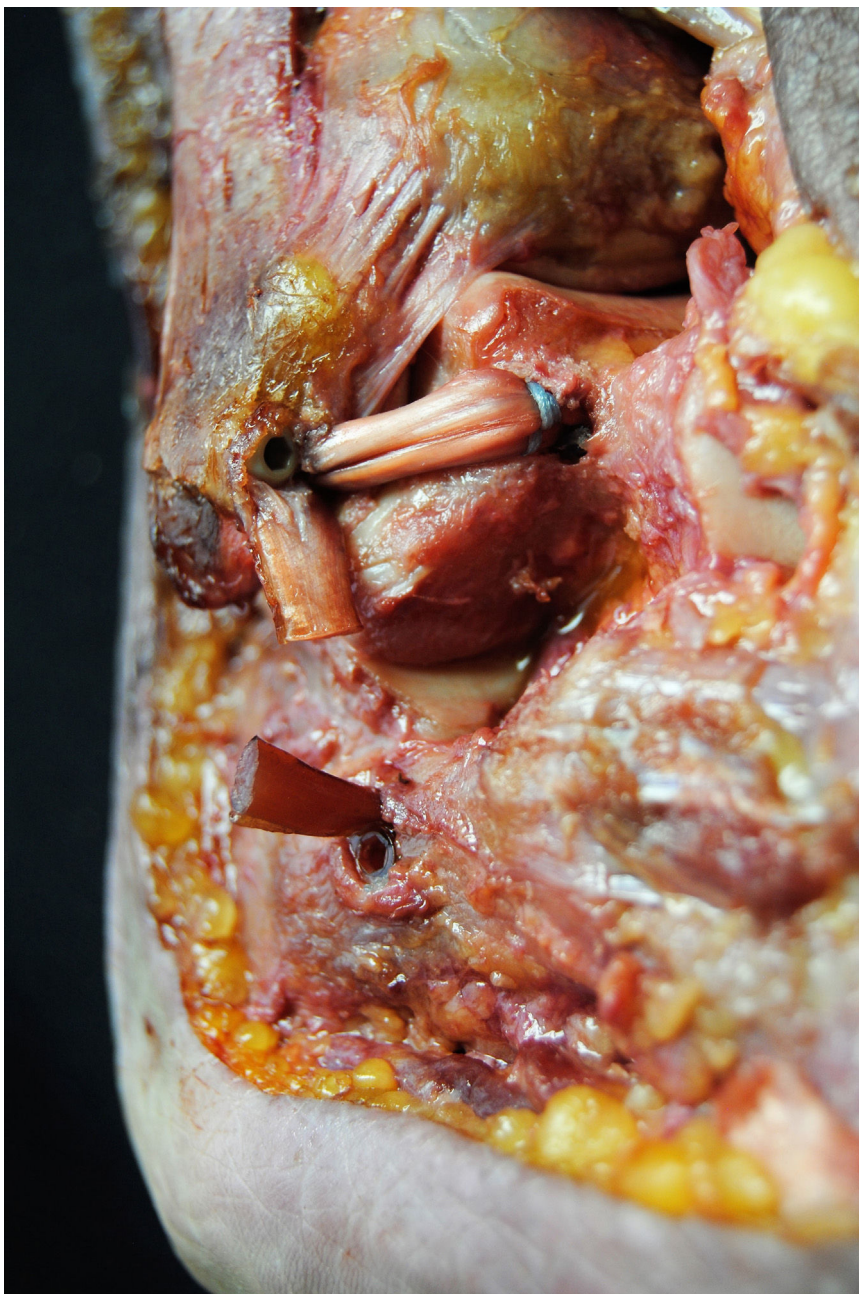


Figura 3 Detalle de la plastia única de LPAA. Se aprecia la sección del fascículo que reconstruye el LPC. La estabilidad de la plastia en el túnel fibular se mantiene gracias a un tornillo de biotenodesis.

plantar se registró como positiva y la flexión dorsal como negativa. Cada variable se registró inicialmente en reposo y luego al someter la pieza anatómica a las 3 maniobras de exploración (CA, VF y MP) con el sensor ubicado en el astrágalo, evaluando la estabilidad angular de la articulación tibioastragalina. El signo del desplazamiento indicaba la dirección del movimiento articular, y el valor de estabilidad angular se calculó como la diferencia entre el desplazamiento final tras la maniobra y la posición de reposo. Para garantizar la precisión, se tomaron 3 mediciones consecutivas de cada variable en la misma maniobra realizadas por el mismo examinador, y se utilizó la media aritmética de estos 3 valores para el análisis estadístico.

