



Universidad  
Francisco de Vitoria  
**UFV** Madrid

FACULTAD DE MEDICINA  
DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA

---

**Estudio biomecánico en cadáver del tratamiento  
de la inestabilidad subtalar mediante  
reconstrucción con plastia tendinosa del  
ligamento talocalcáneo interóseo**

---

DOCTORANDO: **Elvira Iglesias Durán**  
DIRECTOR DE TESIS 1: Jesús Vilá y Rico  
DIRECTOR DE TESIS 2: Francisco Garcia Esteo  
Madrid 2021

Estudio biomecánico en cadáver del tratamiento de la inestabilidad subtalar mediante reconstrucción con plastia tendinosa del ligamento talocalcáneo interóseo

Estudio biomecánico en cadáver del tratamiento de la inestabilidad subtalar mediante reconstrucción con plastia tendinosa del ligamento talocalcáneo interóseo

A Jesús por haber  
sido mi todo  
durante todos  
estos años.

## **Agradecimientos.**

Mis agradecimientos a todas aquellas personas que han contribuido a la realización de este proyecto.

A mi padre, por la necesidad de devolverle con este trabajo el ejemplo que siempre me ha dado en esta maravillosa profesión y en la vida. A mi madre, por enseñarme desde el ejemplo tantas cosas. A mis hijas, Inés y María, por hacerme crecer cada día para poder ser ejemplo de vida y de profesión como lo fueron mis padres para mí.

Al Dr. Vilá, por creer en mi a pesar de lo difícil que se lo he puesto. Por la entrega, ilusión y paciencia con la que ha dirigido esta Tesis Doctoral.

Al Dr. García Esteo, por su gran capacidad, ser un trabajador incansable y estar siempre disponible.

A la Doctora Carmen Calles, responsable de la Sala de Disección del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la UFV por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de realizar este estudio.

A Lys y a Alex, miembros del equipo técnico de la Sala de Disección del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la UFV por su enorme ayuda y amabilidad durante el desarrollo de las técnicas quirúrgicas en cadáver. Un placer trabajar con ellos.

Al Dr. David Varillas por su trabajo y dedicación en el estudio estadístico

Al Dr. Francisco Pinto Guerra, de la Universidad de Lisboa, por su colaboración y especialmente por la cesión desinteresada del artrómetro, instrumento de medida, sin el cual no hubiese sido posible desarrollar esta Tesis Doctoral. Por hacer que Lisboa y Madrid estuviesen tan cerca.

A la compañía Arthrex España, en la persona de Esther Rodríguez y a Endoscopia por la cesión desinteresada de todo el instrumental y material para el desarrollo de las técnicas de reconstrucción ligamentosa, así como por el soporte técnico.

Al Dr. Kelly, al Dr. Gomez, a Inés y María Vilá, por su inestimable ayuda en el proceso de disección y preparación de las piezas quirúrgicas.

A Cristina Ojeda y a Inés Vilá por compartir conmigo sus dotes artísticas.

A la Dra. Cristina Delgado por compartir conmigo sus conocimientos informáticos.

A los donantes de cuerpos en virtud de la Ciencia, por su generosidad más allá de la vida.

## Índice de abreviaturas y acrónimos.

**AK:** Agujas de Kirschner.

**ASA:** Articulación subastragalina

**CRL.** (del inglés crown-rump length). Medida cráneo-caudal del desarrollo fetal.

**ECD:** Extensor corto de los dedos

**ELDG:** Extensor largo del dedo gordo.

**ECD:** Extensor corto de los dedos.

**FCD:** Flexor común de los dedos

**FLD:** Flexor largo de los dedos.

**FLDG:** Flexor largo del dedo gordo

**HM:** Haz medial.

**HMcl:** Haz medial componente lateral.

**HMcm:** Haz medial componente medial.

**IALT:** Inestabilidad anterolateral rotatoria de tobillo.

**ILCT:** Inestabilidad lateral crónica de tobillo.

**IST:** Inestabilidad subtalar.

**LC:** Ligamento cervical.

**LCF:** Ligamento calcáneo fibular.

**LPC:** Ligamento peroneocalcáneo

**LTCl:** Ligamento talocalcáneo interóseo.

**LTCo:** Ligamento talocalcáneo oblicuo.

**LPAA:** Ligamento peroneo astragalino anterior

**PC:** Peroneo corto

**RANME:** Real Academia Nacional de Medicina de España

**REI:** Retináculo extensor inferior

**ST:** Subtalar.

**T.E.I:** Test de estrés en inversión.

**T.E.E:** Test de estrés en eversión.

**TTA:** Tendón tibial anterior.

**TTP:** Tendón tibial posterior.

## Índice.

- 1.** Introducción.
  - 1.1 Anatomía articulación subtalar.
  - 1.2 Biomecánica subtalar.
  - 1.3 Inestabilidad subtalar.
    - 1.3.1. Epidemiología.
    - 1.3.2 Clínica
    - 1.3.3 Clasificación
    - 1.3.4 Diagnóstico
    - 1.3.5 Tratamiento
- 2.** Hipótesis /Objetivo.
  - 2.1 Hipótesis.
  - 2.2 Objetivos secundarios.
- 3.** Material y Métodos.
  - 3.1 Diseño del estudio.
  - 3.2 Ámbito poblacional del estudio y muestra.
    - 3.2.1 Ámbito del estudio.
    - 3.2.2 Población del estudio.
    - 3.2.3 Tamaño muestral.
    - 3.2.4 Descripción de la muestra.
  - 3.3 Secuencia de trabajo.
  - 3.4 Descripción de la técnica quirúrgica.
  - 3.5 Obtención de la información.
    - 3.5.1 Descripción del instrumento de medida.
    - 3.5.2 Variables estudiadas.
    - 3.5.3 Protocolo de trabajo.
- 4.** Resultados.
- 5.** Discusión.
- 6.** Conclusiones.
- 7.** Bibliografía.

## RESUMEN.

## INTRODUCCIÓN.

La inestabilidad subastragalina continúa siendo una patología muy debatida tanto en el diagnóstico como en el tratamiento de la misma. La necesidad de encontrar técnicas quirúrgicas fácilmente reproducibles en la práctica clínica, que estabilicen esta compleja articulación tras una lesión ligamentosa, está produciendo un aumento de los estudios en este campo y es lo que ha motivado este trabajo.

## HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

El **objetivo principal** de esta tesis es valorar la estabilidad subtalar que se obtiene tras la reconstrucción anatómica del ligamento talocalcáneo interóseo (LTCI) con injerto tendinoso, estabilizado mediante implante cortical de Arthrex y tornillos de biotenodesis en un modelo cadavérico en el momento cero.

Como **objetivos secundarios** se encuentran los siguientes: En primer lugar, comparar la estabilidad angular del LTCI sano frente a la del LTCI seccionado. Así mismo, valorar si la estabilidad angular que proporciona la técnica de reconstrucción anatómica descrita con injerto del LTCI es similar a la del ligamento sano.

La hipótesis que se pretende demostrar es que la estabilidad angular que produce la técnica de reconstrucción anatómica con injerto del LTCI en un modelo cadavérico, es una técnica sencilla, que estabiliza la articulación subtalar tras la rotura del LTCI.

La hipótesis de nuestro trabajo es que la plastia referida y la técnica quirúrgica descrita, proporciona una correcta estabilidad articular.

## MATERIAL Y MÉTODOS.

**Tipo de estudio:** Estudio experimental en cadáver.

**Población:** 15 tobillos de cadáver fresco congelado obtenidos según la normativa vigente.

**Instrumento de medida:**

Para valorar la estabilidad de la articulación subtalar, hemos usado un artrómetro, específicamente diseñado para medir los desplazamientos angulares de un sensor localizado en el calcáneo en los tres planos espaciales: axial, coronal y sagital.

Definimos como estabilidad angular al desplazamiento angular (medido en grados), del calcáneo tras la aplicación manual de las maniobras de varo y valgo forzado en los tres planos del espacio.

Para realizar las mediciones inmovilizamos la tibia con el astrágalo, permitiendo sólo el movimiento de la articulación subtalar. Se aplicaron dos maniobras empleadas habitualmente en la práctica clínica: el test de estrés en inversión (TEI) y el test de estrés en eversión (TEE). Las correspondientes desviaciones angulares fueron medidas por un dispositivo que combina un acelerómetro y giroscopio triaxial, frente a un sensor que colocamos en la región lateral del calcáneo.

**Variables estudiadas:** Movimiento angular del sensor en los tres planos del espacio: axial coronal y sagital en diferentes situaciones.

**Secuencia de trabajo:**

En primer lugar, procedimos a la medición de la estabilidad subtalar sana mediante los TEI y TEE en cada pieza cadavérica. Se anuló la movilidad tibiotalar para que las mediciones que obtuvieramos en el estudio se debieran exclusivamente a la movilidad de la articulación subtalar.

Nuestro protocolo de trabajo consistió en valorar la estabilidad angular en 4 situaciones: Ligamento Cervical (LC) y Ligamento Talocalcáneo interóseo (LTCI) íntegro (1), LC y LTCI seccionado (2), reconstrucción del LTCI con injerto de ELDG procedente del mismo cadáver (3) y sección del Ligamento Peroneocalcáneo (LPC) (4).

Se procedió a la identificación y disección, de forma secuencial, del retináculo de los extensores inferior (REI), ligamento cervical (LC) y ligamento talocalcáneo interóseo (LTCI) en 15 tobillos de cadáver.

Tras cada sección ligamentosa se procedió a realizar las maniobras anteriormente mencionadas (TEI y TEE) registrando la movilidad angular detectada por el sensor en los tres planos del espacio.

Para la reconstrucción ligamentaria empleamos como plastia el tendón del extensor largo del dedo gordo (ELDG) del mismo pie. Realizamos un túnel completo en el calcáneo y un túnel ciego de 10 mm en el astrágalo. La fijación de la plastia en cada espécimen, la realicé con un sistema cortical dinámico TightRope ACL (Arthrex, Naples, FL) en astrágalo y con un tornillo de biotendonesis en calcáneo. Una vez realizada la plastia se procedió a realizar las maniobras anteriormente mencionadas (TEI y TEE) y registramos la movilidad angular detectada por el sensor en los tres planos del espacio.

A continuación, seccionamos el Ligamento Peroneo Calcáneo (LPC) volviendo a realizar las maniobras anteriormente mencionadas (TEI y TEE) y volviendo a registrar la movilidad angular detectada por el sensor en los tres planos del espacio.

## **RESULTADOS.**

Obtuvimos que la ligamentoplastia con autoinjerto del extensor largo del dedo gordo (ELDG) estabiliza de manera angular en el momento cero la articulación subtalar en todos los planos con significación estadística en eversión en los planos axial y sagital y en inversión en los planos axial y coronal.

## **CONCLUSIONES.**

1. La ligamentoplastia con autoinjerto del ELDG estabiliza de manera angular en el momento cero la articulación subtalar en todos los planos con significación estadística en eversión en los planos axial y sagital y en inversión en los planos axial y coronal.
2. El LTCL es un importante estabilizador de la articulación subtalar en los planos coronal y sagital tanto en eversión como en inversión.
3. El LC tiene un papel fundamental en la estabilidad de la articulación subtalar en eversión en el plano axial.
4. El REI tiene un papel fundamental en la estabilidad de la articulación subtalar en inversión en el plano axial.
5. La sección del LPC inestabiliza la articulación subtalar en eversión en todos los planos del espacio y en inversión en el plano coronal de manera estadísticamente significativa.

## SUMMARY.

## INTRODUCTION.

Subtalar instability continues to be a highly debated pathology both in its diagnosis and in its treatment. The need to find easily reproducible surgical techniques in clinical practice that stabilize this complex joint after a ligamentous injury is producing an increase in studies in this field and is what has motivated this work.

## HYPOTHESIS AND OBJECTIVES.

The main objective is to assess the subtalar stability obtained after anatomical reconstruction of ITCL with stabilized tendon graft using Arthrex cortical implant and bionodesis screws in a cadaveric model at time zero.

As secondary objectives are the following: First, to compare the angular stability of healthy LITC versus that of sectioned ITCL. Likewise, assess whether the angular stability of the ITCL graft anatomical reconstruction technique is similar to that of the healthy ligament.

The hypothesis to be demonstrated is that the angular stability produced by the ITCL graft anatomical reconstruction technique in a cadaveric model is a simple technique that stabilizes the subtalar joint after ITCL rupture.

The hypothesis of our work is that the referred plasty provides correct joint stability.

## MATERIAL AND METHODS.

**Type of study:** Experimental cadaver study.

**Population:** 15 fresh frozen corpse ankles obtained according to current regulations.

**Measure instrument:**

To assess the stability of the subtalar joint, we have used an arthrometer specifically designed to measure the angular displacements of a sensor located in the calcaneus in the three spatial planes: axial, coronal and sagittal. We define angular stability as the angular displacement (measured in degrees) of the calcaneus after manual application of the varus and forced valgus maneuvers in the three spatial planes.

To perform the measurements we immobilized the tibia allowing only the movement of the subtalar joint. Two maneuvers commonly used in clinical practice were applied: Inversion stress test (IST) and Eversion stress test (EST). The corresponding rotations

were measured by a device that combines an accelerometer and triaxial gyroscope in front of a sensor that we placed in the lateral region of the calcaneus.

Variables studied: angular movement of the sensor in the three planes: axial coronal and sagittal in different situations.

Work sequence:

First, we proceeded to measure healthy subtalar stability using IST and EST in each cadaveric piece, canceling tibiotalar mobility so that the measurements obtained in the study were exclusively due to subtalar mobility.

Our work protocol consisted in assessing the angular stability in 4 situations: CL and intact ITCL (1), CL and sectioned ITCL (2), reconstruction of the ITCL with an EHL graft from the same cadaver (3) and section of the CFL (4).

Inferior extensor retinaculum (IER), cervical ligament (CL), and interosseous talocalcaneal ligament (ITCL) were identified and dissected sequentially in 15 cadaver ankles.

After each ligament section, the aforementioned maneuvers (IST and EST) were carried out, recording the angular mobility detected by the sensor in the three planes of space. For ligament reconstruction, we used the EHL tendon of the same foot as a plasty. We made a complete tunnel in the calcaneus and a 10 mm talar blind tunnel in the talus. The fixation of the plasty was performed with the TightRope ACL dynamic cortical system (Arthrex, Naples, FL) in the talus and with a biotenodesis screw in the calcaneus. Once the plasty was performed, the aforementioned maneuvers (IST and EST) were carried out and the angular mobility detected by the sensor was recorded in the three planes of space.

Next, we sectioned the Calcaneal Fibular Ligament (CFL) by performing the aforementioned maneuvers (IST and EST) and re-recording the angular mobility detected by the sensor in the three planes of space.

## **RESULTS.**

We obtained that the EHL autograft ligamentoplasty stabilizes the subtalar joint at zero moment in an angular manner in all planes with statistical significance in eversion in the axial and sagittal planes and in inversion in the axial and coronal planes.

## **CONCLUSIONS.**

1. EHL autograft ligamentoplasty angularly stabilizes the subtalar joint at zero moment in all planes with statistical significance in eversion in the axial and sagittal planes and in inversion in the axial and coronal planes.
2. The ITCL is an important stabilizer of the subtalar joint in the coronal and sagittal planes in both eversion and inversion.
3. The CL plays a fundamental role in the stability of the eversioning subtalar joint in the axial plane.
4. The RIE plays a fundamental role in the stability of the inverted subtalar joint in the axial plane.
5. The section of the LPC instabilizes the subtalar joint in eversion in all planes of space and in inversion in the coronal plane in a statistically significant way.

Estudio biomecánico en cadáver del tratamiento de la inestabilidad subtalar mediante reconstrucción con plastia tendinosa del ligamento talocalcáneo interóseo

## ***1.INTRODUCCIÓN***

## 1.1. ANATOMIA DE LA ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA.

La articulación subastragalina o subtalar está constituida por dos articulaciones morfológicamente independientes pero que, funcionalmente, se movilizan en torno a un eje común <sup>1</sup>. Clásicamente se describen dos cámaras o cavidades articulares, una cámara anterior o astragaloescafo calcánea o talocalcáeonavicular <sup>2</sup> y otra cámara posterior o astragalocalcánea o talocalcánea, que morfológicamente son de tipo trocoide y enartrosis <sup>3</sup> respectivamente, con gran variabilidad entre sujetos <sup>4</sup>.

La articulación subtalar anterior incluye las facetas anterior y media que presentan cada una de las superficies antagónicas enfrentadas de calcáneo y de astrágalo. También contiene la articulación astrágaloescafoidea o talonavicular y el ligamento en hamaca ("spring" ligament) o ligamento calcáeonavicular plantar, revestido de cartílago hialino. Este ligamento se extiende desde el hueso navicular o escafoides tarsiano, hasta el *sustentaculum tali*, "plataforma" ósea proyectada a lateral desde el calcáneo, que sostiene al astrágalo. Inferior a este *sustentaculum* se sitúan el tendón del músculo tibial posterior (TTP), el tendón del músculo flexor largo de los dedos (FLD) y el tendón del músculo flexor largo del dedo gordo (FLDG). La contracción de estos músculos proporciona estabilidad dinámica al retropié <sup>5</sup>.

La articulación subtalar anterior, la cara posterior del navicular y el ligamento calcaneonavicular plantar o spring ligament, forman una cavidad (*acetabulum pedis*) en la que se articula la cabeza del *talo*, y que es similar a la articulación de la cadera, otorgándole estabilidad al pie <sup>6,7</sup>.

La articulación subastragalina posterior (Fig. 1) presenta una gran carilla articular del calcáneo denominada *talamus*, que es convexa y de gran tamaño y que se articula con la superficie articular inferior y posterior del astrágalo <sup>1</sup> (Fig. 2). Esta carilla articular del astrágalo es marcadamente cóncava en su eje mayor y se dirige en sentido anterior y lateral <sup>8</sup>. (Fig. 3)



**Figura 1.** Calcáneo. Articulación subastragalina posterior.

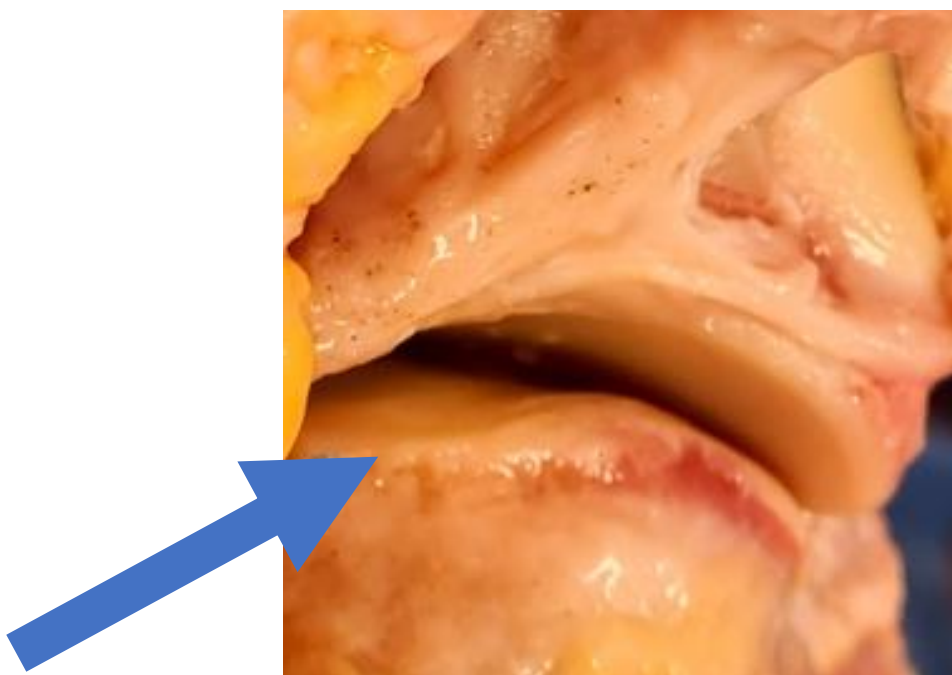


**Figura 2.** Disposición articular de calcáneo con astrágalo



**Figura 3.** Cara inferior del astrágalo. Seno y canal del tarso

En estudios de cadáver mediante RMN<sup>9</sup> se objetivan diferentes curvaturas en la ST posterior. Unos pacientes presentan la clásica articulación plana mientras que otros presentan una articulación en silla de montar. Estas diferencias de morfología tienen influencia en la movilidad y estabilidad del tobillo y de la articulación subtalar. (Fig. 4)



**Figura 4.** Curvatura de la articulación subtalar

La morfogénesis de la articulación subtalar se realiza a las 8 semanas de gestación. Los ligamentos del seno del tarso no son evidentes hasta que el feto tiene 40 mm (CRL; medida de longitud craneocaudal), generalmente entre las 11 y las 14 semanas de gestación.

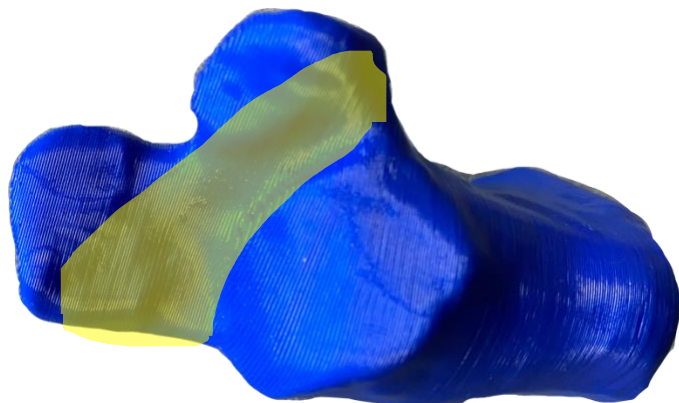
La importancia anatómica y funcional de esta articulación se desarrolla en los primeros meses de vida extrauterina. Los elementos neurovasculares no aparecen hasta que el estadio fetal está bastante avanzado y presentan un gran número de variaciones. El pie pasará de una posición en equino, varo y aducto del periodo fetal a presentar un progresivo estiramiento<sup>10</sup>.

Entre estas dos articulaciones se encuentra encajonado el seno del tarso que se puede dividir en dos zonas:

- El seno del tarso propiamente dicho, que tiene forma de un cono de base lateral y de vértice orientado a medial y posterior
- El canal del tarso que cruza entre las dos vertientes de la articulación subtalar.

El seno del tarso, con sus ligamentos, representa una estructura filogenética tardía que aparece en el pie humano habilitándolo para la bipedestación<sup>10</sup>. Limita a posterior con la articulación subtalar posterior y a anterior con una cresta que forma la tuberosidad anterior del calcáneo donde se inserta el tendón del músculo extensor corto de los dedos (ECD). En su interior encontramos fibras ligamentosas laxas y grasa.

El canal del tarso es una prolongación en la parte medial del vértice del seno, aunque en muchas ocasiones se le denomina junto con el seno como si fueran la misma estructura. Su dirección no es perpendicular a la base del seno, sino que se extiende hacia la parte posterior y medial. Tiene forma cilíndrica<sup>10</sup>. (Fig. 5)



**Figura. 5.** Anatomía del canal del tarso y del seno del tarso.

Los ligamentos de la articulación subtalar pueden ser divididos en superficiales, periféricos o extrínsecos y profundos, intrínsecos o interóseos <sup>11</sup>.

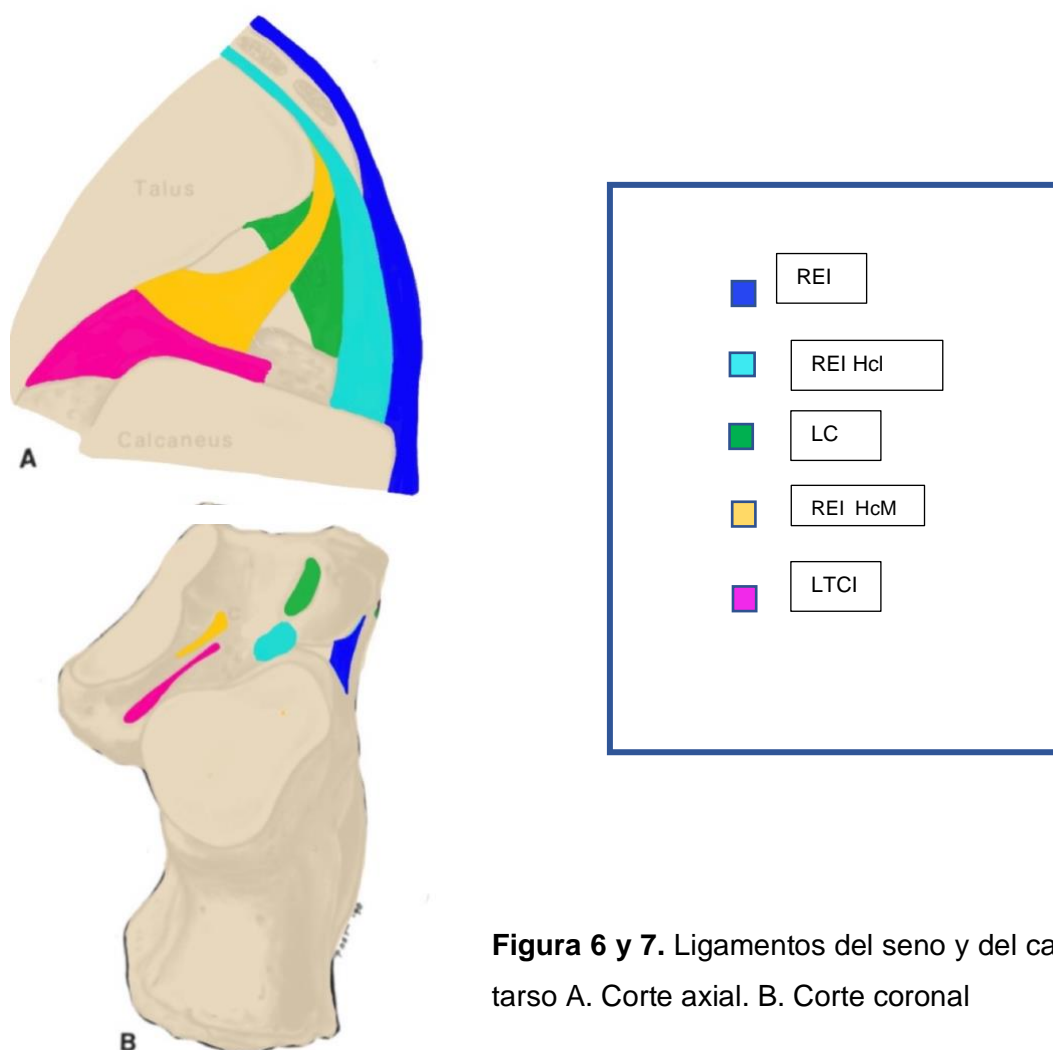
- Los **ligamentos periféricos o extrínsecos** refuerzan la articulación y son:
  - El ligamento talocalcaneo lateral o externo que sigue la misma dirección del ligamento peroneocalcáneo, pero situándose detrás de éste.
  - El ligamento talocalcaneo posterior. Estos dos ligamentos son débiles y actúan reforzando a los correspondientes ligamentos del tobillo.
  - En la parte medial, el ligamento talocalcáneo medial cierra medialmente el canal del tarso, constituyéndose a partir de fibras del ligamento deltoideo que se inserta en la apófisis menor del calcáneo.
  - También se incluye en este grupo el ligamento peroneocalcáneo (LPC) que es el único componente de la articulación subtalar que cruza la articulación talar y subtalar lateralmente <sup>12</sup> y el fascículo tibioalcáneo del ligamento deltoideo <sup>13</sup>.
- En cuanto a los **ligamentos centrales, profundos o intrínsecos** existe, sin embargo, gran confusión en la literatura tanto en su descripción como en su nomenclatura. Estas formaciones ligamentosas se vuelven cada vez más consistentes de lateral a medial <sup>14</sup>.

Los **ligamentos del seno del tarso**, propiamente dichos, serían:

- El **retináculo extensor (RE)** que sirve para la sujeción en el os calcis o el ligamento crural transverso o superior y cruzado o inferior (REI)
- El **ligamento cervical (LC)** llamado también ligamento talocalcaneo oblicuo (LTCO) que restringe la inversión del pie.

Estos ligamentos están formados por tejido conectivo con fibras dispuestas al azar, fibras elásticas con corpúsculos de Paccini y fibras nerviosas. Tienen función propioceptiva más que mecánica. Se observan mayor número de fibras nerviosas en la parte lateral que en la medial <sup>15,16</sup>.

El **ligamento del canal del tarso** es el ligamento interóseo o talocalcáneo interóseo (LTCI). También llamado ligamento del canal del tarso <sup>11</sup> y ligamento intertalocalcáneo que es la nomenclatura más usada actualmente. En la bibliografía inglesa se le conoce por ITCL (interosseous talocalcaneal ligament) y muchas veces nos referimos a él con esta terminología anglosajona. (Fig. 6 y 7).



**Figura 6 y 7.** Ligamentos del seno y del canal del tarso A. Corte axial. B. Corte coronal

Existen autores que lo describen como una estructura formada por dos fascículos (ligamento interóseo anterior y ligamento interóseo posterior) que giran uno sobre otro y gracias a ello regulan la movilidad de la articulación subtalar, asemejándose a los ligamentos de la rodilla<sup>17,18</sup>.

Está formado por fibras densas de tejido conectivo con fibras colágenas dispuestas en paralelo. No presentan fibras nerviosas y tiene una función más mecánica que propioceptiva. Su porción más gruesa coincide con el eje de Henke<sup>14</sup> por lo que se considera el eje de la articulación. Sus fibras limitan la eversión y ayudan a mantener el arco plantar.

El LTCI es una estructura sólida que mide aproximadamente 2.5 cm<sup>19,20</sup> de ancho, de medial a lateral, y es considerado por la mayoría de los autores el mayor estabilizador de la articulación subtalar<sup>20,21,22,21,24,25,26</sup>. Emerge del surco del talus y se inserta en el calcáneo, justo anterior y medial a la cápsula de la articulación talocalcanéa posterior. Las fibras presentan una orientación oblicua y superomedial. En el plano coronal el ligamento está angulado en unos 35° de media que corresponde a la orientación del seno del tarso<sup>27,28</sup>.

El LTCI limita la eversión y la inversión de la articulación subtalar y contribuye al arco longitudinal del arco del pie<sup>24,29</sup>. Junto con el LC y el LPC participa en la estabilidad de la articulación subtalar.

El contenido del canal y del seno del tarso incluye el LC, LTIC, el origen medial del REI, la almohadilla grasa y los vasos sanguíneos.