Los datos fueron procesados con el *software R* versión 4.4.1 (R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria). Dado que la n no es muy grande, y que las variaciones no siguen exactamente una distribución normal, se han aplicado las pruebas estadísticas de t de Student y Wilcoxon para comparar las variables angulares en los distintos modelos. Los resultados de la t de Student se consideran fiables si coinciden con los de la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Se asumió un valor de $p < 0,05$ como estadísticamente significativo. El análisis incluyó el índice de correlación intraclase (ICC) que evalúa la variabilidad intra-observador.

Tabla 1 Estadística descriptiva del desplazamiento angular del sensor, medido en grados, localizado en el astrágalo

	Íntegro	Seccionado	Plastia doble	Plastia simple
Cajón anterior				
Horizontal	3,96 ± 3,59	3,58 ± 3,08	2,84 ± 2,53	3,30 ± 3,00
Coronal	9,35 ± 10,1	11,2 ± 12,3	9,32 ± 13,6	9,5 ± 11,0
Sagital	12,8 ± 5,05	13,5 ± 6,27	10,3 ± 7,79	10,4 ± 4,91
Varo forzado				
Horizontal	4,57 ± 4,00	3,41 ± 2,89	1,94 ± 1,68	2,23 ± 2,41
Coronal	11,0 ± 11,6	16,4 ± 12,4	9,9 ± 12,9	14,8 ± 17,2
Sagital	4,91 ± 3,56	5,52 ± 4,20	6,27 ± 9,50	3,98 ± 3,17
Pivote				
Horizontal	7,54 ± 5,55	12,6 ± 6,90	6,23 ± 4,91	7,46 ± 5,32
Coronal	11,7 ± 13,4	11,0 ± 10,0	9,02 ± 13,0	10,0 ± 9,8
Sagital	11,5 ± 6,63	13,5 ± 8,53	7,94 ± 7,25	9,18 ± 5,56

Se presentan los datos indicando la media y desviación estandar. Los datos se agrupan siguiendo el desplazamiento angular en los 3 planos del espacio (horizontal, coronal y sagital) para cada una de las maniobras de exploración (cajón anterior, varo forzado y maniobra de pivote o rotación interna) y en los 4 modelos anatómicos descritos (complejo ligamentoso lateral intacto, sección de LPAA y LPC, plastia doble LPAA y LPC y plastia LPAA).

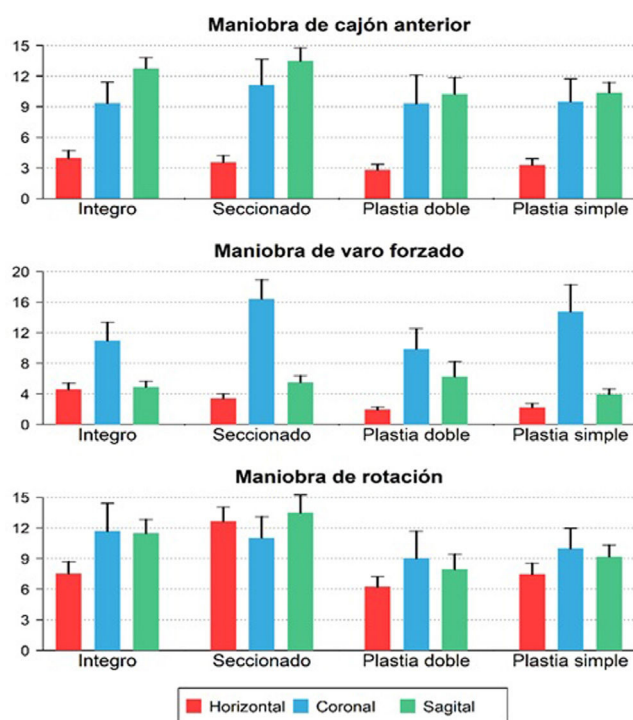


Figura 4 Descripción gráfica de los valores del desplazamiento angular tibioastragalino en cada uno de los modelos anatómicos en los 3 planos del espacio, tras la realización de las maniobras de exploración (maniobra de cajón anterior, varo forzado y maniobra de rotación o pivote).

Resultados

En la [tabla 1](#) se muestra el desplazamiento angular del astrágalo indicando la media y desviación estándar (DE) con cada maniobra de exploración realizada (CA, VF, MP) para cada uno de los modelos anatómicos descritos: tobillo intacto, sección LPAA y LPC, plastia doble LPAA y LPC, y plastia simple LPAA ([fig. 4](#)).

En la [tabla 2](#) se muestran los resultados de comparar los modelos con los ligamentos LPAA y LPC intactos, frente a la sección de los mismos.

En el análisis comparativo de LPAA y LPC íntegros frente a la plastia doble LPAA y LPC ([tabla 3](#)), no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos modelos salvo un menor desplazamiento con la plastia doble en el plano horizontal durante la maniobra de varo forzado, y en el plano sagital durante la maniobra de pivote ([fig. 5](#)).