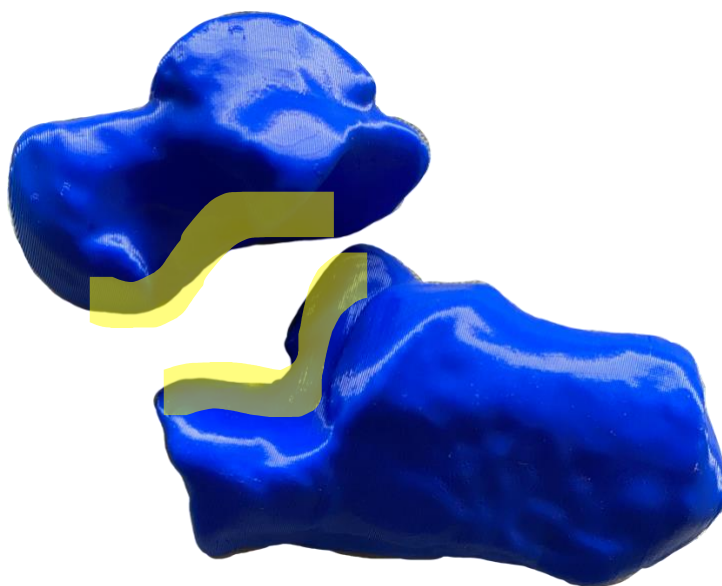
El seno y el canal del tarso y sus ligamentos forman una pared que separa ambas cámaras articulares. Debido a esta razón, el contraste inyectado en la cámara posterior no pasará a la cámara anterior a no ser que exista una lesión<sup>30</sup>.

## **1.2. BIOMECÁNICA DE LA ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA.**

La articulación subtalar, es la principal articulación del pie, permitiendo una traslación en los tres planos entre el pie y el resto de la extremidad inferior<sup>31</sup>. Una correcta función de la articulación subtalar es imprescindible para la correcta función del pie y de la pierna<sup>32,33</sup>.

El eje de rotación y el movimiento de la articulación subtalar son difíciles de entender y todavía no están del todo bien documentados<sup>31,34,35</sup>.

La articulación subtalar está constituida por tres superficies articulares, establecidas entre la cara inferior del astrágalo y la superior del calcáneo. Dichas superficies articulares poseen una compleja configuración, de forma que la superficie superior del calcáneo y la cabeza del astrágalo constituyen un ovoide convexo, mientras que la superficie media y anterior del calcáneo y la superficie navicular del astrágalo constituyen un ovoide cóncavo<sup>1</sup>. (Fig.8)

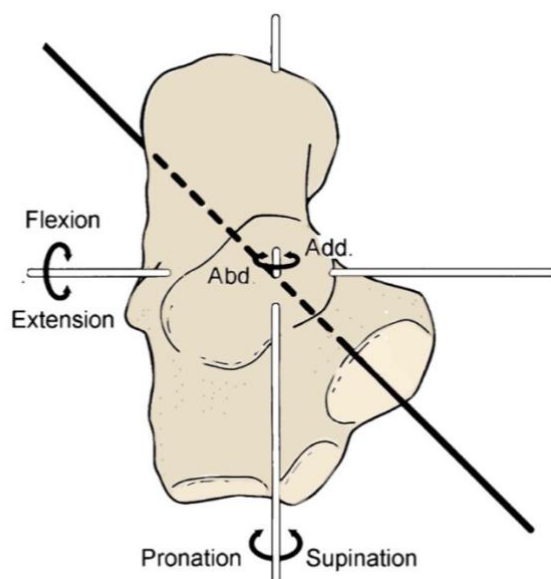


**Figura 8.** Ovoide convexo en astrágalo y ovoide convexo del calcáneo

Esto hace que, cuando se desliza la superficie ovoidea convexa sobre la superficie cóncava se produzca un giro, traslación y rodamiento hacía el lado opuesto al movimiento.

Por el contrario, al deslizarse la superficie ovoidea cóncava sobre la convexa, el movimiento de rodamiento que se produce junto a la traslación y el giro posee la misma dirección del deslizamiento. Podría describirse como una rotación, una traslación o la combinación de los dos movimientos<sup>1</sup>.

El complejo articular subastragalino se mueve alrededor de un mismo eje, de orientación oblicua, que penetra por la región posterolateral del calcáneo, pasa perpendicular al seno del tarso y emerge por la zona superomedial del cuello del astrágalo. El eje, denominado de Henke, forma un ángulo de  $42^{\circ}$  con el plano transverso y de  $16^{\circ}$  con el plano sagital<sup>36</sup>.



**Figura 9.** Esquema del eje de Henke

Esta orientación en el espacio origina un movimiento de desplazamiento conjunto en los tres planos del espacio: flexión plantar-supinación-adducción (inversión) y flexión dorsal-pronación-abducción (eversión) <sup>37</sup>. (Fig.9)

Sin embargo, hay autores que consideran este eje como un haz de ejes <sup>38,39</sup> dependiendo de la fase de movimiento en que nos encontremos y de la irregularidad de la articulación subtalar. Funcionaría durante la inversión como un pivote y durante la eversión como una articulación plana lo que hace que esta articulación sea más estable en eversión <sup>39</sup>.

La pronación es un movimiento en tres planos que se realiza de forma simultánea<sup>40</sup>, abducción en el plano transversal, dorsiflexión en el plano sagital y eversión en el plano coronal. La supinación también es un movimiento triplanar que combina la aducción en el eje transversal, la flexión plantar a través del eje sagital y la inversión a través del eje coronal.

Existen discrepancias a la hora de realizar mediciones del rango de movilidad de la articulación subtalar <sup>41</sup> ya que es difícil de realizar debido, entre otras razones, a la participación de la movilidad tibiotalar <sup>40</sup>.

En condiciones normales dos tercios de la movilidad de la articulación subtalar (ST) corresponden a la supinación y un tercio a la pronación<sup>1</sup>. El rango de movilidad pasiva

normal es de 25-30° de inversión /supinación (a pesar de que una marcha normal sólo requiere 10° de supinación) y unos 5°-10° de eversión / pronación<sup>1</sup>. El plano sagital es el menos dominante de la movilidad ST por lo que los impedimentos a esta articulación pueden no afectar a la marcha. Existe una disminución de la inversión subtalar de 32° a 22° cuando el tobillo se encuentra en dorsiflexión <sup>42</sup>.

Durante la supinación /pronación del pie, el mayor movimiento se produce a través de la articulación talonavicular seguido por la articulación subtalar <sup>13</sup>. El final del movimiento ocurre principalmente en supinación. La artrodesis de la articulación talonavicular bloquea el movimiento de la articulación subtalar, pero no al revés.

El astrágalo y el calcáneo se mueven en direcciones opuestas hasta conseguir la posición final. Este movimiento triplanar permite la acomodación durante la marcha en terrenos irregulares comportándose como una articulación uniaxial en la que el calcáneo rota de dorsolateral a medioplantar respecto del astrágalo<sup>34</sup>.

Cuando existe un valgo o extrarrotación del calcáneo, éste se sitúa en flexión dorsal-pronación-abducción y el astrágalo compensa dicha orientación colocándose en flexión plantar-supinación-aducción. En varo o endorrotación del calcáneo, el calcáneo se sitúa en flexión plantar-supinación-aducción y el astrágalo lo compensa colocándose en flexión dorsal-pronación-abducción <sup>5</sup>.

El grado de orientación de las superficies articulares afecta a la amplitud del movimiento. La superficie posterior del calcáneo posee un ángulo de inclinación de 65° respecto a la línea que transcurre a lo largo de la superficie craneal del cuerpo del calcáneo. Cuanto mayor es la inclinación, mayor componente de flexión plantar se realizará durante el movimiento. La superficie posterior del astrágalo posee un ángulo de declinación relativo a una línea paralela trazada sobre el borde anterior de la tróclea astragalina de aproximadamente 37°. Un mayor ángulo de declinación orientará la superficie articular en dirección longitudinal, lo que aumentará la flexión dorsoplantar. Si el ángulo de declinación es pequeño, la orientación es más transversal y crea un aumento del movimiento de supinación-pronación <sup>43</sup>.

Todos estos movimientos son guiados por los ligamentos intrínsecos, el LTCl y el LC. Dichos ligamentos se tensan en los movimientos de inversión-eversión, y su lesión, origina un aumento de la amplitud de movimientos de la articulación subastragalina en los tres planos del espacio que nunca supera los 2.6° <sup>21</sup>.

Existen numerosas publicaciones que coinciden en el papel predominante del LTCI en la estabilización subtalar 20, sobre todo en supinación<sup>44</sup>.

La estabilidad ósea de la articulación subastragalina posterior se consigue con la posición en valgo del calcáneo. En esta posición, el contacto y la congruencia entre las superficies articulares son máximos. La articulación talocalcánea interviene en los movimientos combinados de inversión-eversión del pie. Sin embargo, la implicación del astrágalo y del calcáneo va a ser diferente si se trata de un movimiento realizado con el pie en carga, (cadena cinemática cerrada) o sin apoyo del pie en el suelo (cadena cinemática abierta). En la cadena cinemática abierta, el calcáneo es el responsable del movimiento<sup>45</sup>.

Cuando la articulación subtalar se encuentra sometida a carga - cadena cinemática cerrada- el astrágalo será el responsable de la mayor parte de los movimientos en los planos sagital y transversal, mientras que el calcáneo sólo realizará los movimientos en el plano frontal<sup>37</sup>.

En el primer *rocker* de la marcha, con el apoyo del talón y a causa de la resistencia del suelo, el calcáneo queda bloqueado para cualquier tipo de movimiento que no sea supinación o pronación. El astrágalo originará el movimiento de flexión dorsal y abducción con respecto al calcáneo en inversión y es responsable del desplazamiento en flexión plantar y aducción en eversión del pie<sup>5</sup>.

En condiciones normales, el eje de movimiento de la articulación subtalar forma un ángulo de 45° con el plano transversal. Esta inclinación origina que, por cada grado de rotación de la tibia sobre el plano horizontal, hace que se produzca un grado de rotación en el plano frontal. De esta forma, durante el segundo *rocker* de la marcha, cuando el astrágalo se abduce por la rotación interna de la tibia, el calcáneo realiza un movimiento de pronación y, al contrario, cuando se produce una rotación externa de la tibia, el astrágalo se aduce y se origina una supinación del calcáneo. Estos movimientos sólo tienen sentido en carga, (cadena cinética cerrada), ya que cuando el pie está en descarga, se producirán cambios en la posición del pie<sup>32</sup>.

En posición plantígrada y bajo carga, la rotación interna tibioastragalina da lugar a una posición en pronación-valgo del calcáneo y la cabeza del astrágalo se dirige hacia el interior del *acetabulum pedis*, lo que origina la máxima capacidad de contención

(posición “closed-pack”). En esta posición, los ligamentos talocalcáneos plantar y superomedial se encuentran sometidos a una gran tensión. Cuando se produce una rotación externa de la articulación tibioastragalina, el calcáneo, supina (se variza) y la cabeza del astrágalo no tiene tanto contacto con el *acetabulum pedís*. El antepie está pronado y los ligamentos tienen menos tensión; esta posición se corresponde con la de menor estabilidad articular (posición “loose-pack”) <sup>1</sup>.

La estabilidad subtalar se debe a la geometría articular de la subtalar y de la articulación talocalcáeonavicular (*coxa pedís*) y a los ligamentos. Hintermann formuló un modelo observacional de inestabilidad subtalar<sup>46</sup> en el que el LTCl y los ligamentos de la articulación talonavicular juegan un papel fundamental en el desarrollo de inestabilidad crónica. Describe la interacción entre la articulación del tobillo y la articulación subtalar formulando el término de complejo peritalar. Debido a esta interacción tan estrecha con el tobillo, a la articulación subtalar también se le denomina en la literatura alemana, articulación talar inferior o *unterres Sprugge-lenk*.

La eversión e inversión que normalmente se atribuye a la articulación subtalar se debe producir simultáneamente en la articulación atragaloescafofalcalea <sup>1</sup>.

Se había asumido que el eje de movimiento de la articulación subtalar se debía a un eje oblicuo a través de ésta. En estudios más recientes se define este eje como un haz de ejes instantáneos debido a la superficie irregular de las facetas articulares subtalares <sup>13,33</sup>.

## **1.3 INESTABILIDAD.**

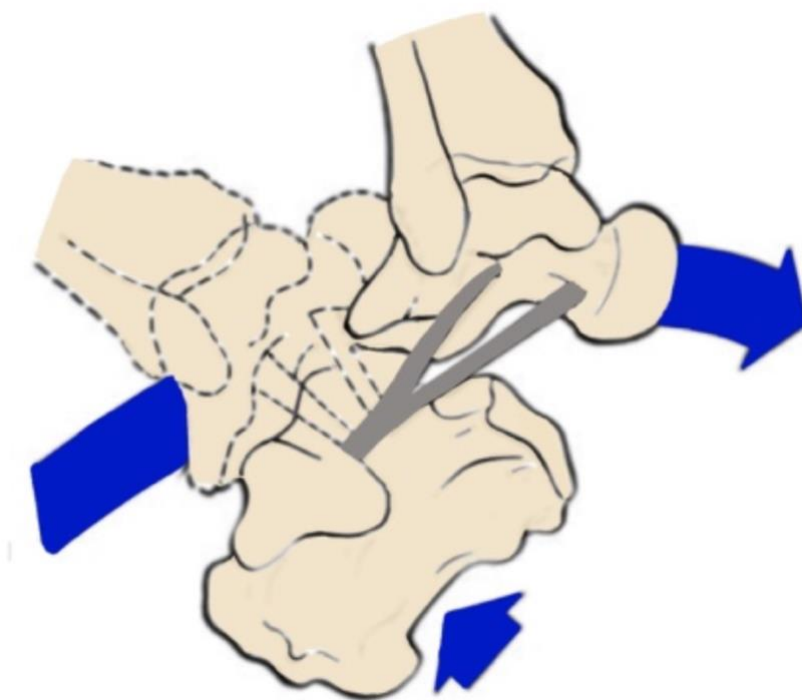
### **1.3.1. EPIDEMIOLOGIA.**

La inestabilidad subtalar como posible causa de inestabilidad del pie y tobillo fue descrita en un primer momento por Rubin and Whitten en 1962. Estos autores realizaron un estudio clínico mediante radiografía en estrés <sup>47</sup> valorando el grado de inestabilidad subastragalina que tenían pacientes con inestabilidad de tobillo.

El dolor y la inestabilidad de la articulación subtalar es una patología muy frecuente en pacientes de todas las edades y actividades, que en muchas ocasiones ni se diagnostica

ni se trata<sup>48,49</sup>. La incidencia real es desconocida ya que normalmente aparece en el marco de la inestabilidad de tobillo y varía según las series del 10 al 80%<sup>30,50,51,52,53,54</sup>.

Se estima que un 25% de las inestabilidades crónicas de tobillo asocian una inestabilidad subtalar. La caída en deportes de salto, con frenada brusca, crea un mecanismo de latigazo que favorece la rotura de los ligamentos intrínsecos subtalares<sup>51</sup>.



**Figura 10.** Mecanismo de lesión de ligamentos subtalares en deportes de salto.

Esto podría justificar los casos de fracaso en el tratamiento quirúrgico de la inestabilidad de tobillo cuando se realizan técnicas de reparación o reconstrucción aislada del ligamento peroneo astragalinoanterior (LPAA).

La inestabilidad subtalar aislada es rara. La etiología sigue siendo objeto de discusión, aunque se ha propuesto que se debe a lesiones crónicas del LPC<sup>55</sup>, LTCl y LC.

El LTCI es un ligamento muy potente y es raro que se rompa de forma aislada. Existen numerosas publicaciones realizadas con estudios en cadáver que describen la aportación que hace cada ligamento a la estabilidad de la subtalar con resultados desiguales<sup>56</sup>. Algunos autores describen que el LPC es el principal estabilizador de la articulación subtalar cuestionando el papel del LTCI<sup>48,57</sup> mientras que otros autores destacan la importancia de los ligamentos del seno y del canal del tarso en la estabilidad subtalar<sup>24,25,58</sup>, siendo el LTCI el mayor estabilizador subtalar<sup>59</sup>. En muchas ocasiones pacientes con lesiones del LPC asocian lesiones del LTCI<sup>60,61</sup>.

Heillman<sup>22</sup> considera que el mecanismo de producción sería una supinación y dorsiflexión del pie que recrea el mismo patrón de inestabilidad cuando seccionamos el LTCI y el LCF.

Pisani<sup>6</sup> propone un mecanismo de latigazo frecuente en saltadores en los que se generaría una deceleración del astrágalo en el calcáneo mientras se apoya el pie en máxima flexión dorsal.

Es además importante el ángulo que presente la faceta posterior del calcáneo ya que a menor ángulo presenta mayor posibilidad de inestabilidad<sup>43</sup>.

### **1.3.2. CLÍNICA.**

La clínica de la inestabilidad subtalar generalmente se describe como inestabilidad de tobillo, facilidad para caerse o necesidad de mirar donde se pisa. Es difícil distinguir entre la inestabilidad de la articulación del tobillo y la de la articulación subtalar ya que los síntomas son muy parecidos<sup>48, 49,51,62,63</sup>.

La mayoría de los pacientes tiene una historia de traumatismos en inversión que sucede en ambas entidades. El paciente refiere sensación de inestabilidad de tobillo (“*Rolling over*” o “*giving away*”) al caminar sobre todo por terrenos irregulares y al hacer deporte. Presentan dolor en el seno del tarso y en el lado lateral del retropié<sup>62,64</sup>. (Fig. 11)

Muchos pacientes refieren que caminan mirando el suelo, especialmente por la noche. Son pacientes que se encuentran más cómodos con zapatos de tacón u ortesis estabilizadoras, a diferencia de los enfermos con inestabilidad de tobillo que prefieren zapatos planos<sup>25,65</sup>.



**Figura 11.** Dolor a la palpación en el seno del tarso

Muchos pacientes refieren que caminan mirando el suelo, especialmente por la noche. Son pacientes que se encuentran más cómodos con zapatos de tacón u ortesis estabilizadoras, a diferencia de los enfermos con inestabilidad de tobillo que prefieren zapatos planos <sup>25,65</sup>.

En lesiones agudas, el paciente generalmente presenta tumefacción en región lateral, equímosis y dolor a la palpación en el seno del tarso. Aun embargo, son síntomas inespecíficos, muy parecidos a los del cuadro clínico que presenta la inestabilidad lateral crónica de tobillo (ILCT). El valor de los tests de estrés en el momento agudo es escaso debido al dolor y a la contractura muscular que presenta el paciente.

En ocasiones, encontramos pacientes que, tras haberse sometido a una cirugía estabilizadora de tobillo siguen con dolor y sensación de inestabilidad<sup>66</sup>.

Definir el eje de movilidad de la articulación subtalar es muy complicado clínicamente ya que existen pocas referencias anatómicas que podamos utilizar y, además, el eje de rotación de la articulación es oblicuo a los planos ortogonales anatómicos tradicionales. La movilidad subtalar combina la dorsiflexión, abducción y eversión en una dirección y la flexión plantar, aducción e inversión en la otra dirección. Estos movimientos, normalmente, los definimos como pronación y supinación respectivamente.

Clínicamente, sin embargo, definimos la movilidad de la articulación subtalar como inversión y eversión.

Las mediciones clínicas de inestabilidad generalmente no reflejan la inestabilidad subtalar aislada<sup>25</sup>. Esto es debido a que la contribución al rango de movilidad de la articulación ST se debe, en un tercio, a la movilidad de la articulación tibiotalar<sup>40</sup> por lo que su valoración es difícil de realizar en la exploración clínica habitual. Debemos saber que la posición del tobillo afecta al movimiento de la ST. Por ejemplo, la flexión dorsal del tobillo disminuye el movimiento de la articulación ST<sup>42</sup>.

Los otros componentes como el desplazamiento anteroposterior y mediolateral, no son evaluables en la exploración clínica. El rango de movilidad es de 25° a 30° de inversión y entre 5 y 10° de eversión<sup>1,37,67,68,69</sup>.

La articulación subtalar, por tanto, se debe explorar con el pie en flexión dorsal para colocar el astrágalo en la mortaja del tobillo<sup>53,62,66</sup>. Se hace rotación interna mientras se realiza estrés en varo del calcáneo. En casos de inestabilidad, se percibe un desplazamiento medial del calcáneo respecto al astrágalo o un aumento del ángulo talocalcáneo. Es positivo, cuando existe un aumento de inestabilidad, anterior y medial, así como un aumento de la inclinación del calcáneo sobre el astrágalo. La relevancia y la validez de esta maniobra, se validó, en un estudio con un modelo en cadáveres realizando la sección selectiva de ligamentosa y la medición posterior de la inestabilidad, en la que en el límite de 4 mm se obtenía un 100% de sensibilidad y una especificidad del 67%, con una excelente reproductibilidad interobservacional<sup>70</sup>.

Para Thermann<sup>66</sup>, la inestabilidad subtalar presenta un componente de rotación asociado por lo que, un test útil para valorar la IST, es el cajón anterolateral. Para su realización se combina la realización de estrés en inversión, rotación interna y adducción, aplicado en el antepie, mientras el examinador sujeta el talón en máxima dorsiflexión para bloquear la movilidad del tobillo<sup>49</sup>.

A pesar de las maniobras descritas anteriormente es difícil para un examinador detectar la inestabilidad subtalar a pesar de tener experiencia en la patología del pie y tobillo<sup>57</sup>. (Fig.12).



**Figura 12.** Maniobra de exploración de la estabilidad subtalar. Se coloca el tobillo en dorsiflexión y se estabiliza el antepié con la mano del examinador mientras se aplican maniobras de inversión y rotación interna en el calcáneo.

Otro concepto que está cambiando es el mal llamado, “síndrome del seno del tarso”. En exploraciones artroscópicas de la articulación subtalar, en pacientes diagnosticados de dicho síndrome, se han objetivado un altísimo porcentaje de lesiones ligamentarias por lo que debería incluirse dentro del grupo de las inestabilidades subtalares <sup>48,71,72</sup>. El espacio del LTCI y del LC es ocupado por tejido sinovial y fibrosis <sup>61,73</sup>.

Un test de infiltración en el seno del tarso nos puede ayudar a localizar el dolor, especialmente cuando el paciente no es capaz de hacerlo<sup>6</sup>.

Para detectar alguna deformidad estática del retropié, o de miembros inferiores (MMII), el paciente debe estar de pie<sup>4</sup>. Es importante prestar atención al alineamiento de MMII y sobre todo a la eventual existencia de una deformidad cavo varo y a la función de los peroneos <sup>38,74</sup>.

Es importante constatar si las deformidades son flexibles o rígidas. Haremos la maniobra de Silfverskiöld para excluir contractura del músculo gastronemius medial ya que en un pie equino puede acentuar la inestabilidad subtalar.

El tríceps sural tiene una ligera función de inversión cuando la articulación del tobillo está en flexión/inversión y puede cambiar a eversor cuando la articulación subtalar está en eversion<sup>25</sup>.

Realizaremos también, el test de Coleman para valorar la flexibilidad de la deformidad en varo del retropié y el papel del equinismo del primer metatarsiano en la deformidad del retropié (*“forefoot driven hindfoot deformity”*).

Recientemente, se han hecho estudios en pasillos de marcha usando fluoroscopia de alta velocidad y modelos 3D en una serie limitada de pacientes con ILCT, que demuestra que estos pacientes, durante los tests de equilibrio, desarrollan más variaciones cinemáticas en la movilidad subtalar y tibiotalar, en comparación con el grupo control. Requieren un aumento de la rotación externa tibiotalar y subtalar y de la eversión. Sorprendentemente, durante el pasillo de marcha a baja velocidad, se registró menos traslación articular comparándolos con el grupo control <sup>75</sup>.

La evaluación de la cinemática subtalar es complicada debido a la falta de referencias anatómicas externas en dicha articulación. Para minimizar errores en la toma de datos en estudios de cinemática subtalar, se ha realizado la inserción intracortical de pines que confirman que la mayor parte del movimiento de inversión y eversión del tobillo se realiza en la articulación subtalar<sup>69</sup>.

Las deformidades de MMII en el plano coronal pueden compensarse con eversión e inversión de la articulación subtalar. Esta compensación subtalar de las deformidades proximales, pueden ser la causa de la evolución de la artrosis<sup>4</sup>.

### **1.3.3. CLASIFICACIÓN.**

Uselli propone una clasificación más compresiva sobre la ILCT e IST <sup>76</sup>:

#### ***Tipo 1: Desviación axial aislada de tobillo o subtalar.***

Son deformidades a varios niveles, en enfermos que generalmente presentan deformidades congénitas o adquiridas, por ejemplo, artrosis. Es imperativo el determinar el grado de deformidad usando el CORA (Centro de Rotación Angular) descrito por Paley<sup>77</sup>.

Las alteraciones del eje hacen que la distribución de cargas sea asimétrica y pueden desencadenar una ILCT y una IST <sup>78</sup>. Una deformidad en varo secundaria a un ángulo

tibial lateral aumentado va a hacer que existan más fuerzas de compresión mediales y las estructuras laterales estén sometidas a más tensión. El eje mecánico pasa ahora más lateral al centro del astrágalo y del punto normal de contacto del talón con el suelo aumentando la potencia inversora del tendón de Aquíles (TA) y del tendón tibial anterior (TTA)<sup>25</sup>. Todo esto hace que aumente la inestabilidad lateral y el riesgo de artrosis medial. El riesgo de inestabilidad lateral es mayor con desviaciones axiales de la ST. Esto es debido a que el retropié puede ser bloqueado en supinación y así cualquier deformidad en varo sólo puede ser compensada por el tobillo. Neuropatías motoras o sensitivas hereditarias también pueden ser causa de mayor predisposición a inestabilidad subtalar<sup>43</sup>.

Las inestabilidades combinadas son raras. Es importante saber qué deformidad es debida a cada articulación. Suelen ocurrir en el contexto de deformidades congénitas o en aquellos casos adquiridos que presentan cambios degenerativos articulares establecidos

### ***Tipo 2: Inestabilidad ligamentosa.***

Se produce inestabilidad subtalar secundaria a inestabilidad de tobillo por traumatismos repetidos en inversión con el pie en flexión plantar, lo que ocasiona la progresiva rotura del ligamento talofibular anterior o peroneoastragalino anterior (LTFA o LPAA) seguido del LPC y del LC.

La inestabilidad subtalar aislada se produce por un mecanismo de deceleración brusca del astrágalo sobre el calcáneo con el pie en flexión plantar máxima. Esto causa un momento supinador en la subtalar. Meyer<sup>30</sup> mediante artrografía y Pisani<sup>6</sup> con RMN demuestran que estas fuerzas causan roturas del LTCI y del LC seguido del LPC con integridad del LPAA.

### ***Tipo 3: Inestabilidad funcional.***

Freeman<sup>79</sup> introduce el término de inestabilidad funcional en el año 1965. Existen múltiples causas, cómo los cambios en la propiocepción de las estructuras musculoligamentosas, alteración en los tiempos de activación muscular y debilidad de los músculos peroneos.

## **1.3.4. DIAGNÓSTICO.**

### **1.3.4.1. Exploración clínica.**

En la práctica ortopédica, una detallada exploración clínica nos va a orientar sobre la patología a la que nos enfrentamos y a la necesidad de pedir otras pruebas diagnósticas que nos confirmen el diagnóstico de presunción.

La anamnesis nos va a dar información sobre el mecanismo de producción y la clínica que presenta el paciente.

El reconocimiento de la inestabilidad de la articulación subastragalina como una causa identificable y tratable de dolor de tobillo requiere una investigación clínica atenta<sup>4</sup>.

En cuanto a la exploración clínica, ya hemos visto que es muy parecida a la que realizamos en la inestabilidad de tobillo. Debemos realizar siempre un cajón anterolateral, combinando estrés en inversión, rotación interna y adducción aplicado en el antepie, mientras sujetamos el talón en máxima dorsiflexión para bloquear la movilidad del tobillo<sup>66</sup>.

Es fundamental realizar una exploración completa de los miembros inferiores, así como un análisis visual de la marcha.

Existe poco consenso en la literatura de los últimos 10 años acerca del diagnóstico y el tratamiento de la IST. La mayor parte de las publicaciones al respecto, son series de casos, lo que no nos permite obtener conclusiones con un alto grado de evidencia científica<sup>52</sup>.

Existen grandes discrepancias a la hora de medir el rango de movilidad de la articulación subtalar. Hay estudios que miden este rango de movilidad mediante el uso de un goniómetro y el uso de TAC, obteniendo mediante goniómetro un ROM de 46°( 39-54°) y de 11°( 5-26°) mediante TAC que los autores explican, por la movilidad de las partes blandas y el ligamento talocrural <sup>41</sup>.

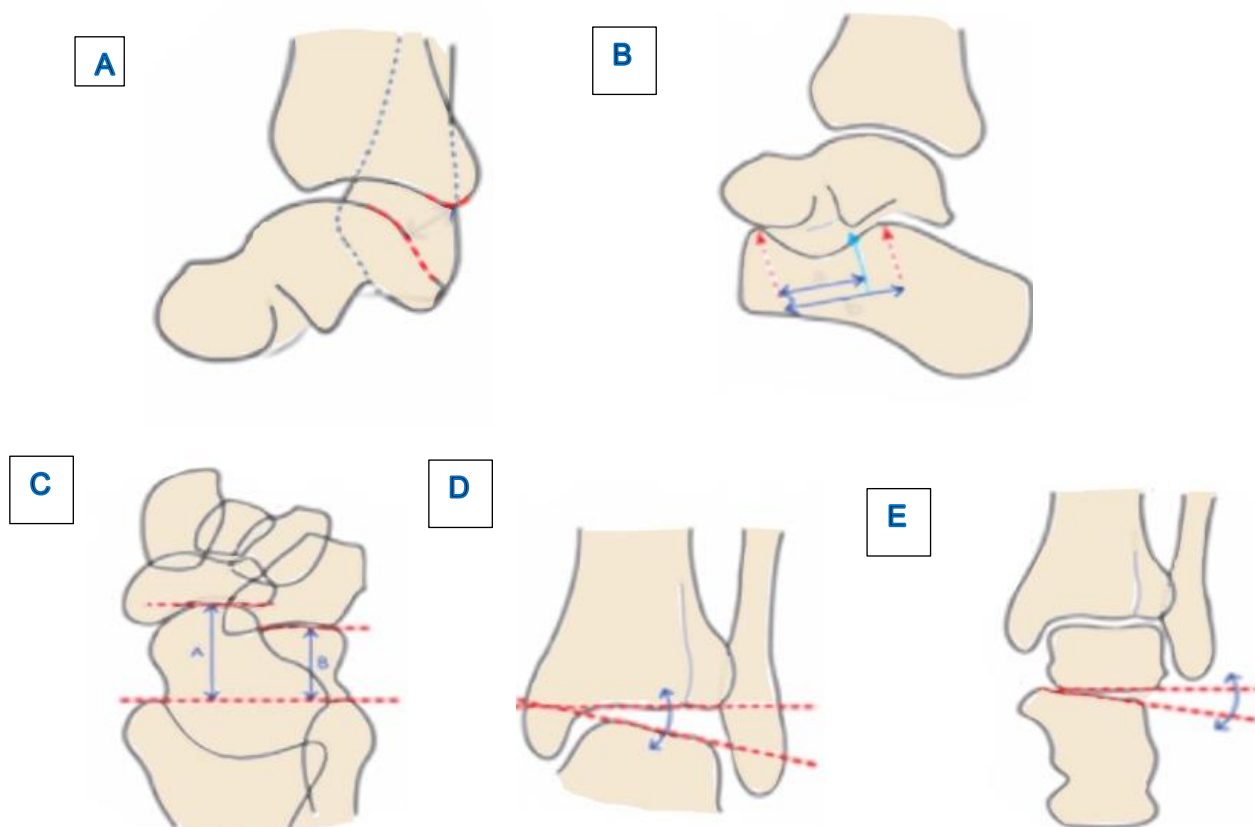
### 1.3.4.2. Métodos radiológicos.

A día de hoy, y con los métodos diagnósticos de imagen actuales, no somos capaces de predecir de manera confiable la inestabilidad de la articulación subastragalina. La distinción entre la inestabilidad crónica lateral del tobillo y la inestabilidad de la articulación subastragalina sigue siendo un desafío<sup>4</sup>.

#### 1.3.4.2.1. Radiología Convencional.

Desde el punto de vista radiológico la articulación subtalar es difícil de evaluar.

Siempre deberán realizarse radiografías bilaterales en carga dorsoplantar de ambos pies y anteroposterior y lateral en carga de ambos tobillos donde valoraremos la presencia de avulsiones por lesiones ligamentosas y desaxaciones<sup>53</sup>. Son de utilidad las proyecciones de Saltzman<sup>74</sup> para valorar la deformidad en varo o valgo inframaleolar. Los métodos de medición más usados en los diferentes estudios se presentan en la siguiente figura <sup>(4)</sup>. (Fig. 13)



**Figura 15:**

- A: Traslación talar anterior en proyección lateral: Distancia entre el borde posterior de la tibia y superficie talar
- B: Desplazamiento subtalar en proyección lateral: Posición ápex inferior talar respecto del seno del tarso
- C: Posición talar anterior en proyección dorsoplantar
- D: Desplazamiento tibiotalar en proyección anteroposterior de tobillo. Angulo entre plafón tibial y cuerpo de astrágalo
- E: Ángulo entre el astrágalo y el calcáneo en proyección de Broden 30°/40°

Es importante realizar una correcta lectura radiológica<sup>5</sup>.

En la proyección en carga anteroposterior y lateral de tobillo, una diferencia de altura en los tobillos sugiere una relativa pronación (en el caso de menos altura) o supinación (en el de mayor altura). Cuando existe una desaxación en valgo, ésta se combina con una rotación interna, lo que se traduce en que el área de superposición entre la tibia y el peroné está reducido.(Tabla 1) <sup>5</sup>.

	<b>STI PRONACION</b>	<b>STI SUPINACION</b>
<b>RX LATERAL</b>	Seno tarso cerrado	Seno tarso abierto
	La porción anterior del proceso lateral del talus contacta con el suelo del sinus	El canal del tarso de se ve como un agujero negro (rot. int de la pierna respecto al pie)
	Aumento superposición entre la cabeza talar y el proceso anterior del calcáneo	Aumento superposición entre la cabeza talar y el proceso anterior del calcáneo
	La SA anterior no se ve clara	Proyección ortogonal de ST
	El peroné se sitúa cerca de la línea media tibial	El peroné se sitúa posterior a la tibia
<b>RX DORSOPLANTAR</b>	Aumento ángulo de divergencia talocalcáneo	Disminución del ángulo de divergencia talo calcáneo
	V entre proceso anterior del astrágalo y el calcáneo	Línea de Chopart con forma de interrogación o L
		Signo del cuboides (luxación medial del cuboides)

**Tabla 1.** Signos radiológicos que nos orientan acerca de la posición del retropié.

Existen otras proyecciones más específicas cómo son las descritas por Harris-Beth, Broden y la proyección lateral oblicua axial. Cobey describió una proyección de alineamiento del retropié que fue modificada por Saltzman y el-Khoury en 1995 <sup>74</sup>, que mide la perpendicular entre el eje medio de la tibia y el punto más inferior del calcáneo.

También se han descrito radiografías en estrés para definir la inestabilidad subtalar, pero el movimiento ST es complejo, ya que se da en los 3 planos del espacio y el resultado dependerá de la dirección en la que se haga la radiografía, por lo que su uso es muy controvertido y probablemente de poca utilidad<sup>80</sup>.

Se han definido como criterios de estabilidad subtalar <sup>48</sup>: un ángulo talocalcáneo menor de 10°, una báscula talocalcánea menor de 5° y un *offset* medial talar menor de 5° medidos en una proyección de Broden al aplicar una fuerza en varo del retropié de unos 150 N.

Muchos autores han descrito distintas proyecciones y valores de desplazamiento para intentar diagnosticar la IST. En ocasiones las proyecciones no son sencillas de realizar y requieren unos técnicos entrenados. (Fig. 14)



**Figura 14:** Proyección subtalar de Broden en estrés

Zwipp<sup>38</sup> en 1982, publica un estudio en el que se mide el desplazamiento ST en estudios radiográficos en estrés en varo, en pacientes a los que se les realiza una intervención quirúrgica. Un test positivo se asocia a un 100% de lesiones de ILCT.

El empleo de un sistema de aplicación de fuerza, permite estandarizar las condiciones en las que se hace la exploración, disminuyendo la variabilidad entre examinadores. El sistema TELOS (METAX Inc, Hunger Obbornhofen, Germany) que se usó para medir la ILCT, también es de utilidad en la IST.

Frey<sup>71</sup> sin embargo no está de acuerdo con que el aumento del estrés en varo se produzca inestabilidad subtalar ya que esta articulación presenta un movimiento de tornillo (de deslizamiento y rotación).

Therman<sup>66</sup> coloca el pie en posición neutra y en 30° de rotación interna. El tubo se coloca en 45° caudocraneal y se realiza estrés en varo en el calcáneo. La inestabilidad ST se diagnostica cuando existe un desplazamiento medial de más de 5 mm del calcáneo respecto al astrágalo y una inclinación talocalcanea mayor de 5°. En inestabilidades unilaterales la comparación con el lado contralateral permite la exclusión de laxitud ligamentosa así como la existencia de falsos positivos<sup>81,82</sup>.

Kato<sup>43</sup> realiza radiografías del retropié y mide el desplazamiento anterior del calcáneo en relación con el astrágalo al aplicarle un cajón anterior. Un desplazamiento superior o igual a 4mm se considera diagnóstico de IST. El desplazamiento medio fue de más de 5 mm en los pacientes con IST y de 2 mm en los casos de ILCT.

Heilman<sup>22</sup> aplica un cajón anterior con el tobillo en posición de máxima dorsiflexión y supinación del pie, como el que realizamos en la exploración clínica y mide la posición relativa del proceso lateral del astrágalo respecto a la faceta posterior del calcáneo viendo un incremento tras la sección del LPC y el LTCl. Al seccionar el LPC se produce una separación de la faceta posterior de 5mm que aumenta hasta 7 mm al seccionar el LTCl.

Ishii<sup>53</sup>, aplicando supinación y dorsiflexión máxima obtiene correlación entre el desplazamiento articular en los pacientes con esguinces de repetición.

Yamamoto<sup>54</sup> prefiere la medición del ángulo de separación de la faceta posterior utilizando un aparato TELOS cuando hace los estudios en estrés. Realizan la medición del ángulo de inclinación ST (*subtalar tilt*) en pacientes con lesión ligamentosa aguda,

con lesión crónica y en un grupo control asintomático observando el aumento de inestabilidad subtalar en pacientes con inestabilidad crónica de tobillo.

Lee<sup>83</sup> mide la rotación talar en radiografías en estrés manuales en pacientes con lesión del LPC y del LPAA y compara 3 métodos de maniobras de estrés de IST. Las radiografías en las que se realiza un cajón anterior y supinación muestran mayor validez y confiabilidad comparándolo con el cajón anterior y la inclinación talar y nos ayuda al diagnóstico de la inestabilidad subtalar asociada ya que demostró que en los pacientes con lesión asociada del LC se aumentaba mucho la rotación talar.

Meyer<sup>30</sup> y Sugimoto<sup>84,85</sup> estudian una combinación de radiografías en estrés, combinando las proyecciones talocrurales con cajón anterior e inclinación talar y la artrografía subtalar para distinguir 4 tipos de lesiones en pacientes con esguines de tobillo. Cuando existe una fuga del contraste en la cápsula lateral, corresponde a una lesión del LPC y una fuga del seno del tarso se corresponde con una lesión del LTCI. Estas pruebas diagnósticas tienen una sensibilidad y una especificidad superior al 60%<sup>60</sup>.

La tomosíntesis mejora la lectura de determinadas referencias para la cuantificación de la inestabilidad<sup>59,86</sup>.

Michels<sup>52</sup>, en su revisión, recomienda la medición de la rotación talar<sup>83</sup> en vez de la medición de la inclinación talar en la proyección de Broden ya que, para algunos autores<sup>87</sup>, esta proyección no es útil. En un estudio realizado mediante TAC helicoidal para evaluar esta proyección, se objetiva que el desplazamiento observado en la radiografía, no se observa en la TAC, por lo que concluyen que la proyección de Broden no es útil para valorar la inestabilidad subtalar. Para Louwerens<sup>88</sup>, no existe correlación entre la báscula subtalar y la sintomatología de inestabilidad y para Harper<sup>80</sup> existe el mismo desplazamiento en individuos asintomáticos y sintomáticos.

#### **1.3.4.2.2. Tomografía Axial Computerizada (TAC).**

El papel de la Tomografía Axial Computerizada (TAC) está en discusión por la imposibilidad que presenta esta prueba para visualizar los ligamentos, aunque existen trabajos que la sitúan por delante de las proyecciones radiológicas en el diagnóstico de la inestabilidad subtalar<sup>89</sup>. (Fig. 15)

**Figura 15:** TAC A: Corte axial con ventana ósea no se identifican lesiones. B: Corte axial con ventana de partes blandas con poca definición de estructuras subtalares y

**A**



**B**



El rango de movilidad subtalar medido en estudios por la TAC es menor que las mediciones clínicas o radiológicas<sup>90</sup>.

Posiblemente en los próximos años aumente su uso con el empleo de la TAC en carga. Un estudio muy reciente<sup>91</sup>, que utiliza un método original para medir aisladamente el rango de movilidad de la articulación subtalar en pacientes con inestabilidad crónica de tobillo, establece que la inestabilidad subtalar se define como un aumento de rotación a través de un eje helicoidal del calcáneo sobre el astrágalo del pie sintomático, en comparación con el pie sano.

### 1.3.4.2.3. Ecografía.

Puede ser útil la realización de una ecografía haciendo maniobras de estrés de la articulación subtalar, aunque la utilidad dependerá sobre todo de la experiencia del examinador<sup>25</sup>. (Fig.18) y (Fig. 19)

Waldebecker<sup>92</sup> es el primer autor que publica resultados sobre el uso de la ecografía en la inestabilidad subtalar. Mide el ángulo fibulo-troclear en posición neutra y en varo. Encuentra una elevada correlación entre los hallazgos ecográficos y los radiológicos con la ventaja del primero respecto al segundo del menor coste y el no tener exposición a radiaciones ionizantes.

Hacen falta, sin embargo, más estudios para ver mejores planos de corte y correlación con los hallazgos de cirugía y otros estudios que nos puedan evitar la infravaloración de las lesiones de LTFA, LCF<sup>93</sup> y LTCI<sup>73,92</sup>.

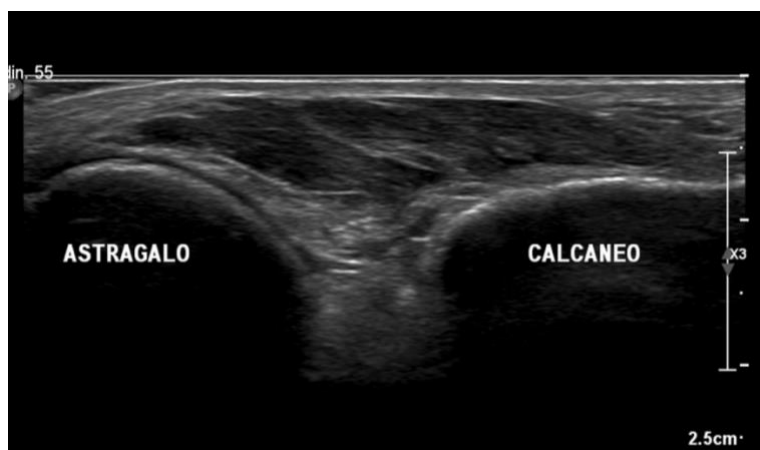


Figura18: Eco subtalar normal

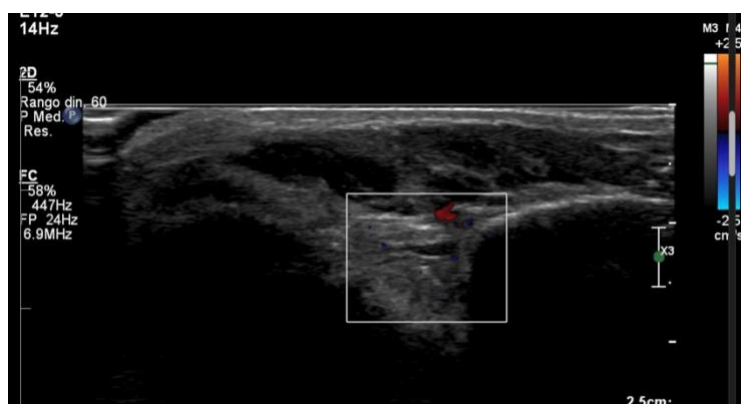
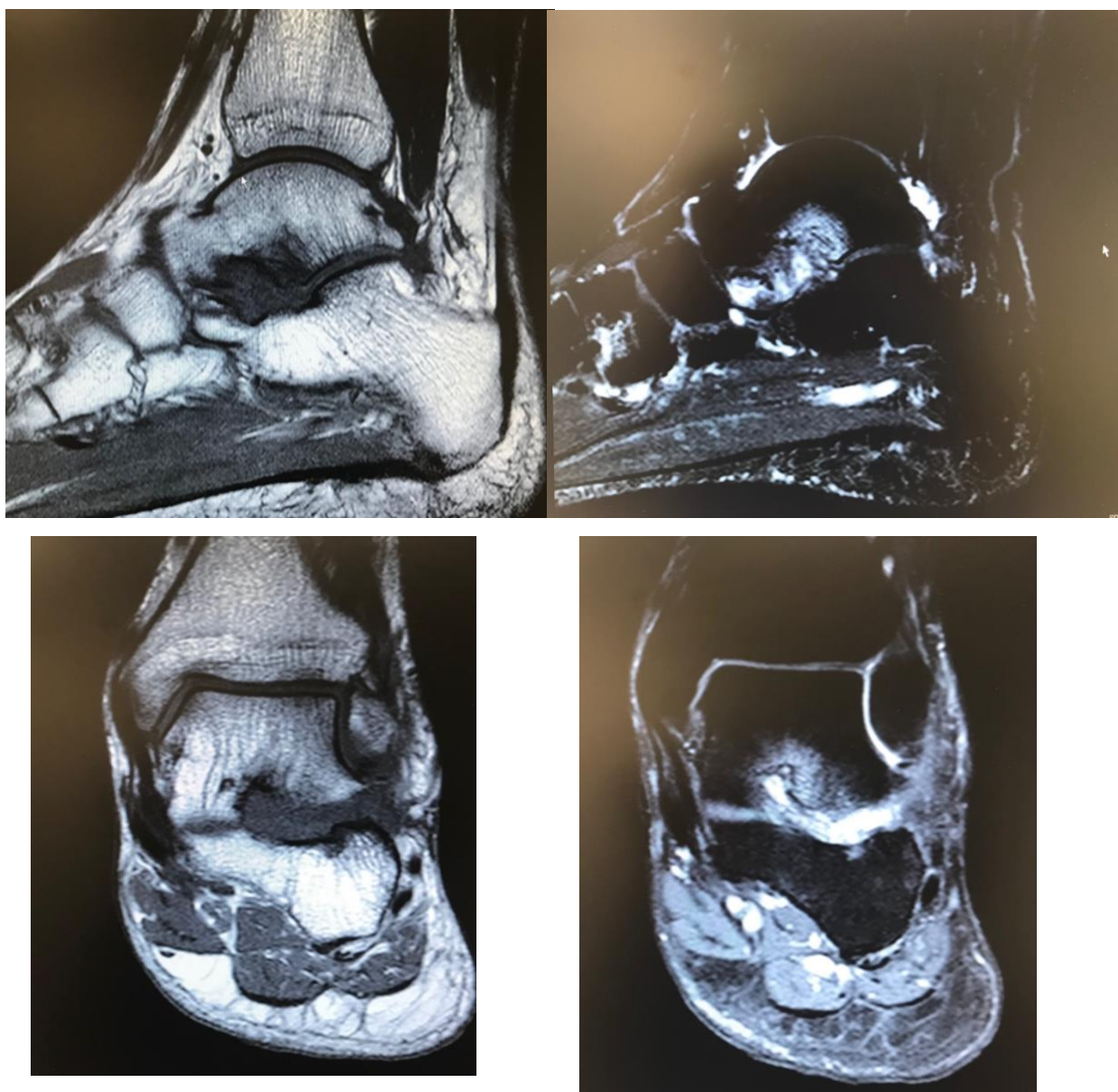


Figura 19: Eco Doppler subtalar norma

#### **1.3.4.2.4. Resonancia Magnética Nuclear (RMN).**

Con el desarrollo de los métodos diagnósticos cobra gran auge el papel de la RMN<sup>94</sup>. (Fig. 20-23)

Mabit<sup>27</sup> encuentra gran correlación entre ligamentos seccionados en un estudio en cadaver y como aparecen en la RMN.



**Figura 20-23.** Secuencia T1 y T2 sagital y coronal de paciente con rotura de ligamentos subtalares

Tochigi<sup>95</sup> correlaciona lesiones agudas del LTCl y del LPC con la persistencia de dolor residual crónico a los 6-28 meses de un traumatismo de torsión del pie.

El uso de la RMN, podrá ser un factor pronóstico a la hora de predecir una IST y permitirá un tratamiento precoz de la misma<sup>82</sup>. Sin embargo, hay autores a los que no les parece de gran utilidad el uso de la RMN para la toma de decisión sobre un tratamiento quirúrgico por la menor sensibilidad frente a la visión directa de la artroscopia<sup>81</sup>.

Así, Lee<sup>73</sup>, es capaz de detectar lesiones del LC, pero no del LTCl en RMN, que si confirma en artroscopia.

Seebauer<sup>96</sup> utiliza una RM de 3.0 tesla de gran resolución y secuencias D isotrópicas, para evaluar los ligamentos con detalle mediante un dispositivo que realiza estrés de tobillo y que confirma, el aumento de movilidad talar y subtalar midiendo diferentes parámetros. Valora la posición del hueso y de los ligamentos talaes y subtalaes (LTCA, LTO, LTCl, LPC, LPPA).

Comparan pacientes con clínica de inestabilidad de tobillo y encuentran diferencias significativas en el test de inclinación subtalar (*subtalar tilt test*), en la traslación calcánea anterior, en la traslación medial talocalcanea y en la disminución en los diámetros del LPC<sup>97</sup>.

Sin embargo, la lesión del LPC, no es fácil de diagnosticar en la RMN ya que, en ocasiones, lo único que vemos son cambios en la vaina de los peroneos<sup>60</sup>.

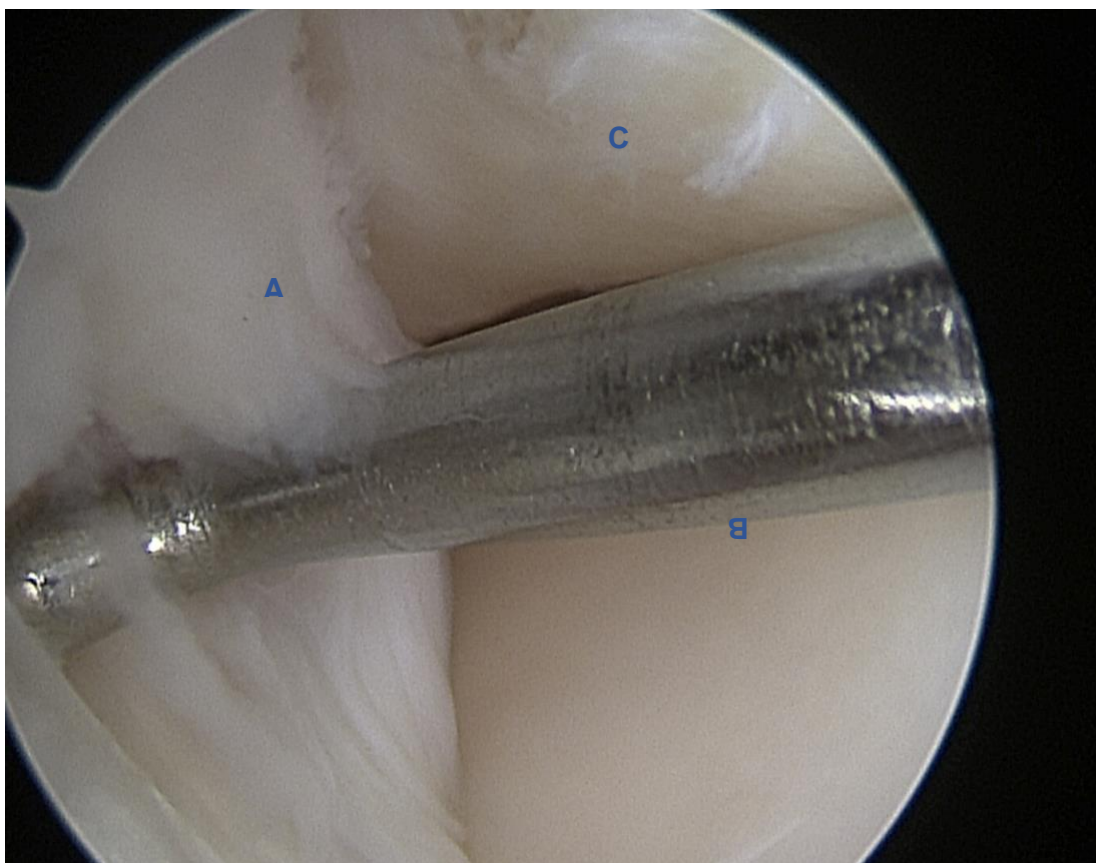
#### **1.3.4.2.4. Artroscopia.**

Frey<sup>71</sup> estableció, que el mejor modo para diagnosticar la inestabilidad subtalar, era la utilización de la artroscopia. Realizaron 49 procedimientos artroscópicos de la articulación subtalar con el diagnóstico de "*síndrome del seno del tarso*" en las que objetivaron un 74% de lesiones del LTCl. De éstos, sólo uno tenía inestabilidad diagnosticada mediante radiografías en estrés prequirúrgicas.

Oloff<sup>98</sup> objetiva lesiones de LTCl en 29 pacientes que habían sido diagnosticados de síndrome del seno del tarso.

Lee<sup>73</sup> también obtiene un 88% de lesiones del LTCI en pacientes diagnosticados de síndrome del seno del tarso a los que se les realiza artroscopia subtalar.

La artroscopia subtalar se indica muy raramente como procedimiento aislado<sup>71,72,98</sup>, aunque puede ser de gran utilidad en la toma de decisión antes de realizar una reconstrucción ligamentosa<sup>72,73,81,85,99</sup>. (Fig.24)



**Figura 24.** Imagen artroscópica desde los portales laterales. A. LTCI. B. Faceta del calcáneo de la porción anterior de la ST posterior. C. Faceta del astrágalo de la porción anterior de la ST posterior.

En definitiva, el diagnóstico de la IST, sigue siendo un reto para el cirujano ortopédico y debe basarse, por tanto, en algoritmos que incluyan parámetros clínicos, funcionales y de imagen para poder escoger el mejor tratamiento posible<sup>64</sup>.

Mittlemeier<sup>64</sup> propone que el diagnóstico de inestabilidad subtalar (IST) puede realizarse, cuando se cumplen 4 de estos criterios:

1. Esguinces de tobillo /retropié recurrente.
2. Síndrome del seno del tarso y sensación de debilidad.
3. Sensación de laxitud o “*giving way*” y caídas.
4. Inestabilidad subtalar en exploración clínica.
5. Inestabilidad subtalar en radiografías en estrés.

Actualmente, al igual que en la inestabilidad de tobillo, se recomienda la realización de radiografías en estrés (con cajón anterior y supinación) y RMN para el diagnóstico de inestabilidad subtalar y se plantea la utilidad de la radioscopia intraoperatoria y de la artroscopia en caso de decidir un tratamiento quirúrgico de la inestabilidad<sup>81,82,85</sup>.

### **1.3.5. TRATAMIENTO.**

La inestabilidad anterolateral rotatoria (IALT) del tobillo y de la articulación subtalar (IST), es muy limitante tanto para las actividades de la vida diaria como, sobre todo, para la práctica deportiva. Se han descrito más de 50 técnicas quirúrgicas en la literatura para tratar la IALT del tobillo y de la articulación subtalar.

Así como está bien establecida la asociación de la inestabilidad de tobillo con la lesión del LPAA y con el LPC, existe una falta de acuerdo entre la asociación de la IST y la lesión de los ligamentos subtalares<sup>12</sup>.

La estructura y función de los ligamentos subtalares sigue siendo controvertida, tanto por las diferencias subjetivas al entender sus diferencias anatómicas y variaciones en la forma<sup>49</sup> como para definir cuáles son los ligamentos más importantes en la estabilización de la articulación subtalar. Algunos autores consideran que los mayores estabilizadores de la ASA son el LTCl y el LC mientras que otros autores defienden que es el LPC<sup>21,57,59,63,67,100,101</sup>.

Knudson<sup>20</sup> realiza estudios en cadáver y encuentra un aumento de la inestabilidad subtalar sobre todo en supinación tras la sección del LTCl, pero no en pronación. Tochigi<sup>44</sup> objetiva aumento de aducción y rotación del tobillo, tras la sección del LTCl. La sección combinada del LPAA y del LTCl, provoca inestabilidad anterolateral rotatoria del tobillo en condiciones de carga axial.

### **1.3.5.1. TRATAMIENTO CONSERVADOR.**

El tratamiento conservador es muy parecido al de la inestabilidad de tobillo, ya que los estabilizadores del tobillo afectan también a la articulación subtalar y muchas veces coexisten ambas.

En lesiones agudas, se colocará una férula posterior de tobillo asociada a descarga dependiendo del edema y la inflamación que tengamos. Como en la inestabilidad de tobillo, realizaremos inicialmente un tratamiento conservador que incluirá el tratamiento rehabilitador<sup>63</sup>.

Se recomiendan ejercicios de estiramientos del tendón de Aquiles y gemelos que mejoran la posición del retropié. Son importantes los ejercicios de propiocepción que prevengan la rigidez del retropié y el uso de ortesis o de zapatos con talón o botas reducen el dolor <sup>28,102</sup>.

Los músculos peroneos trabajan como pronadores del pie y estabilizan el tobillo en traumatismos por inversión, por lo que es importante trabajar en su propiocepción. En casos de deformidades de pies cavos varos puede ser necesario el uso de plantillas correctoras.

El tratamiento de elección es el tratamiento funcional con ortésis que limite la supinación y el apoyo según tolerancia. Mann<sup>103</sup> propone una ortesis termomoldeada a medida. La utilidad de métodos de inmovilización semirígidos se ha demostrado en estudios biomecánicos. Choisne<sup>65</sup> realizó un estudio en cadaver en el que medía la cinemática de la articulación subtalar una vez seccionados el LPC, el LTCl y el LC y la comparaba tras el uso de una ortesis. Concluye que la ortesis, limita la inversión subtalar de forma eficaz por lo que recomienda su uso. Sin embargo, la ortesis no ha demostrado su utilidad en la restricción de la rotación interna o externa<sup>100</sup>.

### **1.3.5.1. TRATAMIENTO QUIRÚRGICO.**

Si el tratamiento conservador fracasa y el paciente continúa con sensación de inestabilidad y dolor deberemos optar por el tratamiento quirúrgico.

El tratamiento quirúrgico estaría indicado, como en el caso de la inestabilidad de tobillo, si después de seis meses con tratamiento conservador persisten los síntomas.

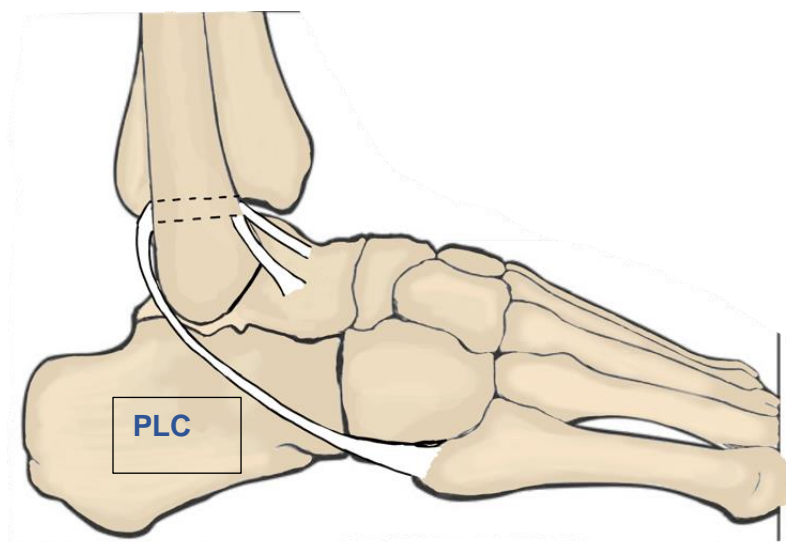
Al igual que en el tratamiento de la inestabilidad del tobillo, la tendencia actual es hacia la realización de técnicas quirúrgicas cada vez más anatómicas que restauren la biomecánica de la articulación subastragalina (ASA), frente a las no anatómicas. Algunas de estas técnicas estabilizan tanto el tobillo como la articulación subtalar. Una de las causas de malos resultados en el tratamiento de la inestabilidad crónica de tobillo es que el Bröstrom artroscópico, uno de los tratamientos más utilizados actualmente, es insuficiente, al no reparar el LPC y no estabilizar secundariamente la ASA<sup>67</sup>.

#### **1.3.5.1.1. TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN NO ANATÓMICAS**

Las primeras técnicas descritas para el tratamiento de la ILCT son las técnicas de reconstrucción no anatómicas. Este grupo de técnicas se basan en trasladar un estabilizador dinámico del tobillo, el *peroneus brevis* (PB) o Peroneo lateral corto (PLC), manteniendo su inserción distal, a una nueva posición, no anatómica, para compensar el déficit de los ligamentos lesionados haciendo un efecto de tenodesis a través de las articulaciones tibiotalar y subastragalina.