En el análisis comparativo del LPAA y LPC íntegros frente a la plastia simple LPAA ([fig. 5](#)), se evidencian diferencias estadísticamente significativas en el desplazamiento angular del astrágalo en los planos coronal, durante la maniobra de varo forzado, a favor de un mayor desplazamiento en el modelo con la plastia simple de LPAA ([tabla 4](#)).

En la comparación entre el modelo con plastia doble LPAA y LPC frente a la plastia simple LPAA ([fig. 6](#)) hay diferencias estadísticamente significativas en el desplazamiento angular del astrágalo, en el plano coronal durante la maniobra de varo forzado ([tabla 5](#)).

Por último, valoramos el grado de concordancia que existe entre las 3 mediciones realizadas de cada maniobra de exploración, en cada modelo anatómico utilizando el coeficiente de correlación intraclase (CCI). En todas las maniobras realizadas, el CCI alcanza valores iguales o muy cercanos a 1, lo que quiere decir que la concordancia entre las mediciones es perfecta o prácticamente perfecta.

Discusión

Los esguinces de tobillo son lesiones muy frecuentes, afectando en los casos más graves a ambos ligamentos LPAA y LPC; sin embargo, no existe consenso en cuanto a la necesidad de reparar o reconstruir el LPC junto con el LPAA. El presente trabajo estudia la estabilidad biomecánica que ofrece la reconstrucción ligamentosa lateral de tobillo con plastia doble (LPAA y LPC) frente a la reconstrucción en solitario del LPAA. Los resultados de este estudio nos orientan a considerar la reconstrucción anatómica con plastia

Tabla 2 Comparación entre el desplazamiento angular del astrágalo (articulación tibioastragalina) con LPAA y LPC íntegros, frente a la sección de los mismos, tras la aplicación de las maniobras de exploración de estabilidad (maniobra de cajón anterior [CA], varo forzado [VF] y maniobra de rotación o pivote [MP]), en los 3 planos del espacio (horizontal [H], coronal [C] y sagital [S])

Maniobra	Plano	Media (IC95%)	Mediana (IC95%)	p ^a	p ^b
CA	H	0,38 (−1,17, 1,93)	0,07 (−1,50, 1,90)	0,618	0,964
	C	−1,80 (−4,94, 1,33)	−1,60 (−3,75, 0,75)	0,245	0,200
	S	−0,71 (−3,35, 1,93)	−1,25 (−3,30, 2,05)	0,583	0,543
VF	H	1,16 (−0,68, 3,00)	1,10 (−0,80, 3,00)	0,204	0,280
	C	−5,40 (−9,44, −1,36)	−4,92 (−8,55, −2,60)	0,011	0,003
	S	−0,61 (−2,22, 1,00)	−0,28 (−2,35, 1,15)	0,442	0,616
MP	H	−5,10 (−7,54, −2,65)	−4,68 (−7,60, −2,40)	< 0,001	< 0,001
	C	0,63 (−2,88, 4,14)	1,03 (−1,75, 3,75)	0,713	0,345
	S	−2,03 (−4,14, 0,09)	−2,01 (−4,45, 0,30)	0,059	0,083

^a p prueba de t de Student para muestras relacionadas.^b p prueba de rangos con signo de Wilcoxon.**Tabla 3** Comparación entre el desplazamiento angular del astrágalo (articulación tibioastragalina) con LPAA y LPC íntegros, frente a plastia doble LPAA y LPC, tras la aplicación de las maniobras de exploración de estabilidad (maniobra de cajón anterior [CA], varo forzado [VF] y maniobra de rotación o pivote [MP]), en los 3 planos del espacio (horizontal, coronal y sagital)