##### **Técnica de Watson-Jones (1940)<sup>104</sup>**

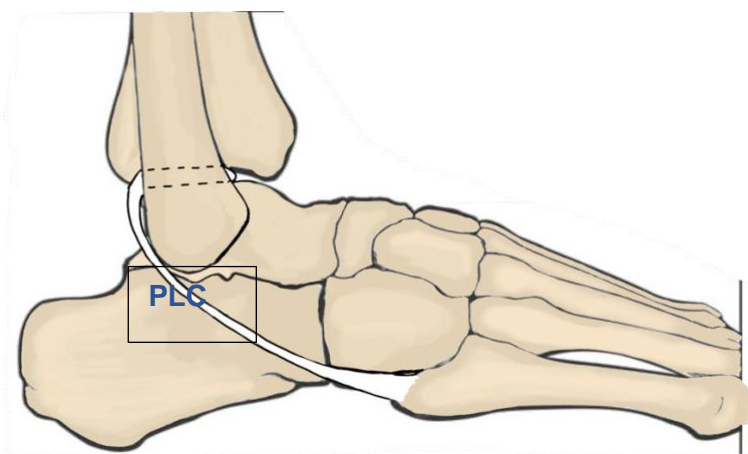
Se utiliza como injerto el Peroneo lateral corto (PLC) que se tuneliza a través del maléolo externo en dirección postero-anterior y fijándolo al cuello del astrágalo para estabilizar el tobillo y en parte la articulación subtalar. (Fig.25)



**Figura 25:** Esquema reconstrucción con *peroneus brevis* según la técnica de Watson-Jones. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

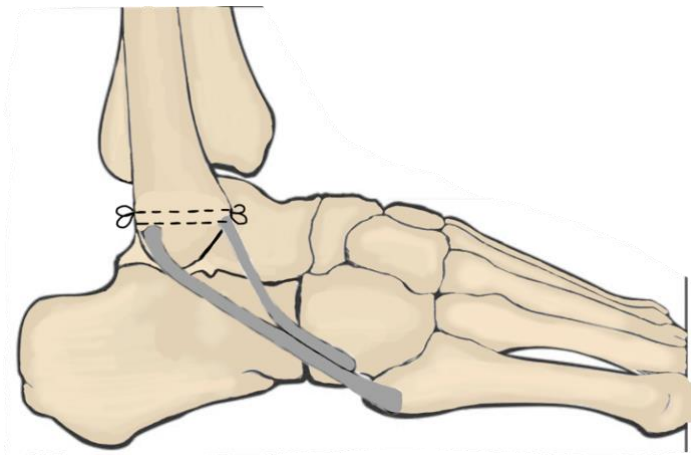
#### Técnica de Evans<sup>105</sup> (1953)

Evans describe una técnica donde simplifica este proceso al pasar únicamente el PB por un túnel óseo oblicuo en el peroné distal con una dirección de anteroinferior a posterosuperior. (Fig.26)



**Figura 26.** Esquema reconstrucción con *peroneus brevis* según la técnica de Evans. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá.

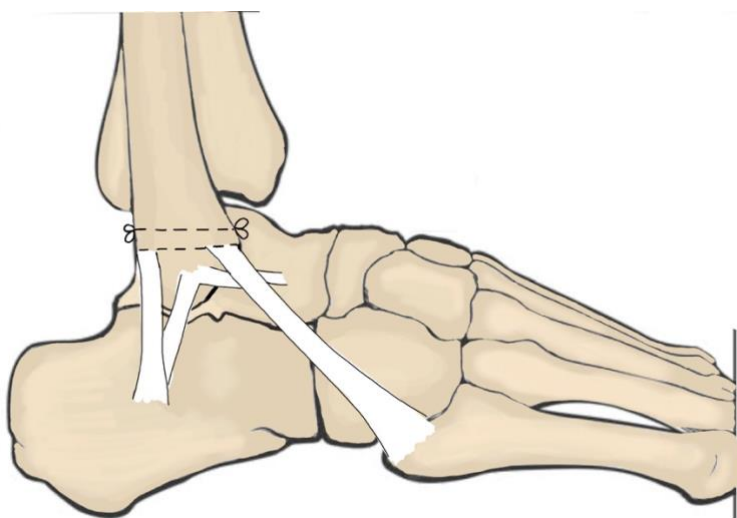
**Técnica de Castaing**<sup>106</sup> (1961) El PB (o una sección longitudinal del tendón) se pasaba de anterior a posterior a través de un túnel óseo con una dirección intermedia entre los trayectos anatómicos del LPAA y LPC, para luego suturarse sobre sí mismo. (Fig.27)



**Figura 27.** Esquema reconstrucción con *peroneus brevis* según la técnica de Castaigne. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

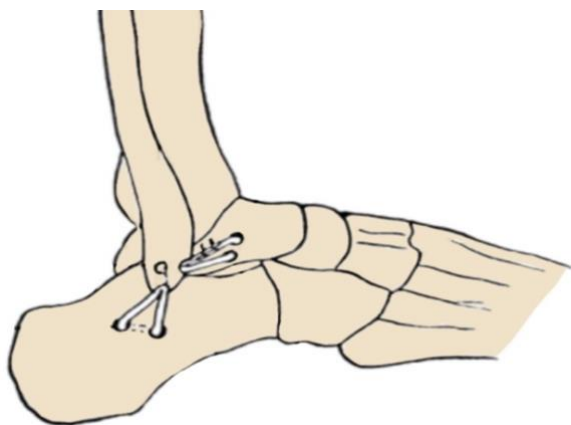
#### **Técnica de Chrisman y Snook**<sup>50</sup> (1969)

Basada en la técnica original de Emslie<sup>107</sup>. Utiliza como plastia el hemitendón del PB que se transfiere desde su inserción, a través de un túnel en el maléolo externo, a otro túnel en el calcáneo y se fija al astrágalo. Estas modificaciones intentan reproducir un recorrido de la plastia más anatómico. (Figura 25). Es curioso que la técnica original de Emslie utilizaba injerto libre o fascia lata en lugar del PB. (Fig. 28)



**Figura 28.** Esquema reconstrucción con *peroneus brevis* según la técnica de Chrisman-Snook. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies.

Es curioso que la técnica original de **Elmslie** utilizaba injerto libre o fascia lata en lugar del PB. (Fig. 28)

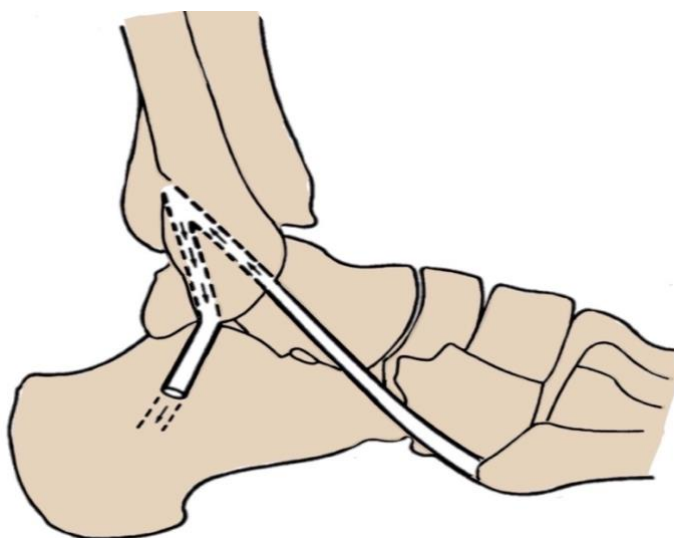


**Figura 28:** Técnica original de Elmslie con utilización de aloinjerto. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

### Técnica de Larsen

Larsen<sup>108</sup> diseña una reconstrucción ligamentosa específicamente diseñada para el tratamiento de la inestabilidad subtalar.

Utiliza todo el PB y requiere al menos 16 cm para la reconstrucción. Realiza dos túneles en el peroné (el primero en el origen de la inserción del LPAA y el segundo en el origen del LPC (Fig..29). Una vez pasado el tendón se ancla mediante una grapa en el calcáneo como fue descrita en un primer momento o mediante dispositivos de anclaje que facilitan

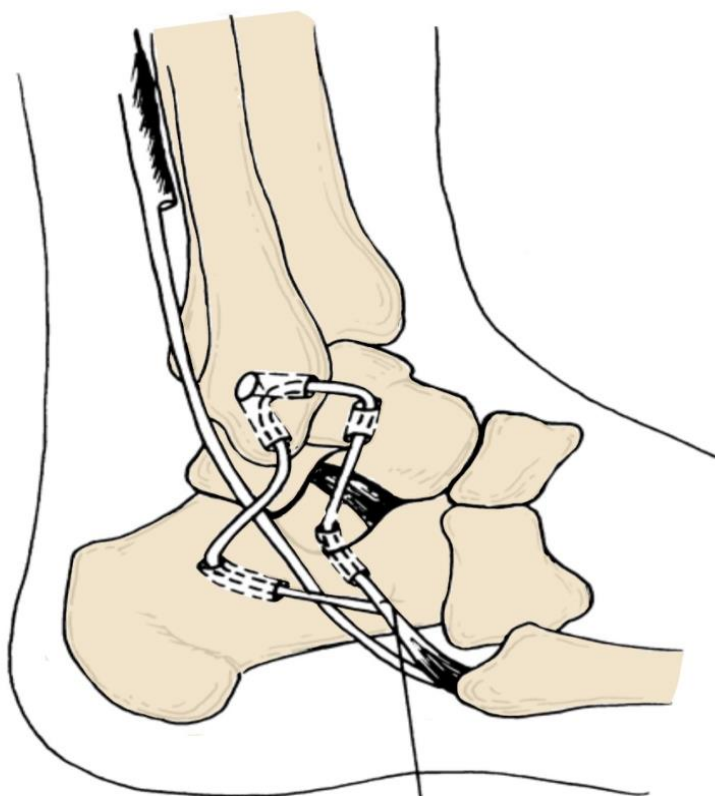


**Figura 29:** Esquema de técnica de reconstrucción de Larsen. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

## Plastias triligamentosas

Descrita por diferentes autores. Intenta reconstruir el LPC, el LPAA y el LC para lo que utilizan diferentes plastias como el PB entero<sup>109</sup>, medio PB<sup>103</sup>, el tendón del Plantar corto<sup>109</sup>, tendón del Aquiles<sup>110</sup> o semitendinoso<sup>103</sup> (Fig.30)

Son técnicas muy demandantes.

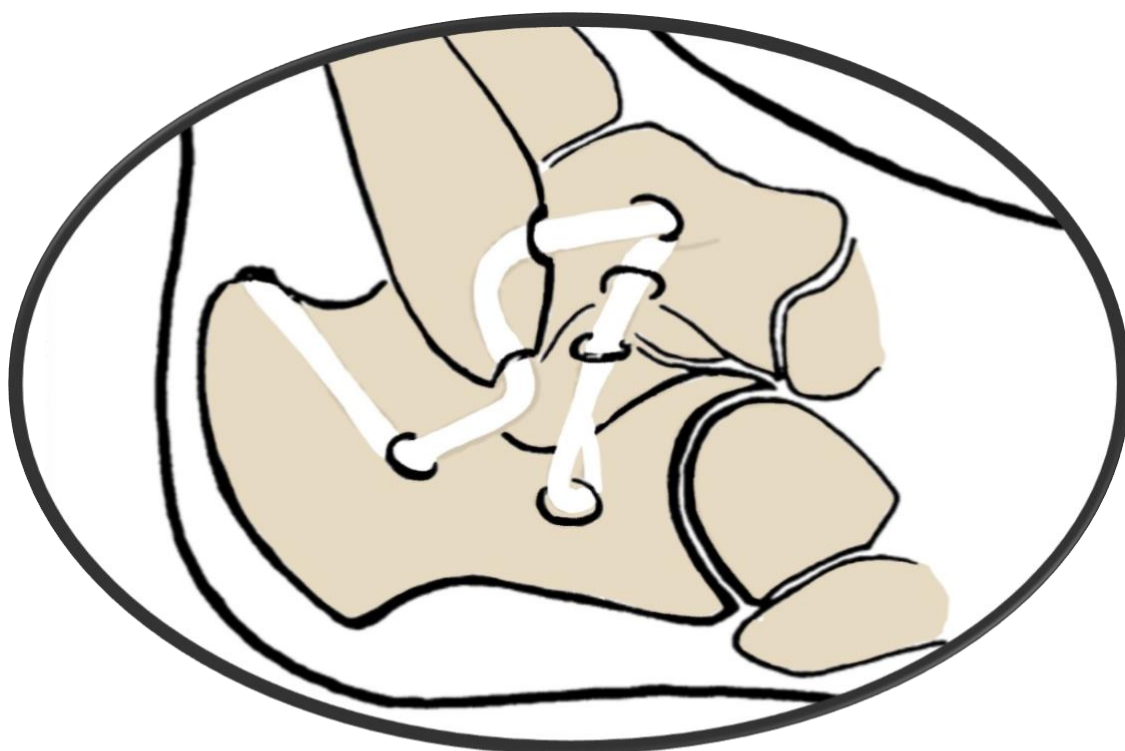


**Figura 30.** Esquema plastia triligamentosa de Mann. Utiliza medio PB y de forma retrógrada pasa por túneles realizados en región lateral de calcáneo, cuello de astrágalo, peroné y región posterior de calcáneo. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

### Técnica de Schon<sup>109</sup> (1991)

Intenta reconstruir el LC sin limitar la movilidad de otras estructuras.

Se recomienda en casos de inestabilidad moderada. Se usa medio PB y se realizan túneles en astrágalo y en calcáneo recreando la anatomía del LC. (Fig.31)

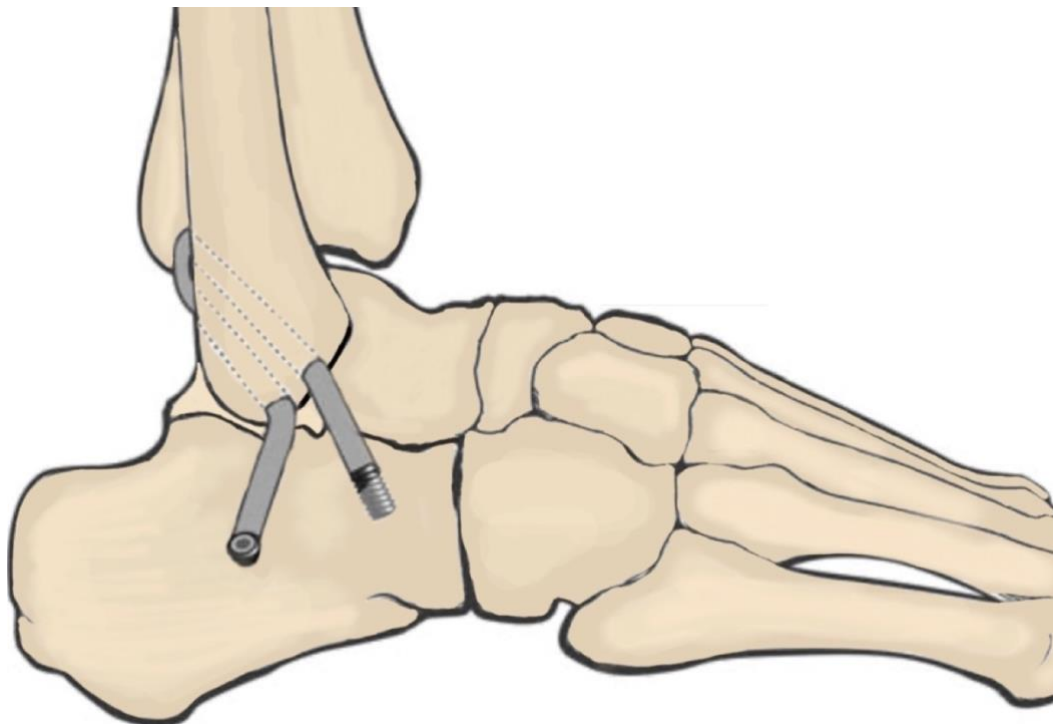


**Figura 31:** Esquema técnica de Schon. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

### **Técnica de Jung (2015)**

Jung<sup>121</sup> publica los primeros resultados clínicos utilizando una técnica con cirugía abierta no anatómica. Tuneliza el peroné y fija una plastia (aloinjerto de semitendinoso) con un tornillo de tenodesis al astrágalo, para intentar estabilizar la parte anterior, otro tornillo de tenodesis al calcáneo en la zona de inserción del LPC para estabilizar la ST posterior y otro tornillo interferencial para estabilizar la plastia en el peroné y evitar fracturas de éste.

Apunta que lo ideal sería una reconstrucción anatómica del LPC, del LTCl y del LC aunque habla de la dificultad técnica y la escasa reproducibilidad en la literatura. (Fig. 32)



**Figura 32.** Esquema reconstrucción mediante la técnica de Jung. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

Este grupo de técnicas, al no seguir el trayecto anatómico original, pueden alterar la cinemática articular. Esto provoca una disminución de la flexibilidad y de la movilidad de la articulación subastragalina pudiendo derivar en artrosis a medio-largo plazo <sup>63,84,111</sup>.

Presentan además un tiempo alargado de reacción de los peroneos y cambios en la distribución de presión tanto en apoyo estático como con la deambulación <sup>111,112</sup>.

Las técnicas no anatómicas pueden mejorar el dolor y la sensación de inestabilidad, pero a expensas de restringir la movilidad tanto del tobillo como de la ASA. <sup>62,108,113</sup>

Estudios a largo plazo muestran un agravamiento de estos problemas y una reducción de la satisfacción inicial del paciente <sup>114</sup>.

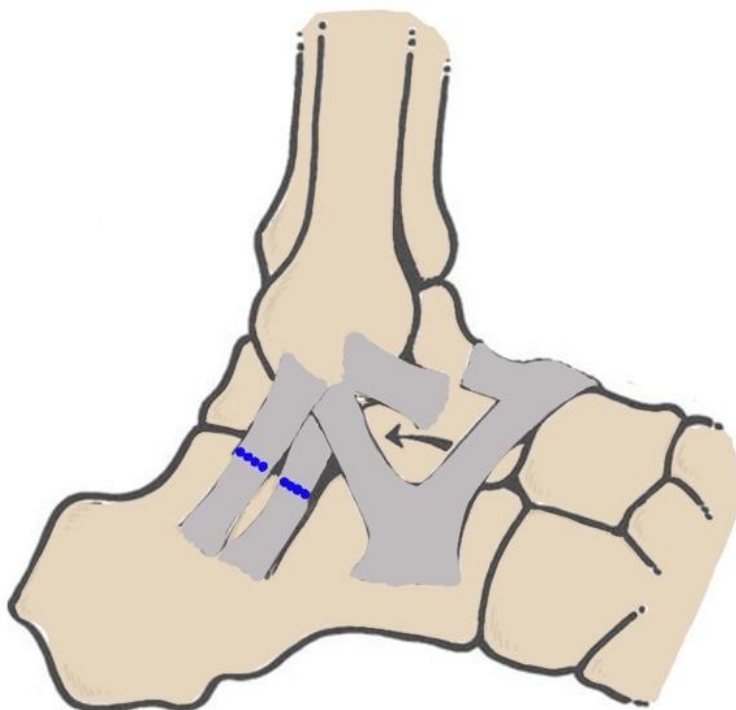
### **1.3.5.1.2. TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN ANATÓMICAS.**

Las técnicas de reconstrucción anatómicas intentan reproducir la anatomía y biomecánica articular, aunque, por la complejidad de la articulación subtalar, presentan un verdadero reto para el cirujano.

La mayoría de estas técnicas intentan reproducir los principales ligamentos estabilizadores de la ASA: LPC, LC y LTCl

#### **Técnica de Karlsson (1997)**

Karlsson realiza una reconstrucción ligamentosa del LPC y del LC usando el REI para rentringir la inversión <sup>63,115</sup>. (Fig.33)

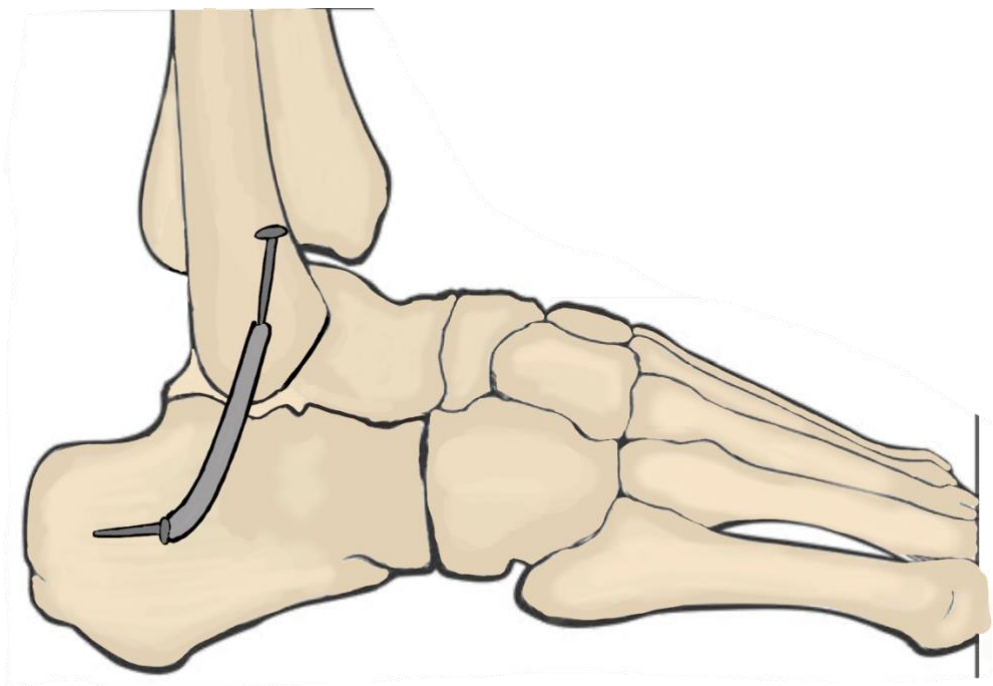


**Figura 33.** Esquema de la técnica de Karlsson. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

La plastia retinacular publicada por Saragaglia y Tourné<sup>116</sup>, modifica la descrita por Bröstrom, estabilizando tanto el tobillo, como la ASA, a través de una bandeleta a partir del REI.

### Técnica de Choisne (2017)

Es una construcción de LPC mediante injerto. Con esta técnica se restringe la rotación interna de la subtalar pero no la inversión en flexión plantar por lo que no protege la articulación en la posición de más debilidad <sup>23</sup>. (Fig. 34)



**Figura 34.** Esquema de la técnica de Choisne. Reconstrucción del LPC mediante injerto. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

Así como en el caso de la ILCT por ruptura ligamentosa el tratamiento es la realización de técnicas quirúrgicas cada vez más anatómicas y menos invasivas, el tratamiento de la IST por rotura del LTCl sería la reconstrucción mediante restauración anatómica del ligamento.

En casos de inestabilidad talar asociada a inestabilidad subtalar con estructuras íntegras, es de gran utilidad el procedimiento de Gould que constriñe la subtalar<sup>117</sup> y cuando existe una clara inestabilidad del complejo lateral debe realizarse la reparación del LPC y del LPAA<sup>62</sup>.

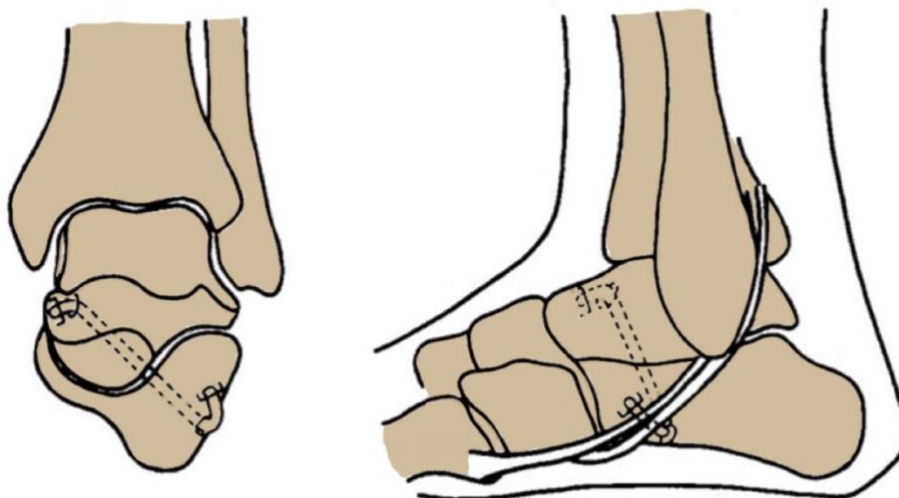
Las roturas parciales del LTCL pueden ser tratadas sin cirugía. Sin embargo, las lesiones completas del LTCL generan en los pacientes dolor crónico, inestabilidad subtalar y desarrollo de artrosis. Para estos pacientes está indicado el tratamiento quirúrgico. No se han encontrado descripciones en la literatura de que el LTCL pueda cicatrizar tras una lesión.

Siendo conscientes de la importancia del LTCL en la estabilidad subtalar, es lógico pensar en la necesidad de realizar la reconstrucción del mismo, ante una lesión. A pesar de esto, existen pocas publicaciones sobre la reconstrucción quirúrgica del LTCL en la IST<sup>6,43,66,109,115,118,119</sup>. La mayoría de los estudios son retrospectivos, con escaso número de pacientes y un seguimiento variable por lo que el grado de recomendación, es escaso (exclusivamente trabajos de nivel IV y V).

Para la realización de dicho procedimiento, es de gran utilidad el uso de la artroscopia previa para valorar lesiones intraarticulares, la existencia de roturas ligamentosas<sup>120</sup> y la colocación óptima de los túneles óseos en el lugar de la inserción anatómica correspondiente.

Whelan<sup>120</sup> realiza un estudio retrospectivo para identificar patología subtalar, en una serie de 49 pacientes a los que se les realiza una artroscopia subtalar, por portales anterolateral y anteromedial y observa la existencia de sinovitis o adherencias en la totalidad de los pacientes, inestabilidad subtalar en el 42%, condromalacia en el 13% y exóstosis en el 2%.

Kato<sup>43</sup> es el primer autor que describe una técnica de reparación del LTCL mediante injerto de Aquiles. Se hizo de forma aislada en 2 pacientes y en 12 se asoció, además, estabilización triligamentosa. Incide en que la clave de la corrección de la inestabilidad subtalar no es la de evitar la inclinación del calcáneo sino la de mantener el astrágalo y el calcáneo unidos. (Fig. 35)

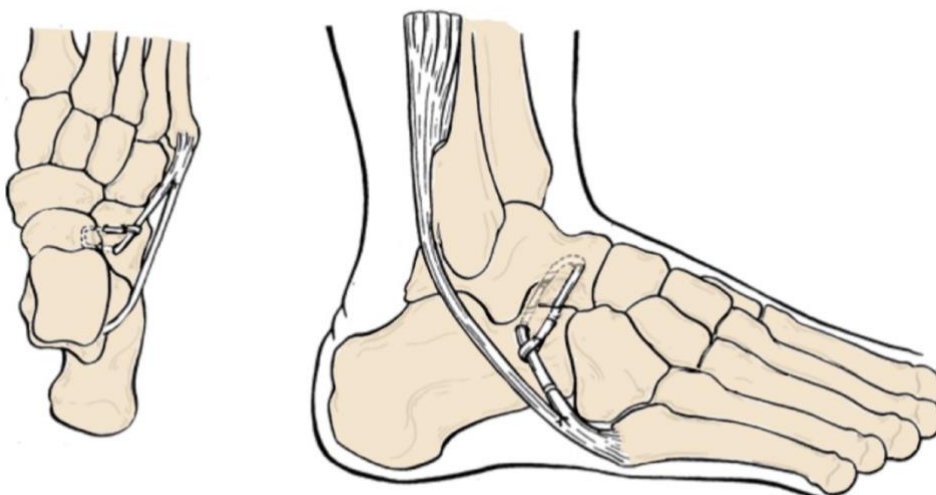


**Figura 35.**

Esquema de reconstrucción de ligamentoplastia subtalar mediante técnica de Kato.

Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

Pisani<sup>6</sup> describe una técnica abierta para reconstruir el LTCl usando medio tendón peroneo corto. Presenta buenos resultados en 47 pacientes, aunque describe dificultades para colocar los túneles por cirugía abierta. (Fig. 36)



**Fig. 36.** Esquema reconstrucción subtalar mediante la técnica de Pisani. Imagen realizada por Dra. C. Ojeda Thies e Inés Vilá

Liu<sup>19</sup> describe su abordaje artroscópico para visualizar la colocación del túnel y utiliza el tendón de *gracilis* de la rodilla ipsilateral como plastia de reconstrucción del LTCl en un paciente de 18 años. (Fig.37)



**Figura 37.** Visión artroscópica de la reconstrucción del LTCl. Técnica de Liu

**Técnicas no anatómicas**

**Técnicas anatómicas**

Autor	Técnica	Autor	Técnica
Watson&Jones 1940	PB	Kato 1995	LTCL o triligamentosa
Evans 1953	PB	Pisani 1996 Pisani et al 2005	LTCL anatómico
Castaigne 1961	LTCL , OTCL y LCF	Karlsson et al 1998	Anatómico y refuerzo RIE
Chrisman & Snook 1969	PB	Liu et al 2011	Injerto de pata de ganso
Larsen 1988	PB	Choisne et al 2017	LCF injerto
Jung et al 2015	LTCL , OTCL y LCF	Iglesias et al 2020	LCTI anatómico

**Tabla 2.** Esquema de las diferentes técnicas de reconstrucción en la IST.

Las complicaciones más frecuentes en el tratamiento quirúrgico de la inestabilidad subtalar son la lesión de la rama intermedia del peroneo superficial, la lesión de la rama terminal del sural, la inestabilidad recurrente, la rigidez o la artrosis<sup>49,62</sup>.

## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.**

## 2.1. HIPÓTESIS.

La reconstrucción con aloinjerto del LTCL reconstruye la estabilidad angular de la articulación subtalar en un modelo cadavérico en el momento cero tras la sección de los estabilizadores de la misma.

## 2.2. OBJETIVOS.

Como **objetivos secundarios** se encuentran los siguientes:

- 1- Estudiar mediante artrómetro la estabilidad angular en los tres planos del espacio de la articulación subtalar tras la sección del REI, LC y LTCL.
- 2- Estudiar mediante artrómetro el papel del LPAA en la inestabilidad subtalar en los tres planos del espacio.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS.**

### 3. 1. Diseño del estudio.

Estudio experimental en cadáver tras la realización de técnica quirúrgica para la inestabilidad subtalar.

### 3.2. Ámbito poblaciones del estudio y muestra.

#### 3.2.1. Ámbito del estudio.

El presente estudio fue realizado en la sala de disección del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Francisco de Vitoria de Madrid en el año 2019 gracias al programa de Donantes de Cuerpo para enseñanza de grado y postgrado de dicha Universidad (Fig.38).

A todos los donantes se les hizo estudio mediante PCR y VIH.

Las piezas son congelados alrededor de  $-15^{\circ}$  y son descongeladas lentamente, un día previo al estudio para evitar problemas de rigideces que puedan interferir en las mediciones de estabilidad.



**Figura 38.** Sala de disección del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Francisco de Vitoria de Madrid.

### 3.2.2. Población del estudio.

Especímenes de tobillos de cadáver fresco congelado obtenidos según la normativa vigente en la UFV. Se excluyeron aquellas piezas que presentaban cicatrices previas o rigidez articular.

### 3.2.3. Tamaño muestral.

Estimación de la muestra. A partir de la información de estudios previos publicados calculamos el tamaño de la muestra necesario para nuestro estudio. Para estimar medias con un error absoluto  $\epsilon$  y una confianza  $1-\alpha$ , el tamaño muestral se obtuvo aplicando la siguiente fórmula establecida para poblaciones infinitas y redondeando su resultado al entero superior:

$$n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2}{e^2}$$

(1) Donde Z es una constante obtenida de la tabla para la distribución normal estándar N (0,1), que depende del nivel de confianza asignado, en nuestro caso 95%,  $\sigma$  es la desviación estándar de la población basada en estudios previos y

$\epsilon$  es el error absoluto, precisión deseada basada en las características del aparato de medida.

(2) Por las características de nuestro estudio no fue necesario realizar corrección por abandonos. Siendo la diferencia permisible 0,2 (20%) y la varianza poblacional 1,15; la muestra estimada es 15.

### 3.2.4. Descripción de la muestra.

La muestra estaba constituida por 15 tobillos de cadáver fresco congelado obtenidos de acuerdo, al programa del Centro de Donación de Cuerpos de la Universidad Francisco de Vitoria de Madrid cumpliendo todos los requisitos éticos exigidos.

En cada espécimen, la tibia junto con el peroné estaba seccionada por debajo de la articulación de la rodilla, manteniendo al menos 20 cm de longitud.

### 3.3. Secuencia de trabajo.

En primer lugar, procedemos a fijar la articulación tibiotalar en cada pieza cadavérica mediante dos clavos de Steinmann cruzados para anular la movilidad tibiotalar (Fig. 39) y que las mediciones que obtengamos en el estudio se deban única y exclusivamente a la movilidad subtalar. Colocamos los sensores del artrómetro en el calcáneo. (Fig. 40).



**Figura 39.** Colocación de los Steinmann inmovilizando la articulación tibiotalar.



**Figura 40.** Observese los Steinmann cruzados que inmovilizan la articulación tibiotalar y la colocación de los sensores en el calcáneo.

1. Procedemos a la realización de las maniobras de medición de la estabilidad angular subtalar en cada pieza cadavérica.
2. A continuación, realizamos a la extracción de la plastia que utilizaremos en la reconstrucción, el tendón del músculo extensor largo del dedo gordo (ELDG) o *Extensor Hallucis Longus* (EHL)
3. Se procederá a la identificación y disección de forma secuencial del REI, LC y LTCI en los 15 tobillos de cadáver. En cada una de las secciones se realizan las maniobras anteriormente mencionadas (TEI y TEE) y registramos la movilidad angular detectada por el sensor en los tres planos del espacio.
4. Procedemos a la realización de la técnica quirúrgica de reconstrucción ligamentaria empleando el tendón del ELDG. Se realiza un túnel completo en el calcáneo y túnel ciego talar de 10 mm. La fijación de la plastia se realiza con un sistema dinámico *Thigh Rope ACL* (Arthrex, Naples, FL, USA). Nos aseguraremos, de que la colocación del anclaje cortical es correcta y procederemos, traccionando de manera alternativa de las suturas blancas, a subir la plastia hasta el límite del túnel ciego talar. Por último, introduciremos un tornillo biodegradable de biotenedesis de 6.25 mm de Arthrex (Naples, Florida, USA) colocando la articulación subtalar en discreta eversión.
5. Realizamos las maniobras anteriormente mencionadas (TEI y TEE) y registramos la movilidad angular detectada por el sensor en los tres planos del espacio.
6. Por último, seccionamos el LPAA. Realizamos las maniobras anteriormente mencionadas (TEI y TEE) y registramos la movilidad angular detectada por el sensor en los tres planos del espacio.

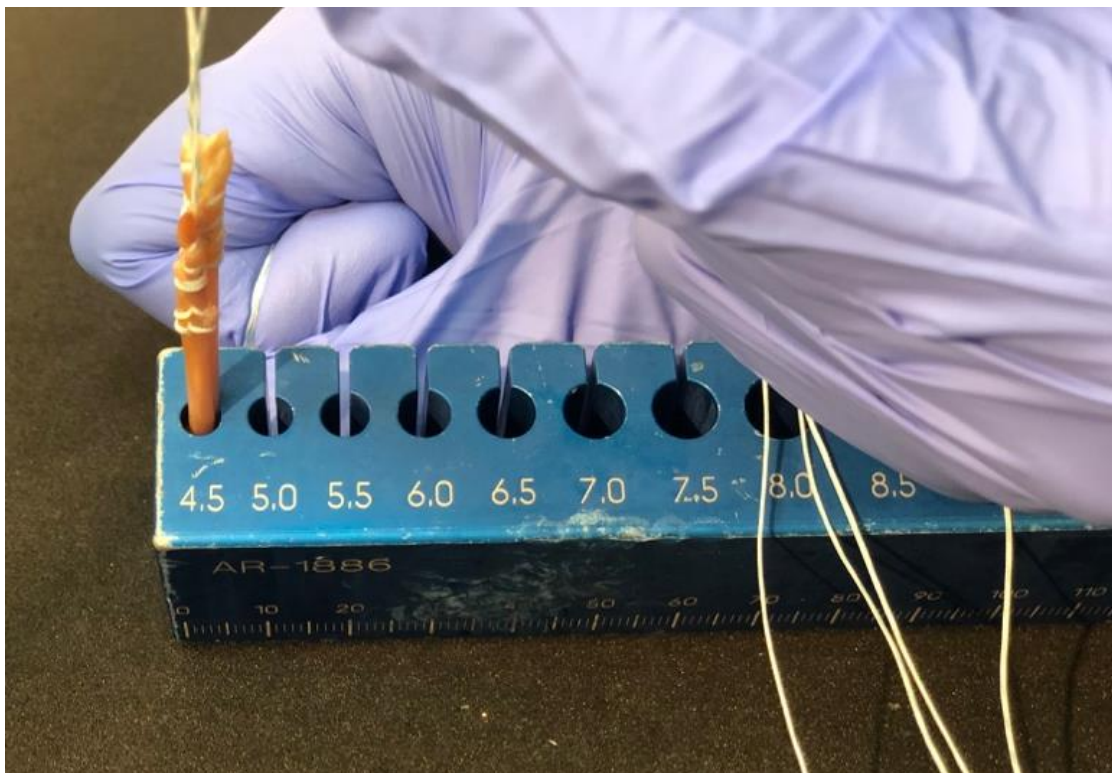
### 3.4. Descripción de la técnica quirúrgica.

#### Técnica de reconstrucción anatómica con autoinjerto.

El primer paso consistió en la extracción del tendón del ELDG del dorso del pie -procedente del mismo cadáver- que se emplea como donante. El diámetro del injerto fue aproximadamente 4,5 mm de diámetro y al menos 100 mm de longitud. Preparamos los extremos con una sutura de alta resistencia *FiberLoop#0* (*Arthrex, Naples, FL, EEUU*) y lo sometemos a una tensión de 88 N durante 10 minutos en el banco de trabajo (Fig.41)



**Figura 41.** Extracción de tendón ELDG del dorso del pie para emplearlo como autoinjerto.



**Figura 42.** Medición del calibre de la plastia. Mesa de preparación de la plastia.

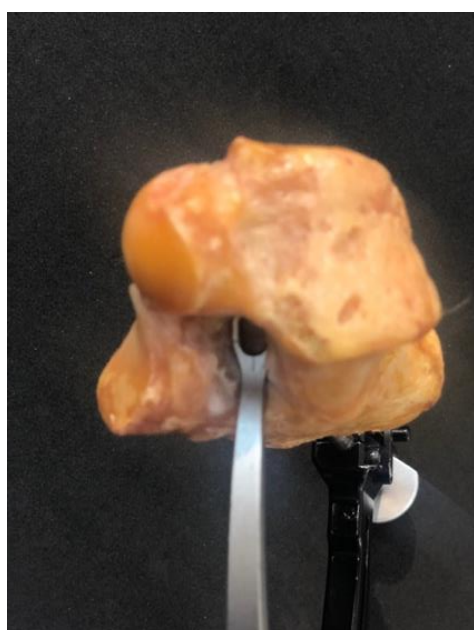


**Figura 43.** Preparación de los extremos de la plastia, con una sutura tipo Krakov de alta resistencia *FiberLoop#0* (Arthrex, Naples, FL, EEUU) y colocación del implante LCA tightrope RTR (Arthrex, Naples, FL).

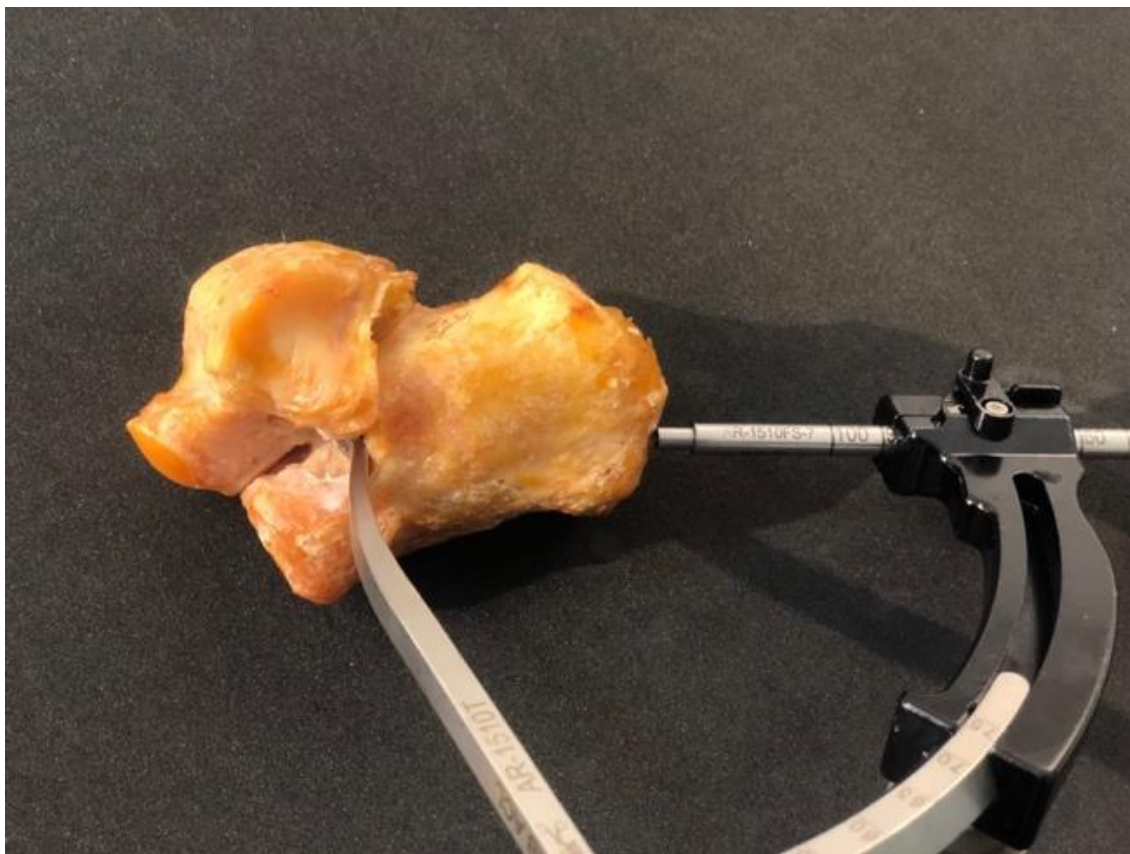
En segundo lugar, identificamos la huella anatómica subtalar y talar que han dejado los restos de las inserciones del LTCI, que son las referencias para realizar la reconstrucción anatómica.



**Figura 44.** Posicionamiento de la pieza anatómica y colocación de la guía de LCA de Arthrex en dirección distal-proximal.



**Figura 45.** Detalle de la colocación de la guía de LCA de Arthrex en dirección distal-proximal. Observe su posicionamiento en el seno del tarso en la inserción calcánea del LTCI en una pieza cadavérica del estudio.



**Figura 46:** Detalle de la colocación de la guía de LCA de Arthrex en dirección distal-proximal en una pieza cadavérica del estudio.



**Figura 47.** Identificación de los ligamentos intrínsecos y detalle de la colocación de la guía LCA de Arthrex en el seno del tarso una vez disecado el REI.

Una vez localizada la huella de inserción del LTCl en el calcáneo, colocamos una guía tibial de ligamento cruzado anterior (LCA) (*Arthrex, Naples, FL, EEUU*) para la inserción de una aguja - guía 3.2 mm en ese punto y con una broca de 5.5 mm en el calcáneo realizamos un túnel completo de 5.5 mm (Fig. 48-51).

Se procede entonces a la colocación de la guía del LCA en la parte medial y anterior del cuello del astrágalo y cuando está a punto de salir se realiza una pequeña incisión para proteger las estructuras vasculonerviosas. (Fig. 48).

La salida de la aguja guía deberá salir entre el TTA y ELDG. Brocamos un hemitúnel de 15 mm de profundidad en el astrágalo. Dejamos pasada una sutura de alta resistencia en ambos extremos de la plastia *FiberLoop#0 (Arthrex, Naples, FL, EEUU)*.

Una vez que se han realizado los dos túneles en astrágalo y en calcáneo recuperamos la sutura por el túnel calcáneo y pasamos entonces la plastia de distal a proximal traccionando desde el túnel talar (Fig.49).

Realizamos la fijación en el astrágalo de la plastia mediante un sistema de fijación cortical ACL tightrope RTR (*Arthrex, Naples, FL*). (Fig. 50).

Tensionando las suturas blancas de forma alternativa la plastia va avanzando dentro del túnel talar rellenando completamente dicho túnel.

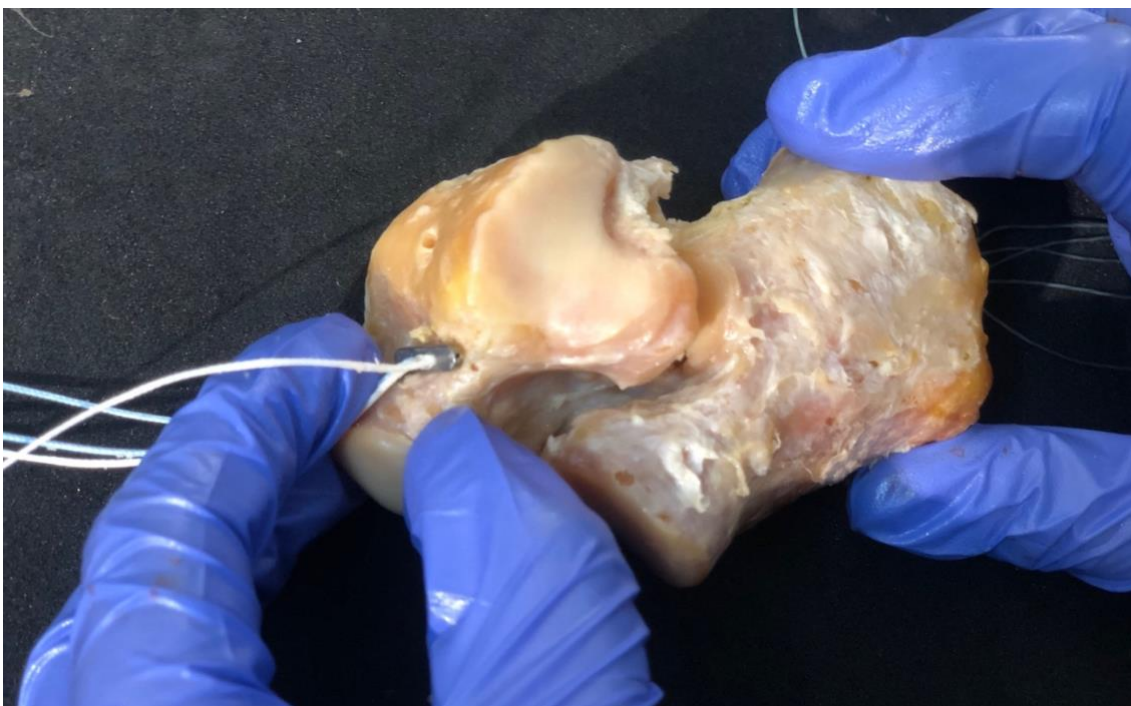
Fijamos entonces la plastia en el calcáneo usando una aguja guía hiperflexible de nitinol y un tornillo de biotenodésis de 5.5 mm (*Arthrex, Naples, FL*) colocando la articulación subtalar en eversión y ligera flexión dorsal (Figuras 51 y 52).



**Figura 48.** Incisión dorsal entre el ELDG y TTA para evitar la lesión del nervio peroneo profundo y arteria pedia.



**Figura 49.** Detalle del paso del dispositivo thightrope ACL de Arthrex a través del túnel en calcáneo.



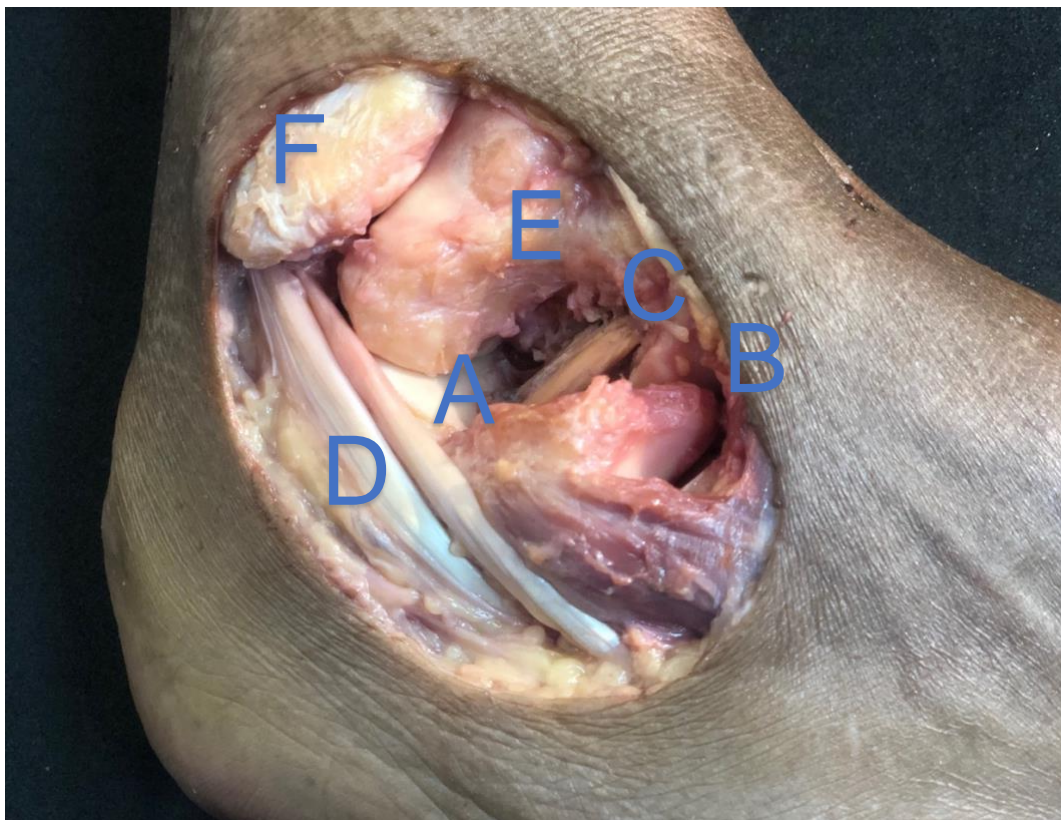
**Figura 50.** Detalle del paso del posicionamiento del dispositivo thightrope ACL de Arthrex en la cortical del cuello del astrágalo.



**Figura 51.** Detalle de la colocación de la plastia del LTCl.



**Figura 52.** Introducción del tornillo de biotenodesis de 5.5 mm de ácido poliláctico a través del túnel del calcáneo para la correcta estabiulización de la plastia en el calcáneo.



**Figura 53.** Imagen final de la colocación de la plastia del LITC. A. Túnel en el calcáneo. B. Túnel talar. C. Plastia. D. Tendones peroneos. E. Astrágalo. F. Peroné

### **3.5. Obtención de la información.**

#### **3.5.1. Descripción del instrumento de medida.**

Hemos utilizado un artrómetro específicamente diseñado para medir desplazamientos angulares en los tres planos anatómicos (axial, coronal, y sagital) de un sensor localizado en el calcáneo

Se utilizó un Mpu-6050 GY-521, una unidad de medición inercial (IMU) de 6 grados de libertad con un acelerómetro de tres ejes y un giroscopio de tres ejes, para medir ángulos. Fue necesario insertar dos agujas de Kirschner (AK) de 3 mm de diámetro en la cara lateral del calcáneo a la altura del maléolo peroneo en dirección paralela a su eje longitudinal para realizar una conexión rígida entre el calcáneo y la IMU. (Fig. 54)



**Figura 54** . Detalle de la colocación de los sensores en el calcáneo para la medición de la estabilidad angular en los tres planos del espacio.

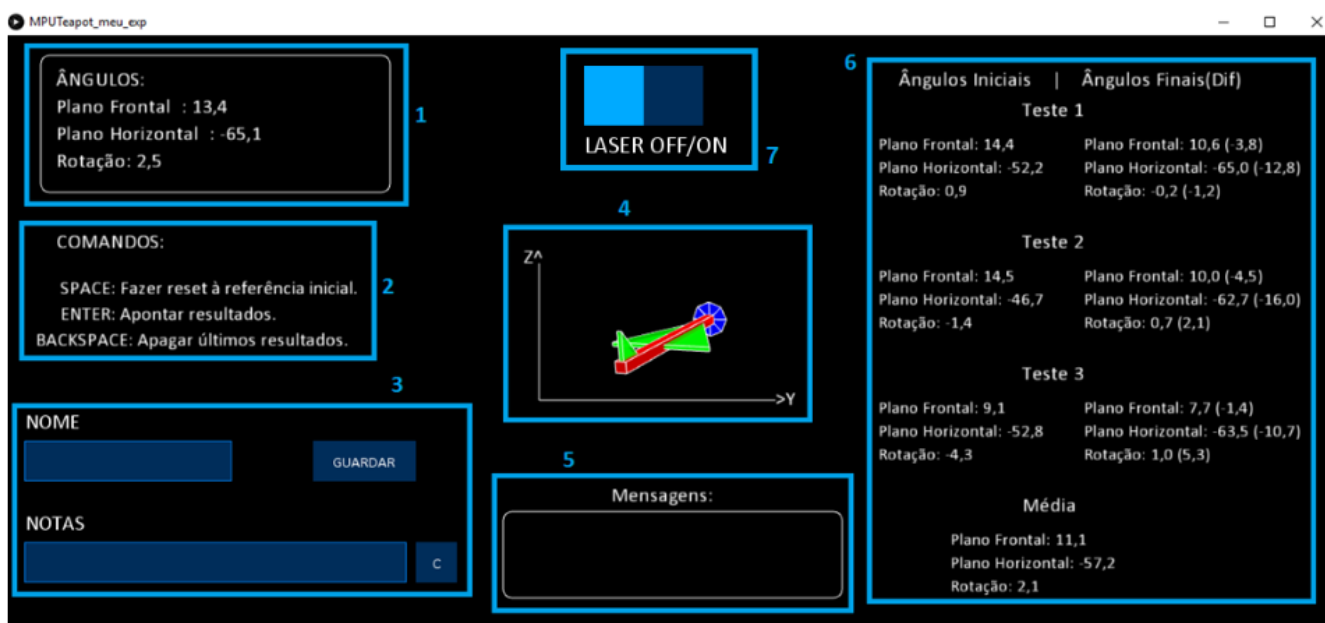
El sensor IMU estaba controlado por una placa Arduino Mega 2560, que se utilizó como microcontrolador. La calibración del sistema aseguró que los giroscopios medirán los ángulos de rotación (precesión, nutación y rotación intrínseca) entre la posición inicial y la posición final después de cada paso del protocolo de prueba. De esta manera, fue posible hacer una evaluación correcta de la movilidad de articulación subtalar sin interferencia de los movimientos del tobillo. Únicamente se midieron las rotaciones del calcáneo con respecto a los tres planos anatómicos. (Fig. 54)



**Figura 55**. Detalle de la de la computadora. Este software indica las tres mediciones de los ángulos (ANGLES) en los tres planos espaciales y en la porción inferior nos muestra la media (AVERAGE).

Un algoritmo de fusión de sensores hizo posible la adquisición e interpretación de los datos brutos recibidos de la IMU. El código de programación se basa en bibliotecas de código abierto disponibles en Internet, que realizan la inicialización, la calibración (incluidos los valores de compensación) y el filtrado de los valores del sensor. Este proceso garantiza valores más precisos de los ángulos relativos.

Un novedoso *software*, permitió obtener los valores angulares relativos a la diferencia entre la orientación inicial de los ejes fijos del calcáneo y la orientación final originada por rotaciones extrínsecas. Este *software* permitió el análisis en tiempo real del desplazamiento angular del calcáneo en tres planos, simultáneamente, utilizando ángulos de Tait-Bryan (Fig.55).



**Figura 55.** Interfaz de usuario de software. Captura de pantalla de la computadora durante la configuración experimental. Los giroscopios y acelerómetros se utilizan en la aviación comercial y funcionan como una brújula tridimensional, que muestra la posición del avión en relación con el suelo. Por esta razón, la figura en el centro de la pantalla, que representa la posición del pie, se muestra como un avión. En el cuadro superior izquierdo, "Ângulos" significa ángulos; "Plano Frontal" se refiere a la medición del plano coronal; "Plano

horizontal" se refiere a la medición del plano sagital y "Rotação" se refiere al plano axial. (Imagen cedida por los Drs. Guerra Pinto y Guimaraens).

### 3.5.2. Variables estudiadas.

Se estudia el movimiento angular del sensor en los tres planos: axial coronal y sagital. Se aplican dos maniobras empleadas habitualmente en la práctica clínica: Test de estrés en inversión (TEI) y Test de estrés en eversión (TEE).

Las correspondientes rotaciones son medidas por un dispositivo que combina un acelerómetro y giroscopio triaxial frente a un sensor que colocamos en el calcáneo

### 3.5.3. Protocolo de trabajo.

Inicialmente procedemos a levantar un colgajo de piel anterolateral que nos permita visualizar el seno del tarso y los tendones del ELD y *peroneus tertius*. Acto seguido, realizamos la disección e identificación del REI, LC y LTCL.

A continuación, la tibia fue fijada de forma rígida al astrágalo mediante 2 o 3 AK para bloquear la articulación tibio talar. Una vez fijada la tibia se coloca la pieza en un soporte que nos permite colocarla en decúbito lateral derecho en piezas derechas y en decúbito lateral izquierdo en piezas izquierdas. Este soporte mantiene la pieza a 90º grados de flexión de tobillo que es la posición a la que hemos bloqueado la articulación tibiotalar.

Dos agujas de Kirschner fueron insertadas en el calcáneo en dirección lateromedial. Posteriormente la IMU se alineó y se fijó de manera colineal con el eje haciendo que tanto el calcáneo como la IMU estuvieran conectados rígidamente.

Definimos como estabilidad angular al desplazamiento angular del calcáneo respecto al astrágalo tras la aplicación manual de las maniobras. Se aplican dos maniobras empleadas habitualmente en la práctica clínica: Test de estrés en inversión (TEI) y Test de estrés en eversión (TEE).

- **Test de estrés en inversión.**

Con la mano dominante abarcando el calcáneo y posicionando el pulgar en la cara lateral del calcáneo se realiza un movimiento de inversión (varo forzado). La mano contralateral realiza la sujeción de la tibia <sup>122</sup>.

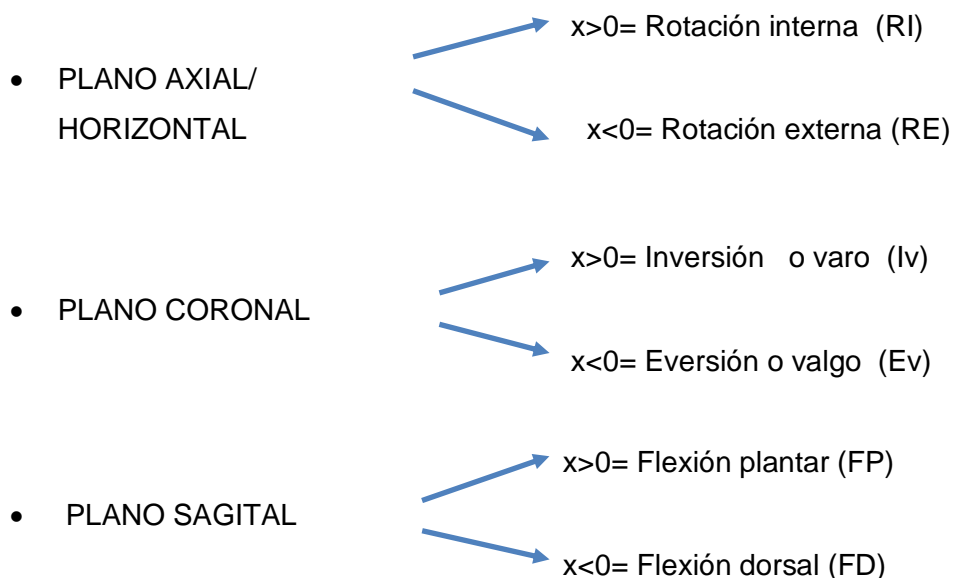
- **Test de estrés en eversión.**

Con la mano dominante abarcando el calcáneo y posicionando el pulgar en la cara lateral del calcáneo se realiza un movimiento de eversión (valgo forzado). La mano contralateral realiza la sujeción de la tibia<sup>122</sup>.

La fuerza aplicada en cada maniobra se ha realizado de forma manual y en todos los casos las ha realizado el investigador principal y en el mismo orden. Cada maniobra se repite tres veces y la computadora nos muestra la media de las tres. En ningún momento, se observó de manera macroscópica que se doblaran las agujas que sirven de conexión al sensor.