Maniobra	Plano	Media (IC95%)	Mediana (IC95%)	p ^a	p ^b
LPAA y LPC íntegros vs. plastia doble LPAA y LPC					
CA	Horizontal	1,12 (−0,32, 2,55)	0,95 (−0,55, 2,65)	0,120	0,191
	Coronal	0,03 (−3,90, 3,95)	0,55 (−1,95, 3,65)	0,989	0,622
	Sagital	2,51 (−0,87, 5,90)	3,22 (0,30, 5,80)	0,138	0,038
VF	Horizontal	2,63 (1,02, 4,24)	2,60 (0,95, 4,20)	0,003	0,003
	Coronal	1,09 (−1,87, 4,05)	0,36 (−2,00, 3,85)	0,453	0,715
	Sagital	−1,36 (−4,77, 2,06)	0,20 (−1,75, 1,85)	0,419	0,855
MP	Horizontal	1,31 (−0,78, 3,40)	1,15 (−1,00, 3,45)	0,206	0,370
	Coronal	2,65 (−2,06, 7,36)	3,55 (0,30, 6,20)	0,255	0,038
	Sagital	3,54 (1,23, 5,85)	3,33 (1,20, 5,55)	0,004	0,001
LPAA y LPC seccionados vs. plastia doble LPAA y LPC					
CA	Horizontal	0,74 (−0,81, 2,29)	0,74 (−0,85, 2,40)	0,334	0,301
	Coronal	1,83 (−3,20, 6,86)	2,47 (−0,60, 6,00)	0,458	0,126
	Sagital	3,22 (0,24, 6,21)	4,33 (−0,10, 6,25)	0,036	0,061
VF	Horizontal	1,47 (0,16, 2,77)	1,40 (0,05, 2,80)	0,029	0,037
	Coronal	6,49 (1,85, 11,1)	6,20 (3,25, 9,7)	0,008	0,001
	Sagital	−0,75 (−4,10, 2,61)	0,40 (−1,45, 1,95)	0,648	0,670
MP	Horizontal	6,41 (3,98, 8,84)	6,33 (4,10, 8,70)	< 0,001	< 0,001
	Coronal	2,02 (−3,35, 7,39)	2,48 (−0,05, 6,50)	0,443	0,052
	Sagital	5,57 (2,92, 8,21)	5,40 (2,50, 8,40)	< 0,001	< 0,001

En la parte inferior de la tabla se muestra comparación de LPAA y LPC seccionados, frente a plastia doble de ambos.

^a p prueba de t de Student para muestras relacionadas.^b p prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

doble (LPAA y LPC) como una técnica quirúrgica superior a la reconstrucción aislada de LPAA en el manejo de la ILCT, cuando se ven involucrados ambos ligamentos.

Las técnicas de reconstrucción adquieren especial relevancia en aquellos pacientes en quienes no es posible una reparación directa de uno u ambos ligamentos (fracaso de reparación previa, ausencia de remanente tisular de calidad, hiperlaxitud ligamentosa, alta demanda funcional deportiva u obesidad)¹⁸ y es en estos pacientes en los cuales parece que la reconstrucción de ambos ligamentos puede aportar unos mejores resultados funcionales¹⁹. Estudios previos que analizan la estabilidad angular tibiotalar

proporcionada por la reconstrucción del LPAA ya nos indican que ésta ofrece resistencia y rigidez similares al ligamento intacto²⁰, sin embargo, no hay estudios que validen desde un punto de vista biomecánico la reconstrucción con plastia doble de LPAA y LPC. En nuestro estudio, la comparación de la reconstrucción aislada del LPAA frente al modelo de reconstrucción del LPAA y LPC, la doble plastia demostró una estabilidad angular significativamente mayor, especialmente en el plano coronal durante la maniobra de varo forzado. Por otro lado, la plastia simple de LPAA, aunque ofrece cierta mejora en la estabilidad respecto a un tobillo con los ligamentos seccionados, muestra limitaciones

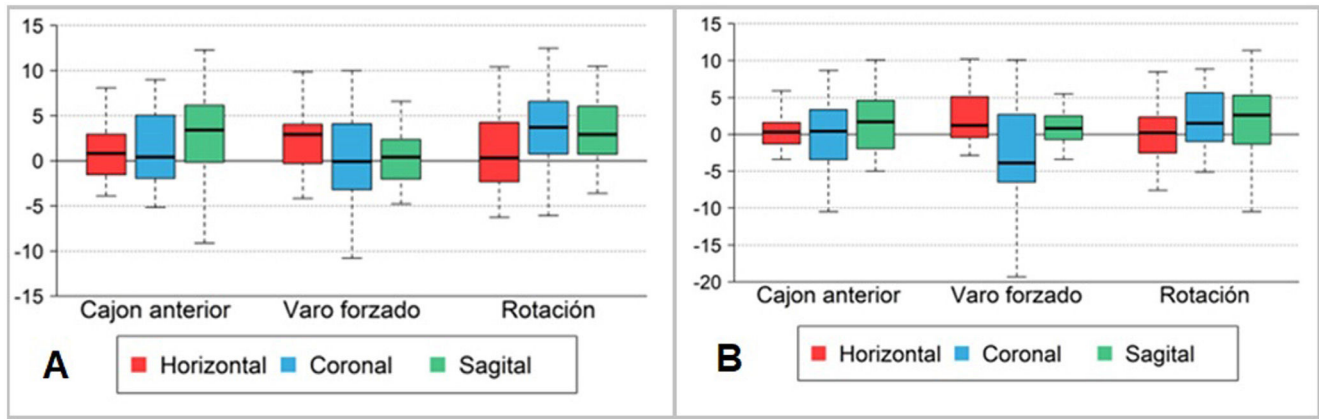


Figura 5 Descripción gráfica en forma de diagrama de cajas de la comparación entre el desplazamiento angular del astrágalo (articulación tibioastragalina) con LPAA y LPC íntegros, frente a la reconstrucción con plastia tras la aplicación de las maniobras de exploración de estabilidad (maniobra de cajón anterior, varo forzado y maniobra de rotación o pivote), en los 3 planos del espacio (horizontal, coronal y sagital). A. Plastia doble LPAA y LPC. B. Plastia simple LPAA.