La aplicación de las maniobras se realizó tal y cómo se explica a continuación:

El sistema se calibró en los 3 planos manteniendo el tobillo en posición neutra (flexión plantar: 0 grados). La primera medida se realizó con la subtalar intacta. En el plano axial, definimos los valores positivos ( $x > 0$ ) como movimiento de rotación interna y los valores negativos como rotación externa ( $x < 0$ ). En plano coronal consideramos los valores positivos, como movimiento inversión y los valores negativos como eversión. Por último, en el plano sagital definimos los valores positivos como flexión plantar y los valores negativos como flexión dorsal. Por lo tanto, tras la realización de cada maniobra obtenemos el desplazamiento angular descrito por el sensor localizado en el calcáneo, en cada uno de los planos anatómicos.



Nuestro objetivo es conocer la estabilidad angular en 6 situaciones:

1. Subtalar íntegra.
2. Sección REI.
3. Sección del LC y LTCl íntegro.
4. Sección de LC y LTCl.
5. Técnica de reconstrucción anatómica con injerto del LTCl
6. Reconstrucción del LTCl y sección LPC.

Para ello, después de tener el espécimen fijado al soporte y el artrómetro calibrado, realizamos la siguiente secuencia de trabajo:

1. Inicialmente, con la **subtalar intacta**, realizamos las maniobras anteriormente mencionadas: (Inversión (I) y eversión (E) / Flex plantar (FP) y flexión dorsal (FD) y rotación interna (RI) y rotación externa (RE) y registramos el desplazamiento angular detectada por el artrómetro en los tres planos anatómicos.
2. A continuación, **seccionamos el REI** y repetimos las maniobras de exploración de estabilidad.
3. Seguidamente **seccionamos el LC** y repetimos las maniobras de exploración de estabilidad.
4. Pasamos a **seccionar el LTCl** y repetimos las maniobras de exploración de estabilidad.
5. Posteriormente practicamos, la **reconstrucción anatómica con plastia tendinosa** procedente del mismo cadáver (tendón donante: EHL). Repetimos las maniobras de estabilidad y registramos los movimientos angulares.
6. Por último, **seccionamos el LPC** y realizamos las maniobras de estabilidad y registramos los movimientos angulares.

## **4. RESULTADOS.**

En este capítulo se presentan los hallazgos obtenidos en el desarrollo del estudio.

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el software SPSS 21.0® para Windows (IBM Corp. Released 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp).

Las variables cualitativas se presentaron mediante frecuencias y tantos por ciento y las variables cuantitativas mediante medianas y rango intercuartílico IR (Q1-Q3).

Se llevó a cabo la inferencia entre las diferentes pruebas realizadas en los movimientos de eversión e inversión mediante asociación de Wilcoxon para analizar las diferencias entre el movimiento de eversión e inversión en los tres movimientos.

Se determinaron resultados estadísticos aquellos que reportaron valores de  $p < 0.05$ .

Todas las maniobras fueron realizadas por el mismo investigador para evitar el sesgo de la fuerza de aplicación. Se tomaron 3 mediciones de cada maniobra en cada una de las situaciones analizadas en cada espécimen y el giroscopio nos dió directamente la media de las tres mediciones.

## **4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO.**

### **4.1.1. Mediciones en eversión.**

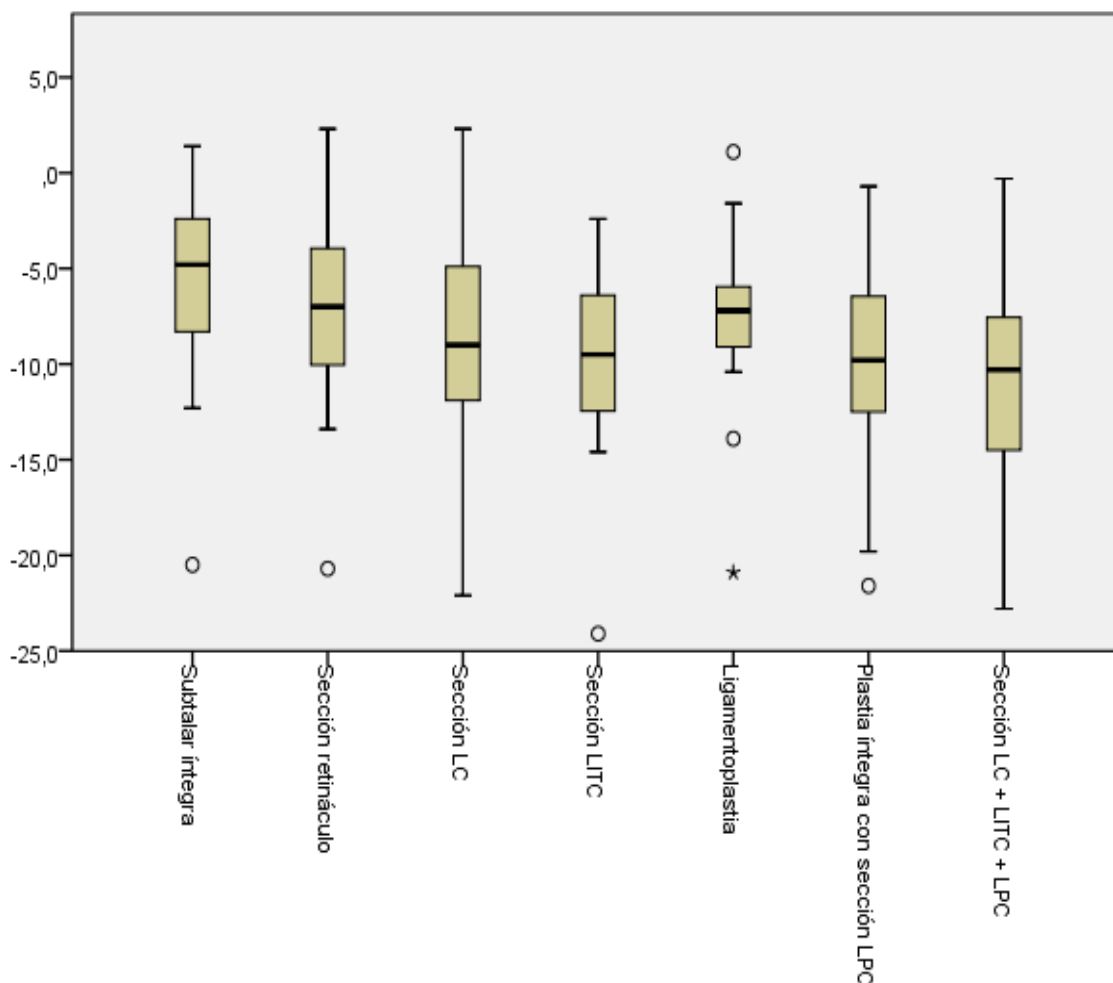
#### **4.1.1.1. Mediciones en eversión en el plano axial.**

Podemos observar como la sección del LC aumenta de manera importante la rotación externa. Sin embargo, el añadirle la sección del LTCl no nos modifica la inestabilidad rotacional. Esta inestabilidad generada por la sección del LC y del LTCl se mejora significativamente al hacer la ligamentoplastia y empeora cuando se secciona el LPC.

Podríamos concluir que la rotación externa está más influenciada por la integridad del LC que del LTCl (P 0.001). Sin embargo, la plastia del LTCl mejora la estabilidad subtalar en rotación externa. Si añadimos la sección del LPC a pesar de tener la plastia íntegra aumentamos mucho la inestabilidad en rotación externa (**Tablas 3 y 4**).

	<b>Mediana</b>	<b>Rango Intercuartílico (IR)</b>
<i>Subtalar íntegra</i>	-4.800	(-8.900 a -2.400)
<i>Sección retináculo</i>	-7.000	(-11.100 a -3.100)
<i>Sección LC</i>	-9.000	(-12.500 a -3.800)
<i>Sección LTCl</i>	-9.500	(-12.600 a -5.600)
<i>Ligamentoplastia</i>	-7.200	(-9.300 a -5.300)
<i>Plastia íntegra con sección LPC</i>	-9.800	(-14.900 a -6.200)
<i>Sección LC+LTCl+LPC</i>	-10.300	(-15.400 a -6.100)

**Tabla 3.** Mediciones de los valores de la eversión en el plano axial en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del REI, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.



**Tabla 4.** Diagrama de la eversión en el plano axial en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del REI, sección del LC, sección del LTIC, ligamentoplastia del LTIC, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTIC y LPC.

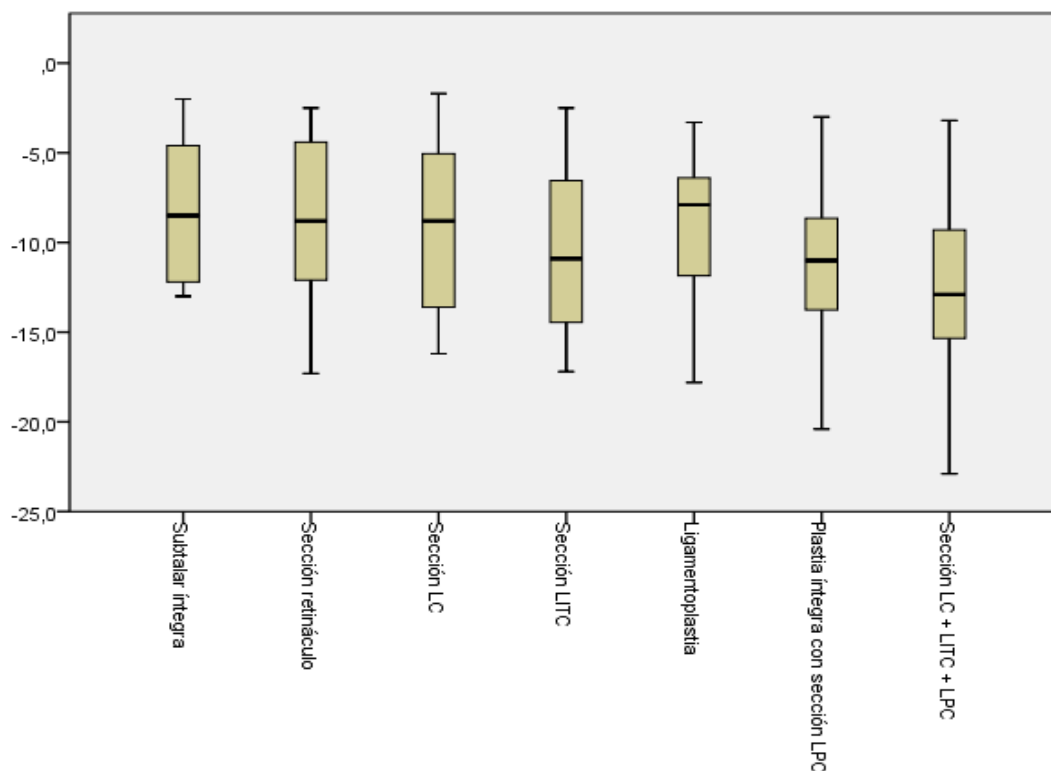
#### 4.1.1.2. Mediciones en eversión en el plano coronal.

Cuando analizamos los resultados obtenidos forzando el valgo (rotación coronal en eversión) observamos que ni la sección del retináculo ni la del LC influyen en el aumento de movilidad en valgo de la articulación subtalar, sin embargo, el LTIC si estabiliza la

subtalar en valgo. Al hacer la ligamentoplastia obtenemos resultados similares a la situación de integridad subtalar. La sección del LPC desestabiliza la articulación en el plano coronal (Tablas 5 y 6).

	<b>Mediana</b>	<b>Rango Inter cuartílico (IR)</b>
<i>Subtalar íntegra</i>	-8.500	(-12.400 a -4.100)
<i>Sección retináculo</i>	-8.800	(-13.000 a -3.900)
<i>Sección LC</i>	-8.800	(-14.000 a -4.400)
<i>Sección LTCl</i>	-10.900	(-14.900 a -5.800)
<i>Ligamentoplastia</i>	-7.900	(-12.300 a -6.100)
<i>Plastia íntegra con sección LPC</i>	-11.000	(-14.100 a -8.100)
<i>Sección LC+LTCl+LPC</i>	-12.900	(-15.800 a -9.100)

**Tabla 5.** Mediciones de los valores de la eversión en el plano coronal en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.



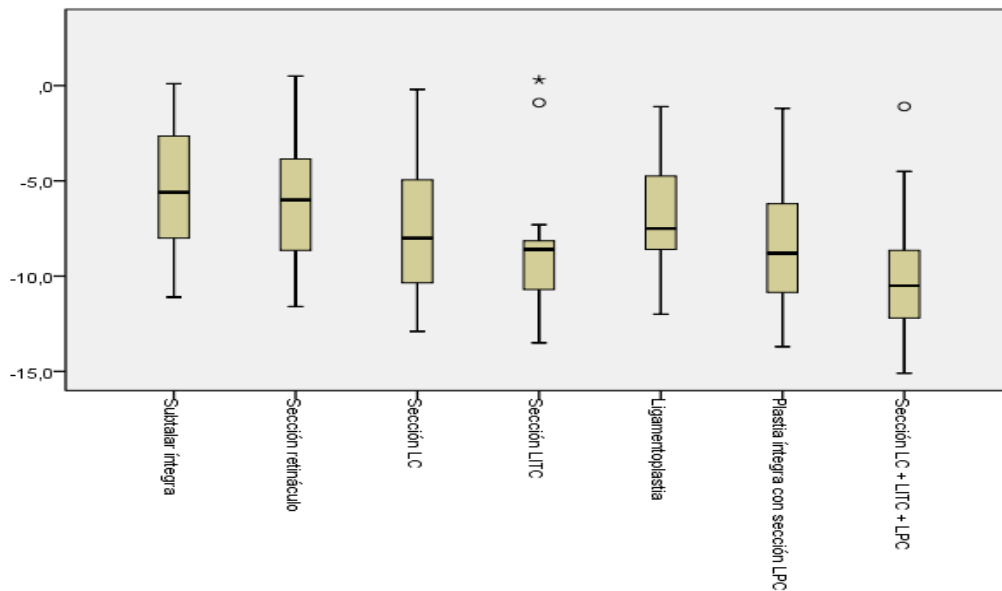
**Tabla 6.** Diagrama de la eversión en el plano coronal en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTIC, ligamentoplastia del LTIC, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTIC y LPC.

#### 4.1.1.3. Mediciones en eversión el plano sagital.

Si analizamos los datos obtenidos en el plano sagital observamos que según vamos seccionando estructuras aumentamos la inestabilidad en flexión dorsal. Con la ligamentoplastia mejoramos la inestabilidad provocada por la sección del LTIC obteniendo valores de normalidad. Observamos también que la sección del LPC no afecta nada en la estabilidad en flexión dorsal (Tablas 7 y 8).

	Mediana	Rango Inter cuartílico (IR)
<i>Subtalar íntegra</i>	-5.600	(-8.400 a -2.000)
<i>Sección retináculo</i>	-6.000	(-9.400 a -3.200)
<i>Sección LC</i>	-8.000	(-10.400 a -4.700)
<i>Sección LTCl</i>	-10.900	(-14.900 a -5.800)
<i>Ligamentoplastia</i>	-8.600	(-10.700 a -8.100)
<i>Plastia íntegra con sección LPC</i>	-8.800	(-10.900 a -5.400)
<i>Sección LC+LTCl+LPC</i>	-10.500	(-13.600 a -8.500)

**Tabla 7.** Mediciones de los valores de la eversión en el plano sagital en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.



**Tabla 8.** Diagrama de la eversión en el plano sagital en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.

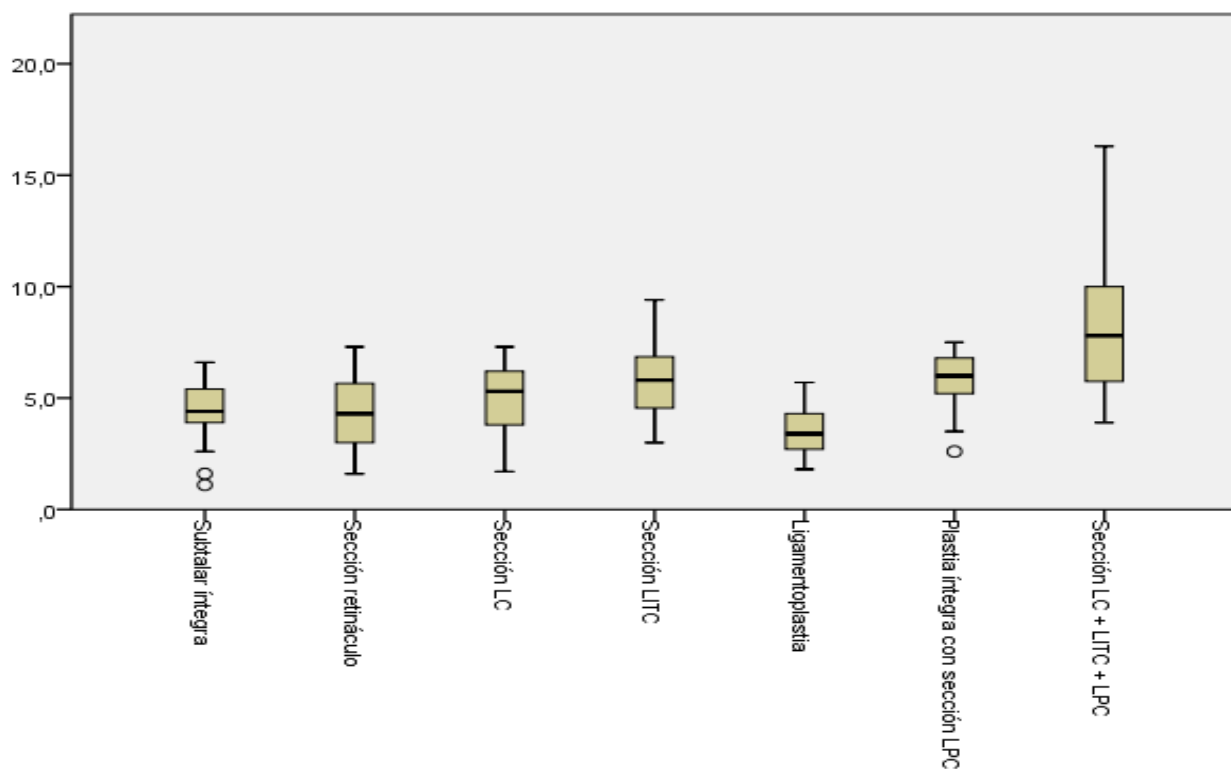
## 4.1.2. Mediciones en inversión.

### 4.1.2.1. Mediciones en inversión en el plano axial.

Cuando analizamos la rotación interna observamos que el retináculo influye mucho en la rotación mientras que el LC prácticamente no influye nada. La sección del LTCl si inestabiliza la subtalar en rotación interna mejorando ésta en gran medida al hacer la ligamentoplastia (Tablas 9 y 10).

	<b>Mediana</b>	<b>Rango Intercuartílico (IR)</b>
<i>Subtalar íntegra</i>	1.500	(0.900 a 4.000)
<i>Sección retináculo</i>	2.300	(1.200 a 3.700)
<i>Sección LC</i>	1.700	(0.800 a 3.700)
<i>Sección LTCl</i>	2.600	(0.500 a 5.300)
<i>Ligamentoplastia</i>	0.500	(0.100 a 1.900)
<i>Plastia íntegra con sección LPC</i>	0.400	(-0.300 a 1.700)
<i>Sección LC+LTCl+LPC</i>	2.400	(0.900 a 5.200)

**Tabla 9.** Mediciones de los valores de la inversión en el plano axial en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.



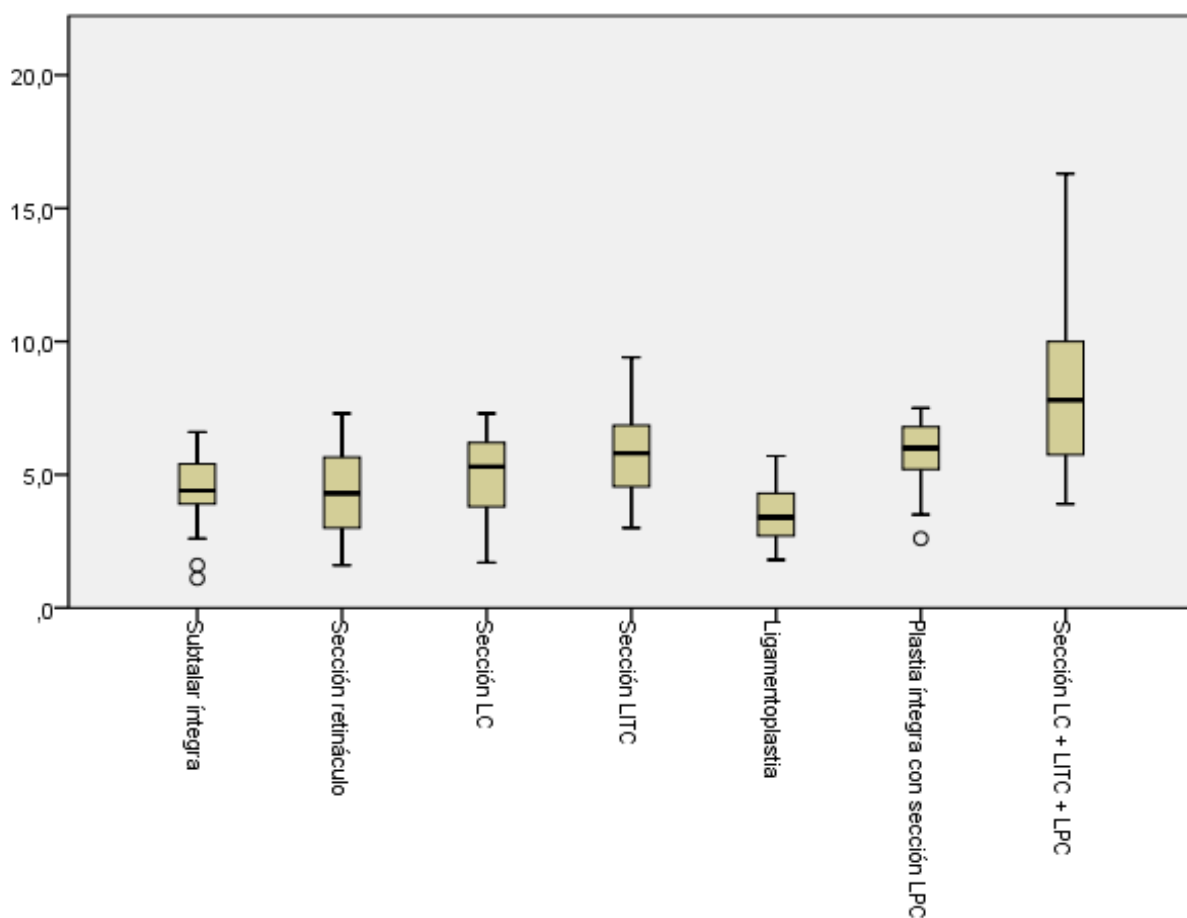
**Tabla 10;** Diagrama de la inversión en el plano axial en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.

#### 4.1.2.2. Mediciones en inversión en el plano coronal.

En cuanto a la inestabilidad en varo, se observa que empeora con la sección del LC y LTCl. La plastia mejora la estabilidad llegando a valores similares a la situación previa. Lo que más inestabiliza la articulación en el plano coronal en inversión es la sección del LPC (Tablas 11 y 12).

	<b>Mediana</b>	<b>Rango Intercuartílico (IR)</b>
<i>Subtalar íntegra</i>	4.400	(3.500 a 5.400)
<i>Sección retináculo</i>	4.300	(2.600 a 5.700)
<i>Sección LC</i>	5.300	(3.400 a 6.200)
<i>Sección LTCl</i>	5.800	(4.300 a 7.000)
<i>Ligamentoplastia</i>	3.400	(2.700 a 4.300)
<i>Plastia íntegra con sección LPC</i>	6.000	(5.200 a 7.100)
<i>Sección LC+LTCl+LPC</i>	7.800	(5.200 a 10.100)

**Tabla 11.** Mediciones de los valores de la inversión en el plano coronal en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.



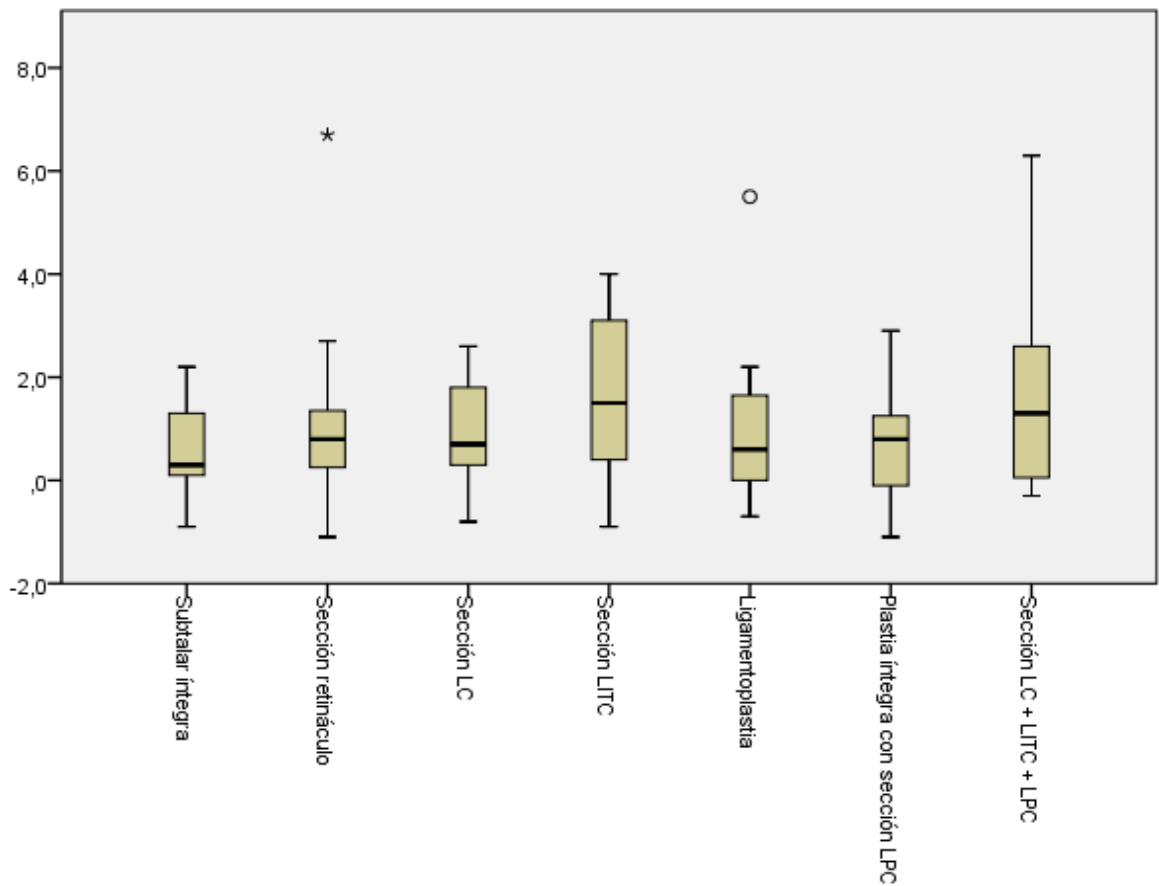
**Tabla 12.** Diagrama de la inversión en el plano coronal en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTIC, ligamentoplastia del LTIC, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTIC y LPC.

#### 4.1.2.3. Mediciones en inversión en el plano sagital.

Y en cuanto a flexión plantar la sección del LC presenta menos inestabilidad que sólo la sección del retináculo. El LTCl inestabiliza mucho la subtalar en flexión plantar siendo en este caso la plastia de gran utilidad para mejorar la estabilidad en el plano sagital. El LPC no produce tanta inestabilidad como el LTCl por lo que en esta situación la ligamentoplastia reconstruye la situación inicial (Tablas 13 y 14).

	<b>Mediana</b>	<b>Rango Intercuartílico (IR)</b>
<i>Subtalar íntegra</i>	0.300	(0.000 a 1.400)
<i>Sección retináculo</i>	0.800	(0.200 a 1.600)
<i>Sección LC</i>	0.700	(0.300 a 1.800)
<i>Sección LTCl</i>	1.500	(0.400 a 3.200)
<i>Ligamentoplastia</i>	0.600	(-0.100 a 1.800)
<i>Plastia íntegra con sección LPC</i>	0.800	(-0.200 a 1.300)
<i>Sección LC+LTCl+LPC</i>	1.300	(-0.100 a 3.300)

**Tabla 13.** Mediciones de los valores de la inversión en el plano sagital en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTCl, ligamentoplastia del LTCl, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTCl y LPC.



**Tabla 14.** Diagrama de la inversión en el plano sagital en las siguientes situaciones: subtalar íntegra, sección del RIE, sección del LC, sección del LTIC, ligamentoplastia del LTIC, sección del LPC con la ligamentoplastia íntegra y sección del LC, LTIC y LPC.

## 4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO.

La eversión en el plano axial depende del LC, mientras que en los planos coronal y sagital cobra mayor importancia el LTCl. La ligamentoplastia restaura los valores de normalidad en el plano axial y sagital y en todas las situaciones la sección del LPC empeora la estabilidad subtalar (Tablas 15,16 y 17).

	p-value
<i>Subtalar íntegra vs. Sección retináculo</i>	0.099
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC</i>	0.001
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC + LTCl</i>	0.078
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl</i>	0.033
<i>Ligamentoplastia vs. Plastia íntegra con sección LPC</i>	0.008
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl + LPC</i>	0.003

**Tabla 15.** Análisis comparativo de las diferentes situaciones en eversión en el plano axial.

	p-value
<i>Subtalar íntegra vs. Sección retináculo</i>	0.754
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC</i>	0.532
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC + LTCl</i>	0.002
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl</i>	0.094
<i>Ligamentoplastia vs. Plastia íntegra con sección LPC</i>	0.003
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl + LPC</i>	0.001

**Tabla 16.** Análisis comparativo de las diferentes situaciones en eversión en el plano coronal.

	p-value
<i>Subtalar íntegra vs. Sección retináculo</i>	0.410
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC</i>	0.001
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC + LTCl</i>	0.001
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl</i>	0.015
<i>Ligamentoplastia vs. Plastia íntegra con sección LPC</i>	0.021
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl + LPC</i>	0.001

**Tabla 17.** Análisis comparativo de las diferentes situaciones en eversión en el plano sagital.

La inversión en todos los planos depende del LITC, mientras que en el plano coronal cobra mayor importancia el LPC. La ligamentoplastia restaura los valores de normalidad en el plano coronal y la sección del LPC empeora la estabilidad subtalar en el plano coronal (Tablas 18,19 y 20).

	p-value
<i>Subtalar íntegra vs. Sección retináculo</i>	0.125
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC</i>	0.649
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC + LTCl</i>	0.477
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl</i>	<b>0.031</b>
<i>Ligamentoplastia vs. Plastia íntegra con sección LPC</i>	0.593
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl + LPC</i>	0.105

**Tabla 18.** Análisis comparativo de las diferentes situaciones en inversión en el plano axial.

	p-value
<i>Subtalar íntegra vs. Sección retináculo</i>	0.715
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC</i>	0.125
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC + LTCl</i>	<b>0.016</b>
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl</i>	<b>0.002</b>
<i>Ligamentoplastia vs. Plastia íntegra con sección LPC</i>	<b>0.001</b>
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl + LPC</i>	<b>0.001</b>

**Tabla 19.** Análisis comparativo de las diferentes situaciones en inversión en el plano coronal.

	p-value
<i>Subtalar íntegra vs. Sección retináculo</i>	0.155
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC</i>	0.314
<i>Subtalar íntegra vs. Sección LC + LTCl</i>	<b>0.017</b>
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl</i>	0.125
<i>Ligamentoplastia vs. Plastia íntegra con sección LPC</i>	0.084
<i>Ligamentoplastia vs. Sección LC + LTCl + LPC</i>	0.170

**Tabla 20.** Análisis comparativo de las diferentes situaciones en inversión en el plano sagital.

La ligamentoplastia con autoinjerto del ELDG estabiliza de manera angular en el momento cero la articulación subtalar en todos los planos con significación estadística en eversión en los planos axial y sagital y en inversión en los planos axial y coronal.