Tabla 4 Comparación entre el desplazamiento angular del astrágalo (articulación tibioastragalina) con LPAA y LPC íntegros, frente a plastia simple LPAA, tras la aplicación de las maniobras de exploración de estabilidad (maniobra de cajón anterior [CA], varo forzado [VF] y maniobra de rotación o pivote [MP]), en los tres planos del espacio (horizontal, coronal y sagital)

Maniobra	Plano	Media (IC95%)	Mediana (IC95%)	p ^a	p ^b
LPAA y LPC íntegros vs. plastia simple LPAA					
CA	Horizontal	0,66 (−0,92, 2,23)	0,30 (−0,90, 2,15)	0,397	0,738
	Coronal	−0,15 (−3,61, 3,30)	0,15 (−2,35, 2,55)	0,928	0,879
	Sagital	2,40 (−0,03, 4,83)	1,86 (−0,20, 4,45)	0,053	0,086
VF	Horizontal	2,33 (0,71, 3,96)	2,17 (0,20, 4,10)	0,007	0,023
	Coronal	−3,77 (−7,52, −0,01)	−3,27 (−7,15, 0,25)	0,049	0,061
	Sagital	0,93 (−0,50, 2,36)	0,78 (−0,40, 2,10)	0,191	0,166
MP	Horizontal	0,08 (−1,70, 1,87)	0,10 (−1,85, 1,80)	0,924	0,891
	Coronal	1,70 (−2,26, 5,65)	1,82 (−0,20, 3,95)	0,384	0,075
	Sagital	2,30 (0,16, 4,43)	2,45 (0,35, 4,45)	0,036	0,021
LPAA y LPC seccionados vs. plastia simple LPAA					
CA	Horizontal	0,28 (−1,21, 1,77)	0,55 (−0,95, 1,55)	0,703	0,345
	Coronal	1,65 (−2,68, 5,98)	2,30 (−0,25, 5,45)	0,437	0,092
	Sagital	3,11 (0,43, 5,79)	3,56 (0,40, 6,20)	0,025	0,019
MP	Horizontal	1,17 (−0,04, 2,39)	1,10 (−0,00, 2,15)	0,057	0,061
	Coronal	1,63 (−3,80, 7,07)	2,60 (−1,00, 5,15)	0,539	0,126
	Sagital	1,54 (0,01, 3,07)	1,25 (0,10, 2,50)	0,049	0,045
MP	Horizontal	5,18 (2,72, 7,63)	4,80 (2,80, 7,05)	< 0,001	< 0,001
	Coronal	1,07 (−2,77, 4,90)	1,07 (−0,65, 3,40)	0,570	0,223
	Sagital	4,32 (1,66, 6,98)	4,40 (1,55, 6,85)	0,003	0,004

En la parte inferior de la tabla se muestra comparación de LPAA y LPC seccionados, frente a plastia simple LPAA,

^a p prueba de t de Student para muestras relacionadas.

^b p prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

en su capacidad para controlar los desplazamientos angulares en el plano coronal. Estos hallazgos subrayan el papel fundamental del LPC en la estabilización lateral y su contribución a la resistencia frente a fuerzas de varo, que no son reemplazables por el LPAA, confirmando estudios previos que atribuyen al LPC una función clave en el soporte de la articulación subtalar y talocrural^{4–6,21,22}. No obstante, encontramos en la bibliografía puntos de vista contradictorios sobre la necesidad de reparar el LPC en ILCT. Varios estudios clínicos reportan buenos resultados funcionales

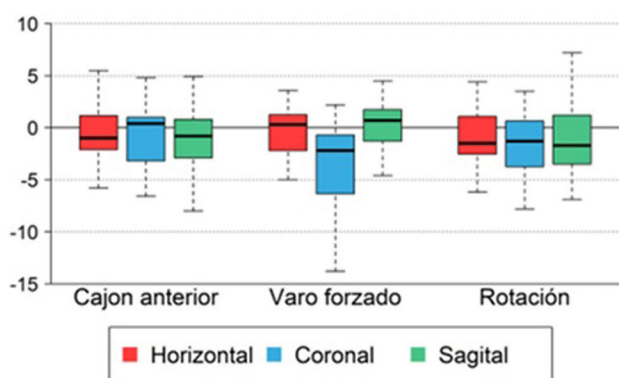
y radiológicos, sin diferencias estadísticamente significativas al comparar pacientes con reparación o reconstrucción aislada de LPAA y pacientes con reparación o reconstrucción de ambos ligamentos^{10,23}. Sin embargo, en el estudio biomecánico de Kobayashi et al.²⁴, queda reflejada la importancia del LPC en la estabilización del tobillo, tanto a nivel talocrural como subtalar, especialmente bajo cargas multidireccionales sin que su función pueda ser sustituida por otros ligamentos presentes en el tobillo. En la misma línea, el trabajo de Hunt et al. refleja que la lesión del LCF, a dife-

Tabla 5 Comparación entre el desplazamiento angular del astrágalo (articulación tibioastragalina) con plastia doble LPAA y LPC, frente a plastia simple LPAA, tras la aplicación de las maniobras de exploración de estabilidad (maniobra de cajón anterior [CA], varo forzado [VF] y maniobra de rotación o pivote [MP]), en los 3 planos del espacio (horizontal, coronal y sagital)

Plastia doble LPAA y LPC vs. plastia simple LPAA					
Maniobra	Plano	Media (IC95%)	Mediana (IC95%)	p ^a	p ^b
CA	Horizontal	-0,46 (-1,82, 0,90)	-0,64 (-1,85, 0,65)	0,489	0,330
	Coronal	-0,18 (-2,50, 2,14)	-0,30 (-2,10, 0,90)	0,875	0,731
	Sagital	-0,11 (-2,76, 2,53)	-0,70 (-2,25, 1,25)	0,930	0,386
VF	Horizontal	-0,29 (-1,22, 0,64)	-0,22 (-1,20, 0,80)	0,523	0,800
	Coronal	-4,86 (-8,15, -1,56)	-3,50 (-6,25, -1,45)	0,006	<0,001
	Sagital	2,29 (-1,90, 6,47)	0,35 (-0,85, 1,70)	0,269	0,563
MP	Horizontal	-1,23 (-2,95, 0,48)	-1,30 (-2,80, 0,55)	0,151	0,151
	Coronal	-0,96 (-3,26, 1,34)	-1,55 (-3,15, 0,10)	0,398	0,061
	Sagital	-1,24 (-3,11, 0,63)	-1,55 (-3,30, 0,65)	0,182	0,168

^a p prueba de t de Student para muestras relacionadas.

^b p prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

**Figura 6** Descripción gráfica en forma de diagrama de cajas de la comparación entre el desplazamiento angular del astrágalo (articulación tibioastragalina) con plastia doble LPAA y LPC, frente a la reconstrucción con plastia simple LPAA, tras la aplicación de las maniobras de exploración de estabilidad (maniobra de cajón anterior, varo forzado y maniobra de rotación o pivote), en los 3 planos del espacio (horizontal, coronal y sagital).

rencia de la lesión del LPAA, aumenta significativamente la inversión del retropié y modifica el centro de carga sobre la superficie articular, modificando la mecánica del tobillo, lo cual puede dar lugar a daños del cartilago articular a largo plazo⁶.

La reconstrucción de ambos ligamentos, LPAA y LPC con aloinjerto, ha demostrado ser una técnica que proporciona resultados clínicos satisfactorios en escalas AOFAS y Karlsson-Peterson, y que mejora objetivamente la estabilidad del tobillo sin comprometer la movilidad articular^{25,26}. Estos resultados son similares a los obtenidos en pacientes con reparación directa de ambos ligamentos, pero hay que destacar que las técnicas de reconstrucción son las únicas posibles en aquellos pacientes donde no se dispone de un remanente tisular de buena calidad²⁵. Los avances en artroscopia de tobillo han permitido el desarrollo de técnicas de reconstrucción de LPAA y LPC menos invasivas, que reproducen la configuración anatómica de los ligamentos, con resultados comparables en términos de estabilidad y menor

tiempo de recuperación²⁷. Sin poder evaluar los resultados clínicos, nuestros resultados reflejan que la plastia doble de LPAA y LPC logra restaurar la estabilidad articular angular de manera comparable a la de un tobillo intacto, aunque con mayor restricción en las maniobras de varo y rotación interna. Esto podría estar relacionado con la posición de la articulación en eversion a la hora de tensionar la plastia.