## **DISCUSION.**

La inestabilidad de la articulación subastragalina o ISA es una entidad clínica en la que existen todavía grandes incógnitas que dan lugar a confusiones en la anatomía, biomecánica, clínica, diagnóstico y tratamiento de esta patología. Su manejo está todavía muy lejos de estar basado en una evidencia clínica incuestionable<sup>123</sup>.

La estabilidad subtalar es fundamental en el ciclo de la marcha, no sólo para la función del pie, sino también para el tobillo y para el resto del miembro inferior<sup>124</sup>.

En muchas ocasiones, la inestabilidad subastragalina se asocia a inestabilidad lateral crónica de tobillo (ILCT)<sup>62</sup>. Esta inestabilidad subtalar como parte de la inestabilidad del complejo tibiotalcáneo está cada vez mejor definida en la literatura<sup>20,101,123</sup>

Las articulaciones subastragalina, tibioastragalina, talocalcáneo navicular y calcaneocuboidea, forman una unidad funcional difícil de disociar en cuanto a su funcionamiento y constituyen el llamado complejo peritalar<sup>46</sup>.

En los últimos años, se han multiplicado las publicaciones sobre esta articulación para intentar aportar luz sobre aspectos anatómicos, biomecánicos, diagnósticos y sobre todo del tratamiento de la inestabilidad subtalar<sup>4,25,44,54</sup>.

La discusión la vamos a basar en lo que aporta esta Tesis Doctoral al mejor conocimiento de la anatomía, biomecánica y tratamiento de la inestabilidad subtalar.

## 5.1. DISCUSIÓN ANATÓMICA.

El primer problema que nos encontramos al abordar el tema de la inestabilidad subtalar es la confusión que existe a la hora de describir la anatomía de la articulación subtalar. Existen numerosas descripciones sobre las estructuras tanto óseas como ligamentosas y diferentes descripciones de las relaciones entre ellas.

Aunque anatómicamente se describan como dos articulaciones separadas, la subtalar posterior y la subtalar anterior, estas articulaciones no se mueven de forma independiente. Además, es de gran importancia la articulación talocalcáneo navicular que se describe como el *acetabulum pedis*. Junto con la superficie fibrocartilaginosa del ligamento *spring* y el TTP, forma un acetábulo (*socket*) que permite la movilidad de la cabeza del astrágalo en los tres planos del movimiento. Este funcionamiento de las partes blandas (*Spring* y TTP) se pone de manifiesto durante la marcha y con el apoyo, por lo que, en estudios en cadáver sin carga, como el que hemos realizado, no se

considera<sup>3</sup>. En algunas ocasiones, la parte más medial de la cresta anterior del calcáneo se localiza más anterior y medial y forma una articulación con el hueso navicular formando una articulación calcáneonavicular.

La estabilidad subastragalina se debe a la geometría articular de la subtalar, a la articulación talocalcáneonavicular (*coxa pedís*) y a los ligamentos. Una articulación subtalar más plana, así como alteraciones en el complejo de la *coxa pedís*, presenta más incidencia de inestabilidad. Nuestro estudio se ha centrado en la importancia de las estructuras ligamentosas para la estabilidad subtalar sin atender a la geometría articular. La anatomía de los ligamentos del canal y seno del tarso es muy compleja y ha sido objeto de diferentes estudios a lo largo de las últimas décadas<sup>11,19,26,80</sup>.

Existe, sin embargo, gran confusión, no sólo en la descripción anatómica de las diferentes estructuras ligamentosas de la articulación subtalar, sino también en la terminología que se utiliza para la descripción de cada una de ellas y de su función<sup>11,13,19,49,62,80,125</sup>.

En muchas publicaciones se ha asimilado el seno del tarso con el canal del tarso y esto ha dado origen a confusiones en la clasificación y descripción de los ligamentos subtalares.

Se ha comparado el seno del tarso con la fosa intercondílea de la rodilla y el asiento de los ligamentos cruzados<sup>126</sup>. El canal del tarso, es más medial y menos abordable por lateral que el seno del tarso y es donde se inserta el LTCl.

En nuestro trabajo hemos utilizado la descripción realizada por Viladot, que divide a los ligamentos subtalares como extrínsecos e intrínsecos<sup>10</sup>.

Los ligamentos extrínsecos son el LPC, el LTPA y el ligamento deltoideo y se sitúan externamente a la articulación subtalar. De éstos, el LPC se considera el más importante, siendo considerado por varios autores como el principal estabilizador de la articulación subtalar<sup>12,48,57</sup>. Por esta razón, en la fase final de nuestro experimento, hemos seccionado el LPC, para valorar la estabilidad que éste aporta a la articulación subtalar.

Aunque no lo hemos valorado en nuestro estudio, el ligamento deltoideo, situado en la parte medial del tobillo, cruza la ASA, por lo que posiblemente también tendrá un papel en la estabilización medial de la articulación subtalar, aunque este punto está poco estudiado en la literatura y podría ser una interesante línea de trabajo futuro<sup>127</sup>.

La confusión se encuentra sobre todo en los ligamentos intrínsecos que son aquellos que se sitúan dentro del seno y del canal del tarso. Clásicamente, se describen como los principales ligamentos que participan de la estabilidad subastragalina y que se encuentran de manera casi constante en los distintos estudios.

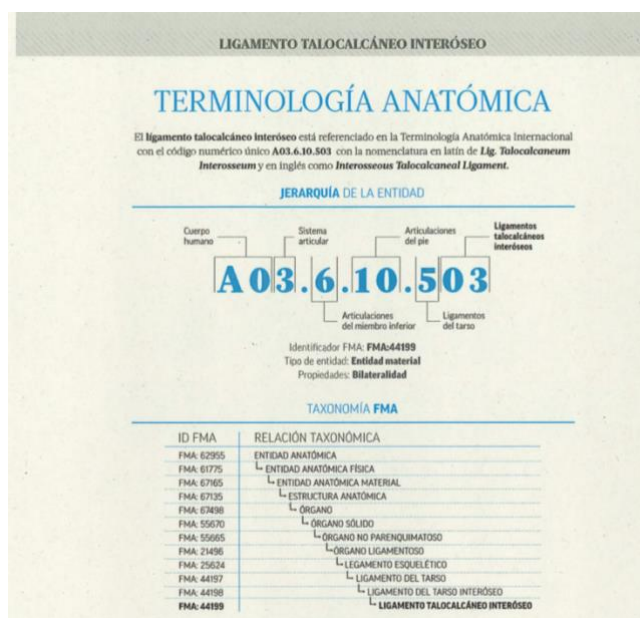
Nos encontramos de lateral a medial, el REI con sus tres haces, el LC y el LTCI. En varios estudios se habla también del ligamento talocalcáneo anterior (LTCa) también denominado ligamento capsular inferior<sup>101</sup>. Sin embargo, la mayoría de los estudios no describen su existencia<sup>10,11,71,91</sup> por lo que no lo hemos tenido en cuenta en nuestro trabajo. Muchos autores lo consideran una estructura inconstante<sup>11,19,62,101</sup>.

En la bibliografía nos encontramos con gran profusión de términos para denominar a estos ligamentos. Michels, publica en 2020 una revisión con las diferentes terminologías que se han empleado para cada ligamento subtalar en los diferentes estudios<sup>56</sup>.

<b>Ligamento cervical</b>
<i>Ligamento de Fick</i>
Ligamento talocalcáneo anterior Ligamento talocalcáneo anterolateral Ligamento talocalcáneo anterior Lig talocalcaneo oblicuo Ligamento talocalcáneo externo Banada lateral del ligamento interóseo Ligamento talcalcáneo cervical
<b>Ligamento talocalcáneo interóseo</b>
<i>Ligamento de Farabeuf</i>
Ligamento del canal del tarso Ligamento oblícuo astrágalo calcáneo Ligamentos cruzado del tarso Ligament axial

**Tabla 21.** Diferente terminología empleada en los ligamentos intrínsecos de la articulación subtalar.

Hemos querido usar el término ligamento talocalcáneo interóseo tal y como se recomienda en el Diccionario de Términos médicos de la Real Academia Nacional dMedicina de España (RANME). (Fig.56)



**Figura 56:** Diccionario de Términos médicos de la Real Academia Nacional dMedicina de España (RANME)

Tal como hemos observado en nuestro estudio, las estructuras ligamentosas de la subtalar se vuelven cada vez más fuertes de lateral a medial, lo cual, unido al aumento de fibras de tejido conectivo hace suponer la vital función estabilizadora del LTCI.

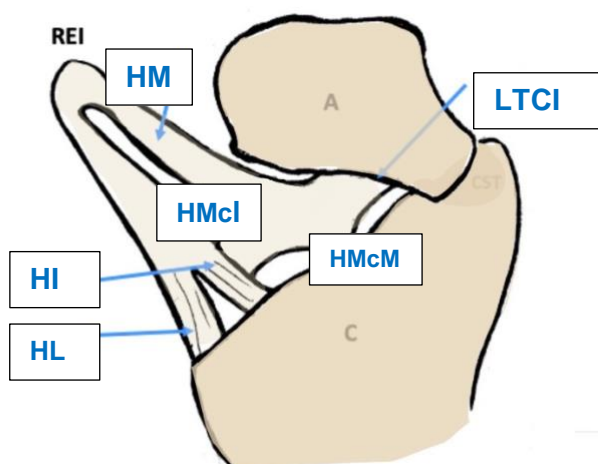
Cuando hablamos de IST, no sólo nos referimos a la inestabilidad subtalar lateral, ya que existen estructuras subtalares como el LTCI y el fascículo tibioalcaneo del ligamento deltoideo que limitan las fuerzas pronadoras<sup>46,56</sup>.

## 1. Retináculo Extensor Inferior.

El REI es una estructura compleja descrita por Retzius<sup>128</sup> que sorprendentemente ya estaba descrita en los manuales clásicos de anatomía, pero que normalmente ha pasado desapercibida en los manuales de cirugía. Existen autores que debido a la mayor proporción de fibras elástica que presenta y a la menor consistencia no consideran que sea un estabilizador de la articulación subtalar<sup>10</sup>.

Encontramos diferentes sinónimos en la literatura: Ligamento Frondiforme, ligamento De Retzius, ligamento *Cruciatum-cruis* o ligamento Cruciforme.

En las últimas publicaciones encontramos discrepancia a la hora de describir el REI y sus tres bandas clásicas, lateral, intermedia y medial que a su vez también se subdividen. Es una estructura intraarticular <sup>47</sup>.



**Figura 57.** Esquema anatómico del RIE y LTCl en el seno del tarso, visión posterior. Abreviaturas: A, astrágalo; C, calcáneo (eliminando su faceta posterior); REI, Retináculo Extensor Inferior HL, haz lateral; HI, haz intermedio del REI; HM, haz medial; HMcl, componente lateral HM; HMcm, componente medial HM; LTCl, ligamento talocalcáneo interóseo

La capa más externa es el haz lateral del REI. Se inserta de la parte lateral del seno del tarso y se fusiona con el retináculo inferior de los peroneos en el margen superolateral del calcáneo.

El haz intermedio se sitúa medialmente al externo, posterolateralmente en el seno del tarso, separándose del haz medial por un orificio que ha sido descrito de manera constante en distintos estudios <sup>13,101,125(101), (13)</sup>.

El haz medial es la principal estructura del REI <sup>26</sup>. Se sitúa más medial y profundo en el seno del tarso, en la parte más anterolateral del canal del tarso y es en el que encontramos más variaciones en su descripción en la literatura.

Para algunos autores, el haz medial se fracciona en 3 componentes (lateral, medial y talar) y otros afirman que el haz medial se divide en dos: un componente lateral (HMcl) y otro medial (HMcm), considerando como componente medial, la unión de los anteriormente descritos como talar y medial <sup>101</sup>. El HMcl, de mucha menor entidad, se une a las fibras del haz intermedio para insertarse conjuntamente al calcáneo (Figura 46).

El HMcm, de mayor grosor y volumen, ocupa una parte del canal del tarso, consta de fibras superiores que se unen al cuello del astrágalo; e inferiores, que se insertan en el suelo del canal tarsiano en el calcáneo. Estas fibras presentan una dirección en el canal, de superolateral a inferomedial y se une con las fibras del LTCl que se extienden de superomedial a inferolateral formando una V.

Entre los haces intermedio y medial del RIE se forma un ojal descrito en varios estudios anatómicos<sup>26,101,125</sup>. Esta estructura conecta el tejido sinovial de las articulaciones talocalcaneanavicular y talocalcánea posterior y contiene, en el tejido sinovial que la rellena, numerosas terminaciones nerviosas y vasculares<sup>129</sup>, lo que podría apuntar a algún tipo de función en la propiocepción de la ASA.

Hasta hace no mucho se pensaba que las fibras del REI no unían el talus al calcáneo <sup>10</sup> sino que servían de inserción a partes blandas como el músculo extensor corto de los dedos (ECD) o el ligamento crural del tarso y que sólo se de forma indirecta contribuían a estabiliza la articulación subtalar.

En la bibliografía más reciente cada vez se le da más importancia al REI <sup>113</sup> y se señala la aportación que hace en la inversión y eversión del pie. Weindel<sup>12</sup> demuestra en un estudio anatómico, que la disección del REI, conlleva una inestabilidad en inversión y eversión. Esta es una las causas por las que el procedimiento de Gould, que retensa este REI, ayuda a la estabilización del tobillo y de la articulación subtalar <sup>117,130</sup>. Gould demuestra que la reinserción del REI protege la reparación del LPAA<sup>130</sup>.

A pesar de la complejidad de la estructura de este retináculo, lo hemos tratado como un todo, realizando la resección en bloque de todos sus haces a la hora de realizar las mediciones de la estabilidad subtalar.

En nuestro trabajo, como en el de Weindel, hemos observado que el REI tiene un papel fundamental en la estabilidad de la articulación subtalar en inversión en el plano axial u horizontal, es decir en rotación interna, aunque también tiene un cierto papel en la estabilización en eversión.

## 2. Ligamento Cervical.

El ligamento cervical, es una de las estructuras que se describe en la literatura de forma más homogénea <sup>11,19,26,80,101</sup> aunque se le han dado infinidad de nombres como, ligamento de Fick, ligamento anterolateral talocalcáneo, ligamento talocalcáneo oblicuo, ligamento externo talocalcáneo, banda lateral del ligamento interóseo o ligamento cervical talocalcaneo.

Existen autores clásicos que no distinguen el LC y el LTCl <sup>131</sup>.

El LC es una estructura potente que se sitúa a 45° sobre la horizontal, ascendiendo, desde la superficie posterolateral del calcáneo hasta la zona inferolateral del cuello astragalino, donde se inserta. Sus fibras están orientadas con un ángulo ligeramente proyectado de superoanterior a inferoposterior, mientras que las fibras del LTCl se orientan de superomedial a inferolateral. Debido a la diferente angulación de las fibras del LC y del LTCl, hay autores que los asimilan a los ligamentos cruzados de la rodilla. Las fibras de ambos se superponen situándose el LC anterior <sup>132</sup>.

Existen autores que lo identifican como parte de la cápsula posterior de la articulación talocalcáeonavicular<sup>125</sup>, mientras que otros autores lo describen como una estructura extracapsular <sup>19</sup>.

Michels, en su interesante trabajo anatómico mide el grosor, anchura y longitud del LC encontrando dimensiones parecidas a los ligamentos laterales de tobillo como el LPAA y el LPC <sup>56</sup>. Presuponen, en base a las medidas obtenidas, que este ligamento tendrá una importante función en la estabilidad subtalar y observan que sus fibras se tensan en inversión. Estos autores defienden la importancia del LC respecto al LTCl en la estabilidad subtalar y cuestionan la validez de estudios publicados, en los que se realizan secciones seriadas de los ligamentos subtalares, pero en los que se omite el LC del protocolo.

Li <sup>101</sup> lo considera el ligamento más importante del seno del tarso. Yamaguchi <sup>125</sup>, que estudia el contenido del seno y del canal del tarso, considera que estos ligamentos se distribuyen en tres capas, de las cuales, el LTCl se relaciona con el REI, mientras que el LC lo hace con la cápsula posterior de la articulación talocalcáeonavicular.

Diversos autores coinciden en que la función del LC es limitar la inversión<sup>11.19.132</sup>. La sección del LC aumenta la flexión plantar. Además de limitar la inversión del astrágalo, también limita la rotación externa<sup>21</sup>.

La deficiencia del LPC produce una elongación significativa del LC<sup>67</sup>.

El LC no sólo restringe la movilidad excesiva del talus en inversión, sino que limita la rotación del astrágalo al aplicar fuerzas de torsión externa por lo que el LC previene la excesiva supinación<sup>119,6</sup>.

En nuestro trabajo, al seccionar el LC observamos un gran aumento de la rotación externa en eversión, por lo que podemos decir que tiene un papel fundamental en la estabilidad de la articulación subtalar en eversión en el plano axial en rotación externa, acorde con trabajos de Kjaersgaard-Andersen<sup>21</sup>, aunque no hemos encontrado que sea un gran estabilizador de la inversión como defienden otros autores como Liu o Pisani<sup>6,119</sup>.

### **3. Ligamento Talocalcáneo interóseo.**

Es el ligamento subtalar en el que existe una mayor confusión en la descripción y nomenclatura en la bibliografía. Se le ha llamado de diversas formas como: ligamento de Farabeuf, ligamento del canal del tarso, ligamento del seno del tarso, ligamento cruzado del tarso o ligamento axial<sup>10</sup>.

Nosotros preferimos la nomenclatura anatómica, denominándolo ligamento talocalcáneo interóseo (LTCl). Se trata de una estructura oblicua situada en el margen medial del canal del tarso. Se relaciona posteriormente con la cápsula articular talocalcánea y medialmente con el HMcm del REI, con el que se une.

Las fibras del LTCl llevan un recorrido de superomedial a inferolateral (que es la dirección que hemos reproducido en nuestra técnica de reconstrucción), al contrario que las mencionadas fibras del REI, que surcan el canal desde superolateral a inferomedial. Forman con este haz medial del REI una característica unión en "V", y realizan su inserción de manera conjunta tras fusionarse. Esta fusión es de tal importancia que, algunos estudios recientes, han demostrado que los movimientos en uno de los ligamentos se transducen en el otro y que las fibras de ambos no pueden ser separadas por un plano anatómico<sup>26,119</sup>.

Hay algunos autores, como Yoon<sup>97</sup>, que consideran que el LTCl y el LTCa corresponden a partes diferentes del llamado clásicamente ligamento interóseo y que el LTCa correspondería a la parte más vertical y lateral y el LTCl a la parte más medial y oblícua.

En cuanto a la contribución del LTCl a la estabilización de la articulación subastragalina, este aspecto no está totalmente establecido. La mayoría de los autores están de acuerdo en que se trata de un ligamento fundamental en mayor o menor cuantía para la estabilidad y funcionalidad de la articulación subastragalina, pero tampoco existe consenso en la literatura sobre su verdadera contribución a la estabilidad de la articulación subtalar.

Algunos autores describen diferentes partes dentro de este ligamento y describen su función como la de oponer, el astrágalo en el calcáneo en todas las posibles posiciones, aunque sin que tenga ninguna función en la inversión o eversión subtalar<sup>19</sup>. Para otros, su función se limita a estabilizar la eversión del pie<sup>11</sup>, mientras que, para Kato, además, evita el desplazamiento anterior<sup>43</sup>. Mientras que hay autores para los que el LTCl, estabiliza la subtalar en todas las direcciones contribuyendo cuando se lesiona, a la clínica del síndrome del seno del tarso y a la inestabilidad de dicha articulación<sup>1,21</sup> para otros autores, es una banda fina dentro del canal que no aporta gran estabilidad a la articulación<sup>56</sup>.

Existen estudios en cadáver en los que se demuestra que la sección del LTCl aumenta, de forma moderada, pero significativa, la movilidad de la articulación subtalar, sobre todo cuando el tobillo se encuentra en flexión dorsal. Kjaersgaard-Andersen<sup>21</sup> en 1988, describe un aumento de la rotación interna y externa en el plano axial del 21% y en el plano coronal, un aumento de la supinación y pronación del 16% y flexión dorsal del 43%. Este aumento de rotación y de abducción y aducción al seccionar el LTCl es mayor del que se obtiene al seccionar el LC.

Según Knudson<sup>20</sup>, el LTCl contribuye a la estabilidad en supinación, pero no en pronación. Sin embargo, en estudios anatómicos recientes se considera que, debido a la localización medial del LTCl, muy cerca del eje de rotación, éste debe tener una función más limitada a la hora de oponerse a la inversión. Así, como la principal función del LC sería limitar la supinación, la función principal del LTCl sería la de oponerse a la pronación excesiva<sup>56</sup>.

El LTCl tiene un importante papel en la restricción de la inversión subtalar y

desplazamiento anteromedial en condiciones de cadena cinética abierta<sup>22,58</sup>.

La sección del LTCl aumenta la inestabilidad producida por la sección del LPC<sup>22</sup>.

También existen estudios que aportan datos sobre la estabilidad que proporciona el LTCl, no sólo en la articulación subtalar sino en la tibiotalar<sup>44</sup>. Así, mientras la sección del ligamento LPAA no presenta cambios medibles en la cinemática del retropié, la sección del LTCl causa un desplazamiento anterolateral rotatorio del astrágalo. Esta observación nos muestra que la sección del LTCl no sólo produce inestabilidad subtalar, sino también inestabilidad anterolateral rotatoria de tobillo en situaciones de carga axial. Presumiblemente, el LTCl además de dar estabilidad subtalar, contribuye a la estabilidad del todo el complejo tobillo/ subtalar.

Ringleg<sup>59</sup>, intenta valorar la inestabilidad tibiotalar y subtalar, en un modelo con diferentes condiciones de carga tras la sección del LPAA, LPC y LC junto con el REI y el LTCl. Concluye que el LTC es el mayor estabilizador de la articulación subtalar.

A pesar de existir diversos estudios en cadáver, en los que se realizan cortes secuenciales para poder provocar una inestabilidad subtalar y así conocer qué ligamento es el que aporta más estabilidad subtalar, a día de hoy, todavía, no existe consenso en cuanto a qué ligamento es el que aporta mayor estabilidad. Ruben and Whitten, Kjaersgaard-Andersen, Heilman, Harper, Kato y Pisani<sup>6,21,22,43,47,80</sup> consideran que es el LTCl frente a Karlsson y Meyer<sup>30,115</sup> que consideran que es el LC.

Michels, realiza una revisión bibliográfica publicada recientemente, para intentar establecer si la lesión de los ligamentos subtalares es causa de inestabilidad subtalar y si hay un ligamento que sea más responsable que otro. La revisión no encuentra ningún ligamento específico que sea el causante de la inestabilidad subtalar<sup>52</sup>.

Estudios más recientes demuestran de manera muy consistente la relación existente entre el LTC y el REI en su componente medial, pudiendo esto orientarnos a la idea de que dichos ligamentos actúen conjuntamente<sup>82,97</sup>.

Asimismo, habría que dar más importancia a las estructuras capsulares y a los ligamentos que se encuentran en ellas (ligamento capsular anterior y LC). Dichas estructuras actúan como estabilizadores junto a las cápsulas articulares, que se interconectan sinovialmente a través del orificio existente entre los fascículos, intermedio y medial del REI y con una posible función en cuanto a la generación de dolor y propiocepción en esta articulación.

La eversión e inversión que normalmente se atribuye a la articulación subtalar se produce simultáneamente en la talocalcáeonaviclar<sup>13</sup>. También cada vez se le da más importancia al papel de las deformidades del retropié como desencadenante de IST y de ILCT<sup>78</sup>.

Los hallazgos de nuestro trabajo coinciden con diversos autores como Smith<sup>11</sup>, Kato<sup>43</sup>, Sarrafian<sup>1</sup>, Kjaersgaard-Andersen<sup>21</sup> Knudson<sup>20</sup> y Ringled<sup>59</sup> en la importante contribución del LTCl a la estabilidad subtalar, siendo un importante estabilizador en los planos coronal y sagital tanto en eversión como en inversión.

#### 4. Ligamento Peroneo Calcáneo

Por lo que respecta a los ligamentos extrínsecos, el LPC se considera el más importante de todos siendo considerado por varios autores como el principal estabilizador de la articulación subtalar, aunque también existe controversia en este aspecto<sup>6,12,57,78,133,134,135</sup>.

Por esta justificación anatómica, en nuestro trabajo, una vez realizada la reconstrucción del LTCl, hemos seccionado el LPC volviendo a evaluar la estabilidad ST.

El LPC es el único ligamento que cruza la articulación del tobillo y la subtalar en el lado externo junto con el ligamento talocalcáneo lateral de escasa consistencia y, que se extiende desde la parte lateral del proceso lateral del astrágalo a la pared lateral del calcáneo justo medial al LPC<sup>13</sup>. Existen estudios que defienden la gran contribución del LPC a la estabilidad del tobillo y la articulación subastragalina cuestionando la importancia del LTCl y las estructuras adyacentes<sup>12,48,57,62</sup>.

Esta inestabilidad se produce sobre todo en inversión, aunque existe un aumento de movilidad en los tres planos del espacio<sup>12</sup>. Aunque dicho efecto no se ha podido demostrar en otros estudios en cadáver<sup>59,136,137</sup>. Existe un aumento de rotación externa del astrágalo al seccionar el LPC, que va aumentando al realizar la flexión plantar del tobillo<sup>21</sup>. Por eso se ha dicho que el LPC es el mayor limitador de la rotación externa<sup>138</sup>. Kamiya, demuestra que la sección los ligamentos LPC, LC y LTCl aumenta la movilidad del astrágalo al aplicar fuerzas de inversión y rotación externa, pero en su estudio no tiene en cuenta la afectación del REI<sup>100</sup>.

Otros autores<sup>92</sup>, sin embargo, abogan porque la contribución a la estabilidad subtalar del LPC es menor que la del LTCl en pacientes con esguinces crónicos. Choisne comprobó esto mismo en un estudio biomecánico en el que la sección del LPC

desestabilizaba en inversión el tobillo, pero no así la subtalar mientras la sección del LTCL no afectaría la movilidad del tobillo, pero si la inversión subtalar <sup>58</sup>.

En nuestro estudio, la sección del LPC desestabiliza la articulación ST en eversión en todos los planos del espacio y en inversión en el plano coronal, es decir en varo, de manera estadísticamente significativa.

Sin embargo, esta inestabilidad se produce sobre todo en estudios en descarga, como es nuestro estudio, ya que como demostró Michelson, la sección de todos los ligamentos laterales del tobillo incluyendo el LC, no causaba grandes cambios en la cinemática subtalar durante la fase de bipedestación<sup>137</sup>.

### **5.3. DISCUSIÓN BIOMECÁNICA.**

El conocimiento anatómico de cada estructura ligamentosa nos permite una correcta aproximación a la compleja biomecánica de la articulación subtalar.

La articulación subtalar tiene un movimiento a través de un eje helicoidal por lo que la afectación de las estructuras ligamentosas que la estabilizan producirá una hipermovilidad tanto en el plano rotacional como traslacional <sup>24,36,65</sup>.

Cuando existe una alteración de los ligamentos del seno y del canal del tarso, normalmente asociados a la afectación ligamentosa del tobillo, se produce un aumento de movilidad en la articulación subtalar. Este aumento de movilidad se ha propuesto como causante de la degeneración articular a dicho nivel.

La mayoría de los autores publica datos sobre el importante papel que desempeña el LTCL en la correcta función de la articulación subtalar, restringiendo la movilidad articular de la articulación subastragalina. Actuaría como un pivote sobre el que el calcáneo puede realizar movimientos en 6 grados de libertad.

El objetivo de este trabajo ha sido intentar valorar en qué plano de movimiento se ve más afectada la estabilidad subtalar, al seccionar diferentes estructuras ligamentosas y si la reparación del LTCL es de utilidad para el tratamiento de dicha inestabilidad. En este sentido es un trabajo novedoso tanto en la utilización del artrómetro de medición de la estabilidad angular triplanar, como en el diseño del mismo con el ánimo de intentar identificar cómo afecta, la sección secuencial de los distintos ligamentos en los planos axial, coronal y sagital, tanto en inversión como en eversión.

La contribución de la articulación tibiotalar al rango de movilidad de la subtalar es de un tercio<sup>40</sup>. Al colocar el tobillo en dorsiflexión, se disminuye la inversión subtalar de 32° a 22°<sup>42</sup>, por ello hemos realizado las mediciones angulares con el tobillo fijado a 0° de flexión dorsal. Al bloquear así la articulación tibioastragalina en la mortaja, tratamos de eliminar la movilidad del retropié dependiente de la articulación tibiotalar, pudiendo valorar así la movilidad dependiente sólo de la articulación subtalar.

Existen grandes discrepancias a la hora de realizar mediciones en la articulación subtalar, posiblemente debido a la movilización de las partes blandas y a la movilización de la articulación tibiotalar<sup>41</sup>.

La colocación de nuestro giroscopio con AK transóseas introducidas en el calcáneo, minimiza las variaciones que se pueden producir por la movilidad de las partes blandas. Aunque actualmente se sabe que el eje de la movilidad de la articulación subtalar, se debe a un haz de ejes instantáneos por la irregularidad de las facetas articulares subtalares<sup>13</sup>, desde un punto de vista clínico se asume que el movimiento se realiza a través de un eje uniaxial, en el que el calcáneo rota respecto al astrágalo de dorsolateral a medioplantar. Se podría aceptar que este eje coincide con el arco de movimiento del retropié de eversión/inversión, simplificando así dicho concepto en el trabajo<sup>25</sup>.