Este estudio no está exento de limitaciones; al tratarse de un estudio en cadáver, no podemos tener en cuenta el efecto biológico de la cicatrización y fibrosis que contribuyen a la estabilidad del tobillo a largo plazo; de la misma manera sólo analizamos la estabilidad intrínseca proporcionada por las estructuras osteoligamentosas, sin tener en cuenta la estabilización muscular; ambos factores pueden ser los responsables de atenuar las diferencias observadas cuando se trata de estudios en vivo. Por otro lado, el método de evaluación utilizado se basa en maniobras de exploración, que dependen del examinador, sin que se haya cuantificado la fuerza o presión ejercida para la realización de las mismas. Para minimizar el error asociado a esta circunstancia cada una de las mediciones eran realizadas por el mismo observador 3 veces, con unos resultados de correlación intraobservador muy próximos a 1, lo cual nos asegura la fiabilidad y consistencia de los resultados. A pesar de estos aspectos, como fortalezas de este trabajo podemos destacar que es un estudio experimental en cadáveres con 24 especímenes, diseñado rigurosamente para minimizar errores y utilizando un instrumento previamente validado en investigaciones biomecánicas del tobillo, siendo el primero publicado que compara 2 técnicas de reconstrucción bajo condiciones de lesión combinada de LPAA y LPC, aportando información relevante para la toma de decisiones clínicas en el tratamiento de la inestabilidad crónica del tobillo. Se requieren estudios prospectivos para validar estos hallazgos en un entorno clínico y evaluar los efectos a largo plazo de las diferentes técnicas de reconstrucción ligamentosa.

Conclusiones

Según los resultados del presente estudio, la reconstrucción con plastia doble (LPAA y LPC) ofrece una mayor estabilidad

angular de la articulación tibiotalar en comparación con la plastia simple (LPAA) tras la sección de ambos ligamentos en un modelo cadavérico de tobillo a tiempo cero.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia III.

Autoría

Todos los autores cumplen con los requisitos de autoría de este trabajo, que se ha elaborado teniendo en cuenta las instrucciones para los autores de la REVISTA ESPAÑOLA DE CIRUGÍA ORTOPÉDICA Y TRAUMATOLOGÍA.

Consideraciones éticas

Este trabajo se ha realizado en el Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universidad Complutense de Madrid, en colaboración con el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario 12 de Octubre y del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz.

La presente investigación ha sido evaluada por el comité de Bioética del Instituto de Investigación i+12 del Hospital Universitario 12 de Octubre, obteniendo su aprobación el 14 de abril de 2021.

Financiación

La presente investigación ha contado la financiación de la ayuda de «Proyectos de Inicio a la Investigación de la Fundación SECOT», convocada en el año 2021.

Declaración sobre el uso de la IA generativa y de las tecnologías asistidas por la IA en el proceso de redacción

Durante la preparación de este trabajo los autores no utilizaron ningún tipo de inteligencia artificial o tecnología asistida por inteligencia artificial.

Conflicto de intereses

El autor J. Vilá y Rico es consultor internacional de Arthrex. El resto de autores no tiene ningún conflicto de interés que declarar.

Agradecimientos

Personal del Departamento de Anatomía y Embriología de la Universidad Complutense de Madrid y equipo técnico de la sala de disección.

Arthrex España, por la cesión desinteresada del material necesario para desarrollar el trabajo de investigación.

Ignacio Mahillo Fernández, por su inestimable ayuda con el procesamiento de datos.

Bibliografía

1. van Rijn RM, van Os AG, Bernsen RMD, Luijsterburg PA, Koes BW, Bierma-Zeinstra SMA. What is the clinical course of acute ankle sprains? A systematic literature review. *Am J Med.* 2008;121, 324-331.e6.
2. Katcherian D. Soft-tissue injuries of the ankle. En: Lutter LD, Mizel MS, Pfeffer GB, editores. *Foot and Ankle.* Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1994. p. 241-54.
3. Hintermann B, Boss A, Schäfer D. Arthroscopic Findings in Patients with Chronic Ankle Instability. *Am J Sports Med.* 2002;30:402-9.
4. Laurin CA, Ouellet R, St-Jacques R. Talar and subtalar tilt: an experimental investigation. *Can J Surg J Can Chir.* 1968;11:270-9.
5. Kovaleski JE, Heitman RJ, Gurchiek LR, Hollis JM, Liu W, Pearsall AW. Joint stability characteristics of the ankle complex after lateral ligamentous injury, part I: a laboratory comparison using arthrometric measurement. *J Athl Train.* 2014;49:192-7.
6. Hunt KJ, Pereira H, Kelley J, Anderson N, Fuld R, Baldini T, et al. The Role of Calcaneofibular Ligament Injury in Ankle Instability: Implications for Surgical Management. *Am J Sports Med.* 2019;47:431-7.
7. Broström L. Sprained ankles. V. Treatment and prognosis in recent ligament ruptures. *Acta Chir Scand.* 1966;132:537-50.
8. Gould N, Seligson D, Gassman J. Early and late repair of lateral ligament of the ankle. *Foot Ankle.* 1980;1:84-9.
9. Vega J, Malagelada F, Manzanares Céspedes MC, Dalmau-Pastor M. The lateral fibulotalocalcaneal ligament complex: an ankle stabilizing isometric structure. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2020;28:8-17.
10. Ko KR, Lee WY, Lee H, Park HS, Sung KS. Repair of only anterior talofibular ligament resulted in similar outcomes to those of repair of both anterior talofibular and calcaneofibular ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2020;28:155-62.
11. Thès A, Odagiri H, Elkaïm M, Lopes R, Andrieu M, Cordier G, et al. Arthroscopic classification of chronic anterior talo-fibular ligament lesions in chronic ankle instability. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* 2018;104(8S):S207-11.
12. Vilá-Rico J, Cabestany-Castellà JM, Cabestany-Perich B, Núñez-Samper C, Ojeda-Thies C. All-inside arthroscopic allograft reconstruction of the anterior talo-fibular ligament using an accessory transfibular portal. *Foot Ankle Surg Off J Eur Soc Foot Ankle Surg.* 2019;25:24-30.
13. Guerra-Pinto F, Cunha J, Sousa L, Gomes TM, Andrade R, Oliva XM, et al. Gravity stress tibiotalar laxity evaluation with a bio-medical gyroscopes device - cadaver study with progressive sectioning of lateral ankle ligaments. *J Exp Orthop.* 2020;7:53.
14. Guerra-Pinto F, Côte-Real N, Gomes TM, Consciência JG, Glazebrook M, Oliva XM. Varus talar tilt combined with an internal rotation pivot stress assesses the supination instability vector in lateral ankle ligaments' injury - cadaver study. *Foot Ankle Surg Off J Eur Soc Foot Ankle Surg.* 2020;26:258-64.
15. Iglesias-Durán E, Guerra-Pinto F, Ojeda-Thies C, Vilá-Rico J. Reconstruction of the interosseous talocalcaneal ligament using allograft for subtalar joint stabilization is effective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2023;31:6080-7.
16. Tourné Y, Besse JL, Mabit C, Sofcot. Chronic ankle instability. Which tests to assess the lesions? Which therapeutic options? *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* 2010;96:433-46.
17. Guerra-Pinto F, Côte-Real N, Mota Gomes T, Silva MD, Consciência JG, Monzo M, et al. Rotational Instability after Anterior Talofibular and Calcaneofibular Ligament Section: The Experimental Basis for the Ankle Pivot Test. *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg.* 2018;57:1087-91.

18. Michels F, Pereira H, Calder J, Matricali G, Glazebrook M, Guillo S, et al. Searching for consensus in the approach to patients with chronic lateral ankle instability: ask the expert. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2018;26:2095–102.
19. Karlsson J, Bergsten T, Lansinger O, Peterson L. Reconstruction of the lateral ligaments of the ankle for chronic lateral instability. *J Bone Joint Surg Am*. 1988;70:581–8.
20. Mellado-Romero MÁ, Guerra-Pinto F, Ojeda-Thies C, Arroyo-Hernández M, Abarquero-Diezhandino A, Ramos-Pascua L, et al. Comparison of Direct Repair Versus Anatomic Graft Reconstruction of the Anterior Talofibular Ligament: A Biomechanical Cadaveric Study. *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg*. 2024;63:36–41.
21. Chrisman OD, Snook GA. Reconstruction of lateral ligament tears of the ankle. An experimental study and clinical evaluation of seven patients treated by a new modification of the Elmslie procedure. *J Bone Joint Surg Am*. 1969;51:904–12.
22. Kjaersgaard-Andersen P, Wethelund JO, Nielsen S. Lateral talocalcaneal instability following section of the calcaneofibular ligament: a kinesiologic study. *Foot Ankle*. 1987;7:355–61.
23. Lee KT, Park YU, Kim JS, Kim JB, Kim KC, Kang SK. Long-term results after modified Brostrom procedure without calcaneofibular ligament reconstruction. *Foot Ankle Int*. 2011;32:153–7.
24. Kobayashi T, Yamakawa S, Watanabe K, Kimura K, Suzuki D, Otsubo H, et al. The in situ force in the calcaneofibular ligament and the contribution of this ligament to ankle joint stability. *Clin Biomech Bristol Avon*. 2016;40:8–13.
25. Li H, Hua Y, Li H, Chen S. Anatomical reconstruction produced similarly favorable outcomes as repair procedures for the treatment of chronic lateral ankle instability at long-term follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28:3324–9.
26. Jung HG, Kim TH, Park JY, Bae EJ. Anatomic reconstruction of the anterior talofibular and calcaneofibular ligaments using a semitendinosus tendon allograft and interference screws. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20:1432–7.
27. Vilá-Rico J, Fernández-Rojas E, Jimenez-Blázquez JL, Mortada-Mahmoud A, Fletcher L. Arthroscopic Anatomic Reconstruction of the Anterior Talofibular and Calcaneofibular Ligaments Through a 2-Portal Technique. *Arthrosc Tech*. 2024;13:102914.