De todas formas, la eversión se asocia intrínsecamente con la extensión (dorsiflexión), pronación y adducción, mientras que la inversión se asocia con la flexión, supinación y adducción del pie<sup>38</sup>. Por esta razón, hemos realizado nuestro trabajo midiendo los 3 “ángulos de libertad o *Degree of Freedom*” en inversión y eversión.

La articulación subtalar funciona como un pivote en inversión y como una articulación plana en eversión. Esto se debe al mayor contacto causado por la congruencia articular de la articulación subtalar posterior en eversión, lo que le da más estabilidad<sup>13,39</sup>. Al ir seccionando estructuras ligamentosas esta congruencia se pierde y se produce un importante aumento de la inestabilidad, no sólo en inversión sino también en eversión.

La lesión del LTCI hace que se produzca una alteración de la articulación subtalar, provocando un desplazamiento anterior del calcáneo, que Kato mide en la proyección dorsoplantar del pie, observando los cambios en la distancia talomaleolar y calcáneo maleolar.

Existe también confusión a la hora de utilizar una u otra nomenclatura para definir los rangos de movilidad en los tres planos. Autores como Sangerorzan<sup>3</sup>, prefieren evitar términos como supinación y pronación aplicados a la subtalar y hablan de movilidad, en el plano frontal, como inversión/eversión, en el plano transversal, como abducción y aducción y en el plano sagital, como flexión plantar flexión dorsal.

En nuestro caso, utilizamos también la misma nomenclatura: en el plano sagital, flexión plantar y dorsiflexión, aunque preferimos los términos de rotación externa e interna en el plano horizontal o axial y de varo o valgo en el plano frontal o coronal. Asimilamos así esta terminología, con otros estudios publicados en la literatura en los que se ha utilizado el mismo dispositivo de medición<sup>139</sup>.

Existen pocos estudios realizados en condiciones de carga, pero se ha podido demostrar de forma estadísticamente significativa, un aumento de la rotación subtalar tras la sección ligamentosa<sup>44</sup>.

### **5.3. DISCUSIÓN BASADA EN EL TRATAMIENTO DE LA INESTABILIDAD SUBTALAR.**

Existen pocas descripciones en la literatura científica acerca de técnicas quirúrgicas en el tratamiento de la IST. En los últimos años la tendencia en el tratamiento de cualquier inestabilidad articular es, cada vez más, la reconstrucción con técnicas anatómicas y en muchas ocasiones asistida con la cirugía artroscópica.

Pensamos por tanto, que el tratamiento quirúrgico más adecuado en el caso de la IST es la reconstrucción anatómica mediante ligamentoplastia con aloinjerto del ligamento LTCI<sup>140</sup>.

La mayoría de los estudios que encontramos sobre el tratamiento quirúrgico son retrospectivos y con escaso número de pacientes y un seguimiento variable, por lo que el grado de recomendación es de escaso valor (exclusivamente trabajos de nivel IV y V). Distintos autores abogan por la reconstrucción anatómica del LTCI<sup>43,119</sup> al considerar este ligamento el más potente y principal estabilizador de la articulación subtalar<sup>21,24,59</sup>.

Son técnicas complicadas debido a la complejidad de esta articulación, al manejo de la cirugía artroscópica y a la exigente curva de aprendizaje.

Las complicaciones más frecuentes que nos encontramos son: la lesión de la rama cutánea intermedia del peronéo superficial o la lesión de la rama terminal del sural, la inestabilidad recurrente, la rigidez o la artrosis.

Hemos llevado a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica centrada en las técnicas de reconstrucción del LTCL, analizando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, que paso a discutir.

Pisani <sup>6</sup> describe una técnica abierta que sacrifica un hemitendón del PB. Creemos que la técnica es de gran complejidad, ya que realiza dos túneles en el astrágalo y dos en el calcáneo. El mismo autor, describe gran dificultad para localizar los túneles, lo que puede aumentar la aparición de complicaciones como: fracturas de la pared lateral del astrágalo, rigidez articular, problemas de necrosis cutánea y aumento del tiempo de isquemia quirúrgico.

Kato<sup>43</sup> en 1995 fue el primero en describir una técnica de reconstrucción del LTCL utilizando un injerto procedente de la parte lateral del tendón de Aquiles, que se tubulizaba junto con un ligamento artificial tipo Leeds Keio, realizando la fijación con dos grapas sobre la superficie talar y calcánea. Esta técnica, aunque tiene la ventaja de no restringir la movilidad subtalar ya que el ligamento reconstruido se localiza cerca del eje de rotación, nos parece que presenta algunos inconvenientes. La utilización de fibra de Leeds Keio que los autores defienden por aportar un refuerzo a la plastia, es una técnica que muy poco utilizada en el tratamiento de inestabilidades de otras articulaciones como la rodilla. La técnica descrita por los autores realiza un túnel completo de 4,5 mm en el astrágalo, pasando una plastia a través de él de 5mm, que a nuestro entender puede ser causa de complicaciones como el aumento de fracturas a la salida del túnel en el cuello del astrágalo. Por otra parte, el uso de grapas para la fijación de la plastia en calcáneo y astrágalo es algo ampliamente superado con los últimos diseños de implantes para la fijación ligamentosa y además también puede ser causa de molestias o afectación de diferentes estructuras, debido al angosto espacio existente sobre todo en el cuello del astrágalo. Hay que tener en cuenta que los materiales sintéticos se han relacionado con un alto porcentaje de fracasos y de cuadros de sinovitis reactivas.

Liu <sup>119</sup>, en 2011, publica un caso en el que realiza una reconstrucción anatómica del LTCL guiado por artroscopia. Coloca al paciente en decúbito lateral y emplea el tendón del músculo gracilis de la rodilla ipsilateral como injerto. Objetiva la lesión del LTCL y coloca la plastia utilizando el remanente del LTCL como punto de inserción. Realiza un

túnel mediante una guía en el astrágalo, de 4.5 mm, localizado en el borde anterolateral de la faceta posterior sobre el remanente del LTCl en dirección superomedial al cuello del astrágalo. El túnel calcáneo se sitúa en el remanente calcáneo del LTCl en el surco anterolateral de la faceta posterior del calcáneo.

Esta técnica tiene varias ventajas respecto a otras. La localización de los puntos de inserción de la plastia, se hacen bajo control de visión directa por el artroscopio. La utilización de una guía transósea también facilita la realización de los túneles. Como inconvenientes encontramos, como hemos descrito anteriormente en la técnica de Kato la realización de un túnel completo en el astrágalo con el consiguiente riesgo de lesión de estructuras vasculonerviosas, más riesgo de fracturas y la utilización del uso de grapas como sistema de fijación.

Jung<sup>121</sup>, utiliza una técnica de reconstrucción ligamentosa mediante cirugía abierta no anatómica en la que utiliza un aloinjerto de semitendinoso. Realiza un túnel en el suelo del seno del tarso, entre la banda lateral e intermedia del REI, posterior al LC y lateral a la inserción del LTCl de 5 mm de diámetro. Después se tuneliza el peroné con dos túneles en dirección oblicua. El primero se coloca ligeramente superior al LTPA y el segundo, también oblicuo y paralelo al anterior en la localización de la inserción del LPC. El último túnel se realiza en el calcáneo en la inserción distal del LC. Se pasa entonces la plastia a través de los dos túneles del peroné y se fija con tornillo de tenodesis al astrágalo intentando estabilizar la parte anterior y otro tornillo de tenodesis en calcáneo en la zona de inserción del LPC, para estabilizar la ST posterior y otro tornillo interferencial para estabilizarlo en el peroné y evitar fracturas de éste. Asume que la parte anterior de la plastia sustituye la función del LC y del LTCl ya que hace consideraciones sobre la dificultad de reconstrucción anatómica del LC y del LTCl.

Esta técnica tiene la ventaja de utilizar un aloinjerto, con lo que se minimizan las complicaciones de la zona donante como la rodilla y se evita el sacrificio del PB, que es un estabilizador dinámico de la subtalar. Sin embargo, consideramos que presenta gran dificultad técnica y tienen escasa reproducibilidad en la literatura. El mismo autor apunta que lo ideal sería una reconstrucción anatómica del LPC, del LTCl y del LC, que es un intento de estabilizar los ligamentos subtalares además del LCF que muchas veces está también afectado.

Para la realización de una plastia ligamentosa subtalar, al igual que hacemos en otras articulaciones como rodilla y tobillo, es de gran utilidad el uso de la artroscopia que nos

va a permitir valorar: lesiones intraarticulares , la existencia de roturas ligamentosas<sup>120</sup> y la colocación óptima de los túneles óseos en el lugar de la inserción anatómica correspondiente .

### ***JUSTIFICACIÓN DE NUESTRA TÉCNICA.***

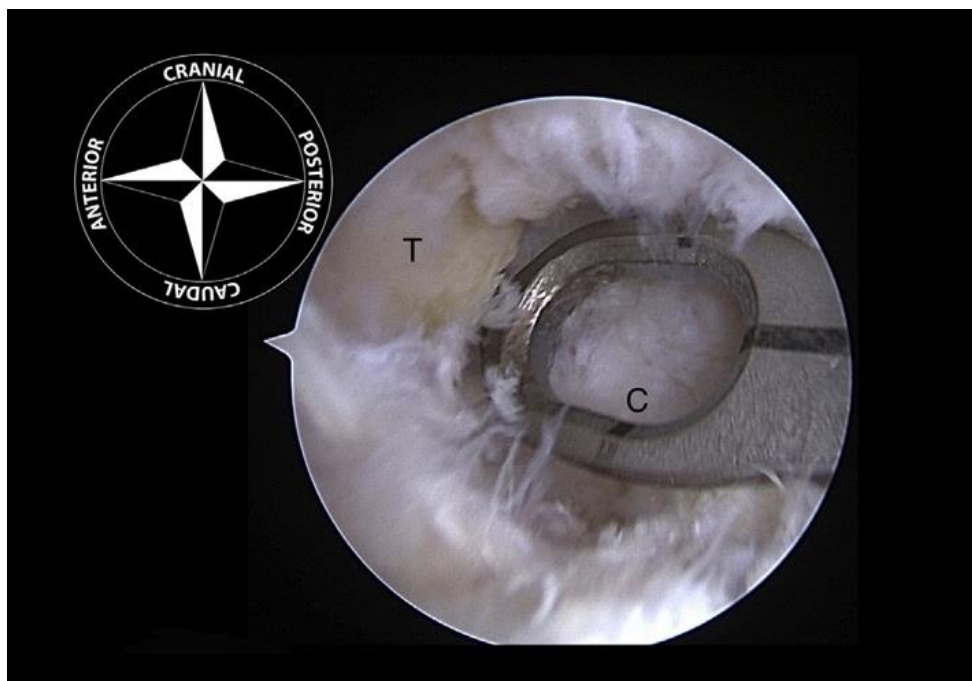
El empleo de nuestra técnica se basó en experimentos llevados a cabo en una serie de 5 piezas cadavéricas a los que se les realizó una artroscopia subtalar por vía lateral en el seno del tarso. ( Figura 58 y 59)



**Figura 58 y 59:** Artroscopia vía lateral sobre seno de tarso

Una vez desbridada la grasa del seno del tarso fuimos capaces de objetivar la colocación intraarticular del ligamento cervical. Una vez desbridado éste, con instrumental motorizado, visualizamos el LTCl, que también seccionamos para poder visualizar las huellas de la inserción tanto en el calcáneo como en el astrágalo.

Estas artroscopias realizadas en estas 5 piezas nos mostraron el lugar donde teníamos que colocar nuestras plastias, que no es otro, que el remanente de las fibras del LTCl.



**Figura 60.** Esquema de la técnica artroscópica, donde se objetivan las huellas de inserción del LTCl en calcáneo (C) y astrágalo (T); así como la guía del LCA en la realización del túnel en el calcáneo.



**Figura 61.** Esquema de la técnica artroscópica, donde se objetivan el paso de el agua guía en calcáneo



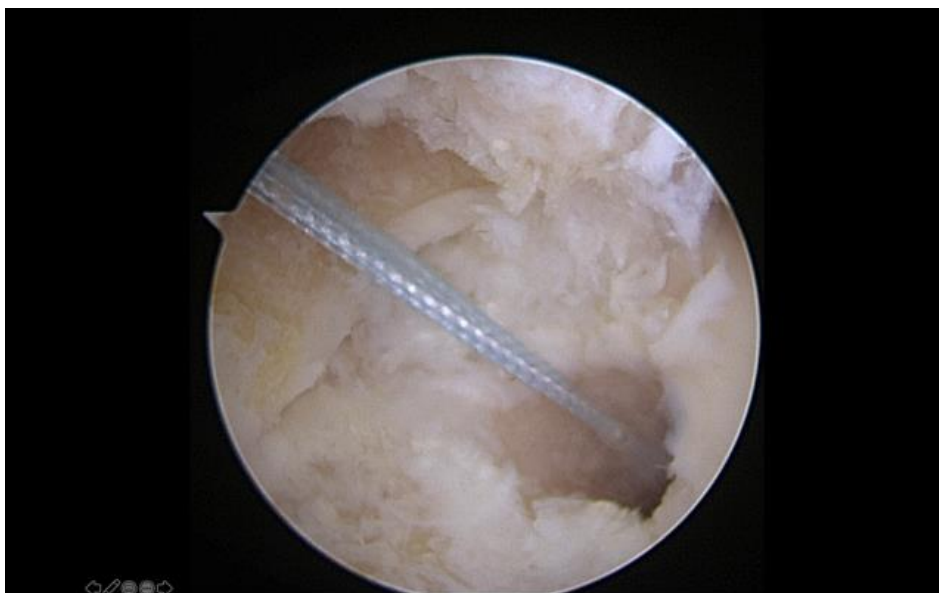
**Figura 62.** Esquema de la técnica artroscópica, donde se objetivan el paso de broca en Calcáneo



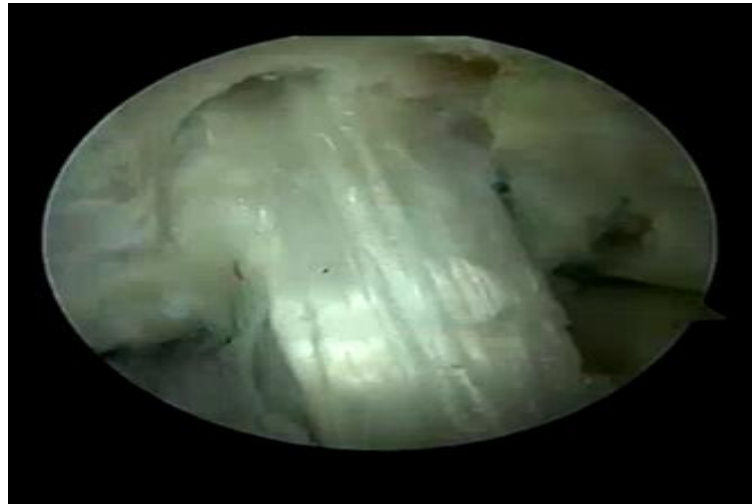
**Figura 63:** Esquema de la técnica artroscópica, donde se objetivan el paso de aguja - broca en Astrágalo



**Figura 64:** Esquema de la técnica artroscópica, donde se objetivan el paso broca para la realización de hemitúnel en astrágalo



**Figura 65:** Esquema de la técnica artroscópica, donde se objetivan el paso sutura de tracción del ligamento



**Figura 63:** Esquema de la técnica artroscópica, donde se objetivan el paso sutura de tracción del ligamento

La técnica quirúrgica ya explicada, creemos que presenta varias ventajas frente a otras técnicas publicadas en la literatura, para el tratamiento de la inestabilidad subtalar:

En primer lugar, la colocación de los túneles se realiza bajo control artroscópico, como hace Lui <sup>99</sup>, evitando la necesidad del uso de radioscopia.

También utilizamos una guía de LCA con un arco con rango de movilidad variable, lo que facilita mucho la colocación de los túneles siendo una técnica más reproducible.

En segundo lugar, la realización de un hemitúnel ciego en el astrágalo minimiza las posibles complicaciones producidas por un brocado completo del túnel talar; como son: la posibilidad de provocar una fractura en el cuello talar, además de las complicaciones de partes blandas y neurovasculares.

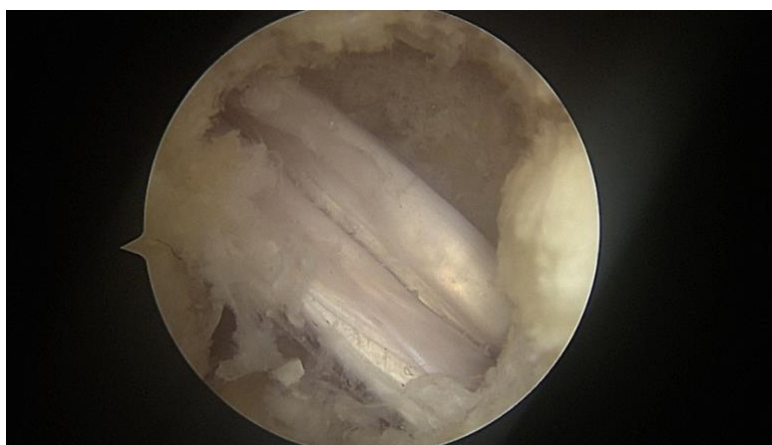
En tercer lugar, el uso de un sistema de fijación cortical en el astrágalo, produce una fijación más estable y al igual que en la articulación de la rodilla, permite un acortamiento en los tiempos de inmovilización.

En cuarto lugar, utilizamos aloinjerto de banco, lo que evita complicaciones en la zona donante<sup>81</sup> y proporciona una integración de la plastia más anatómica.

Por último, esta técnica es fácilmente reproducible y requiere poco tiempo de cirugía, lo que supone un valor añadido respecto a otras técnicas, sobre todo si esta inestabilidad subtalar, se produce en el contexto de una inestabilidad tibiotalar, que requiera también reparación. Esta técnica puede llevarse a cabo, tanto en cirugía artroscópica, como la abierta o mínimamente invasiva.



**Figura 67.** Esquema de la técnica original descrita en esta Tesis donde se observa la colocación de la plastia de reconstrucción del LTCl y los sistemas de fijación en calcáneo con tornillo interferencial y en astrágalo con sistema de fijación dinámica tipo Tighrope ACL. Dibujo cortesía de la Dra. Cristina Ojeda Theis.



**Figura 68:** Control artroscópico de plastia de reconstrucción del LTCl

## 5.5. DEBILIDADES Y FORTALEZAS.

Somos conscientes de que nuestro estudio tiene debilidades. En primer lugar, nos gustaría abordar las limitaciones propias de un estudio en cadáver. Evaluamos la técnica de reconstrucción con plastia autóloga, sin considerar que la fibrosis sea un factor importante para la estabilización, como si pudiera serlo en la técnica de reparación.

Por otro lado, no se puede evaluar el efecto dinámico de la estabilización muscular y no se tiene en cuenta la tensión de estructuras tan importantes como el tendón del músculo tibial posterior (TTP), el tendón del músculo flexor largo del primer dedo (FLPD) y el tendón del músculo flexor común de los dedos (FCD) que se sitúan inferiormente al *sustentaculum tali* y su contracción otorga estabilidad dinámica al retropié<sup>10</sup>.

Sólo podemos evaluar la estabilidad intrínseca que aportan las estructuras óseas y ligamentosas. Este aspecto no lo consideramos una debilidad en sí, ya que buscamos valorar si la estabilización producida por la reconstrucción con plastia, es similar a la del ligamento sano, independientemente de los estabilizadores activos.

Otra de las críticas que se puede hacer a este trabajo, es que cada muestra cadavérica es al mismo tiempo el control de cada una de las técnicas. No obstante, usar un grupo control, habría aumentado considerablemente el número de especímenes necesarios. La opción ideal, hubiera sido, disponer de un par de tobillos procedentes del mismo cadáver, para así poder realizar, en uno la técnica y en el otro haber podido emplearlo como control sano.

Hemos llevado a cabo el orden lógico en la metodología del estudio, usando los especímenes como grupo control y posteriormente estableciendo la inestabilidad producida por la lesión ligamentosa y la estabilidad mediante técnicas de reconstrucción con injerto.

En segundo lugar, debemos mencionar las limitaciones debidas al instrumento de medida. El artrómetro registra el movimiento angular en los tres planos anatómicos.

Consta de un sensor localizado en el astrágalo y calcáneo, que nos permite testar la aplicación de las maniobras de estrés en inversión y eversión.

La fuerza obtenida de la aplicación manual de las citadas maniobras, no fue medida de manera objetiva ya que realmente se trata de una medición dinámica. La medición objetiva, mediante tensiómetros, manteniendo una fuerza constante - situación ideal -, no nos permitiría simular las situaciones clínicas de inestabilidad. Este error se ha minimizado, siendo las maniobras de estabilidad realizadas siempre por el investigador principal y en tres ocasiones en cada prueba. La evaluación de la estabilidad subtalar, se realiza de manera análoga a la exploración física que se realiza en el diagnóstico de los pacientes con inestabilidad en la práctica clínica diaria, con la ventaja de que realizamos una cuantificación objetiva de la movilidad angular con el artrómetro.

Cómo fortalezas del trabajo, cabe destacar que hasta nuestro conocimiento no existe ningún estudio biomecánico en cadáver publicado hasta el momento que valore la estabilidad angular que presenta la técnica de reconstrucción anatómica con injerto del LTCL.

La medida de la estabilidad mediante el desplazamiento angular en lugar de lineal, es un concepto novedoso introducido por Pinto y cols.<sup>141</sup>, publicado recientemente.

Además, se trata de un estudio experimental en cadáver con un amplio tamaño muestral de 15 especímenes, con un diseño rigurosamente protocolizado para minimizar errores y con un instrumento de medida específicamente diseñado, ya empleado en publicaciones previas de biomecánica del tobillo.

## **7. CONCLUSIONES.**

1. La ligamentoplastia con autoinjerto del ELDG, estabiliza de maneras angular en el momento cero, la articulación subtalar en todos los planos, con significación estadística: en eversión en los planos axial y sagital y en inversión en los planos axial y coronal.
2. El LITC es un importante estabilizador de la articulación subtalar en los planos coronal y sagital, tanto en eversión como en inversión.
3. El LC tiene un papel fundamental en la estabilidad de la articulación subtalar en eversión en el plano axial.
4. El REI tiene un papel fundamental en la estabilidad de la articulación subtalar en inversión en el plano axial.
5. La sección del LPC inestabiliza la articulación subtalar en eversión en todos los planos del espacio y en inversión en el plano coronal de manera estadísticamente significativa.

Estudio biomecánico en cadáver del tratamiento de la inestabilidad subtalar mediante reconstrucción con plastia tendinosa del ligamento talocalcáneo interóseo

## **8.BIBLIOGRAFIA**

1. Sarrafian SK. Biomechanics of the subtalar joint complex. Clin Orthop. mayo de 1993;(290):17-26.
2. Lewis GS, Kirby KA, Piazza SJ. Determination of subtalar joint axis location by restriction of talocrural joint motion. Gait Posture. enero de 2007;25(1):63-9.
3. Sangeorzan A, Sangeorzan B. Subtalar Joint Biomechanics: From Normal to Pathologic. Foot Ankle Clin. septiembre de 2018;23(3):341-52.
4. Krähenbühl N. Can Weightbearing Computed Tomography Scans Be Used to Diagnose Subtalar Joint Instability? A Cadaver Study. J Orthop Res. 2019;9.
5. Maceira E, Monteagudo M. Subtalar anatomy and mechanics. Foot Ankle Clin. junio de 2015;20(2):195-221.
6. Pisani G, Pisani PC, Parino E. Sinus tarsi syndrome and subtalar joint instability. Clin Podiatr Med Surg. enero de 2005;22(1):63-77, vii.
7. Ledoux WR, Sangeorzan BJ. Clinical biomechanics of the peritalar joint. Foot Ankle Clin. diciembre de 2004;9(4):663-83.
8. Bohay DR, Manoli A 2nd. Subtalar joint dislocations. Foot Ankle Int. diciembre de 1995;16(12):803-8.
9. Shahabpour M, Devillé A, Van Roy P, Vaes P, De Mey J, De Maeseneer M. Magnetic resonance imaging of anatomical variants of the subtalar joint. Surg Radiol Anat SRA. septiembre de 2011;33(7):623-30.
10. Viladot A, Lorenzo JC, Salazar J, Rodríguez A. The subtalar joint: embryology and morphology. Foot Ankle. octubre de 1984;5(2):54-66.
11. SMITH JW. The ligamentous structures in the canalis and sinus tarsi. J Anat. octubre de 1958;92(4):616-20.
12. Weindel S, Schmidt R, Rammelt S, Claes L, v Campe A, Rein S. Subtalar instability: a biomechanical cadaver study. Arch Orthop Trauma Surg. marzo de 2010;130(3):313-9.
13. Bartoníček J, Rammelt S, Naňka O. Anatomy of the Subtalar Joint. Foot Ankle Clin. septiembre de 2018;23(3):315-40.
14. De Doncker, E., and Kowalski, C.: Cinesiologie et Reeducation du Pied. Paris, Masson, 1979.
15. Marchetti: Personal communication.
16. Valenti, V.: Personal communication.
17. Riaza, A.: Contribucion al conocimiento de la morfologia, estructura, desarrollo y biodinamica del astragalo humano. Doctoral thesis, Universidad de Oviedo, 1972.
18. Miralles, R.: Estudio de las lesiones producidas por la inversion del pie: zona de inversion. Doctoral thesis, Universidad Autonoma de Barcelona, 1979.

19. Cahill DR. The anatomy and function of the contents of the human tarsal sinus and canal. *Anat Rec.* septiembre de 1965;153(1):1-17.
20. Knudson GA, Kitaoka HB, Lu C-L, Luo ZP, An K-N. Subtalar joint stability: Talocalcaneal interosseous ligament function studied in cadaver specimens. *Acta Orthop Scand.* enero de 1997;68(5):442-6.
21. Kjaersgaard-Andersen P, Wethelund JO, Helmig P, Søballe K. The stabilizing effect of the ligamentous structures in the sinus and canalis tarsi on movements in the hindfoot. An experimental study. *Am J Sports Med.* octubre de 1988;16(5):512-6.
22. Heilman AE, Braly WG, Bishop JO, Noble PC, Tullos HS. An anatomic study of subtalar instability. *Foot Ankle.* febrero de 1990;10(4):224-8.
23. Choisine J, Hoch MC, Alexander I, Ringleb SI. Effect of Direct Ligament Repair and Tenodesis Reconstruction on Simulated Subtalar Joint Instability. *Foot Ankle Int.* marzo de 2017;38(3):324-30.
24. Tochigi Y, Amendola A, Rudert MJ, Baer TE, Brown TD, Hillis SL, et al. The role of the interosseous talocalcaneal ligament in subtalar joint stability. *Foot Ankle Int.* agosto de 2004;25(8):588-96.
25. Barg A, Tochigi Y, Amendola A, Phisitkul P, Hintermann B, Saltzman CL. Subtalar instability: diagnosis and treatment. *Foot Ankle Int.* febrero de 2012;33(2):151-60.
26. Jotoku T, Kinoshita M, Okuda R, Abe M. Anatomy of ligamentous structures in the tarsal sinus and canal. *Foot Ankle Int.* julio de 2006;27(7):533-8.
27. Mabit C, Boncoeur-Martel MP, Chaudruc JM, Valleix D, Descottes B, Caix M. Anatomic and MRI study of the subtalar ligamentous support. *Surg Radiol Anat SRA.* 1997;19(2):111-7.
28. Clanton TO. Instability of the subtalar joint. *Orthop Clin North Am.* octubre de 1989;20(4):583-92.
29. Tochigi Y. Effect of arch supports on ankle-subtalar complex instability: a biomechanical experimental study. *Foot Ankle Int.* agosto de 2003;24(8):634-9.
30. Meyer JM, Garcia J, Hoffmeyer P, Fritschy D. The subtalar sprain. A roentgenographic study. *Clin Orthop.* enero de 1988;(226):169-73.
31. de Asla RJ, Wan L, Rubash HE, Li G. Six DOF in vivo kinematics of the ankle joint complex: Application of a combined dual-orthogonal fluoroscopic and magnetic resonance imaging technique. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* mayo de 2006;24(5):1019-27.
32. Scott SH, Winter DA. Talocrural and talocalcaneal joint kinematics and kinetics during the stance phase of walking. *J Biomech.* 1991;24(8):743-52.

33. Kirby KA. Biomechanics of the normal and abnormal foot. *J Am Podiatr Med Assoc.* enero de 2000;90(1):30-4.
34. Goto A, Moritomo H, Itohara T, Watanabe T, Sugamoto K. Three-dimensional in vivo kinematics of the subtalar joint during dorsi-plantarflexion and inversion-eversion. *Foot Ankle Int.* mayo de 2009;30(5):432-8.
35. Stagni R, Leardini A, O'Connor JJ, Giannini S. Role of passive structures in the mobility and stability of the human subtalar joint: a literature review. *Foot Ankle Int.* mayo de 2003;24(5):402-9.
36. Manter JT. Manter JT. Movements of the subtalar and transverse tarsal joints. *Anat Rec.* 1941 Aug;80(4):397-410.
37. Jastifer JR, Gustafson PA. The subtalar joint: biomechanics and functional representations in the literature. *Foot Edinb Scotl.* diciembre de 2014;24(4):203-9.
38. Zwipp H, Tscherne H. [Treatment of chronic rotary instability of the subtalar joint]. *Unfallheilkunde.* mayo de 1984;87(5):196-200.
39. Zographos S, Chaminade B, Hobatho MC, Utheza G. Experimental study of the subtalar joint axis preliminary investigation. *Surg Radiol Anat.* 1 de marzo de 2001;22(5):271-6.
40. Taylor KF, Bojescul JA, Howard RS, Mizel MS, McHale KA. Measurement of isolated subtalar range of motion: a cadaver study. *Foot Ankle Int.* mayo de 2001;22(5):426-32.
41. Pearce TJ, Buckley RE. Subtalar joint movement: clinical and computed tomography scan correlation. *Foot Ankle Int.* julio de 1999;20(7):428-32.
42. Milgrom C, Giladi M, Simkin A, Stein M, Kashtan H, Margulies J, et al. The normal range of subtalar inversion and eversion in young males as measured by three different techniques. *Foot Ankle.* diciembre de 1985;6(3):143-5.
43. Kato T. The diagnosis and treatment of instability of the subtalar joint. *J Bone Joint Surg Br.* mayo de 1995;77(3):400-6.
44. Tochigi Y, Takahashi K, Yamagata M, Tamaki T. Influence of the interosseous talocalcaneal ligament injury on stability of the ankle-subtalar joint complex--a cadaveric experimental study. *Foot Ankle Int.* junio de 2000;21(6):486-91.
45. Perry J. Anatomy and biomechanics of the hindfoot. *Clin Orthop.* agosto de 1983;(177):9-15.
46. Hintermann B, Knupp M, Barg A. Peritalar Instability. *Foot Ankle Int.* mayo de 2012;33(5):450-4.
47. Rubin, G; Whitten, M. The subtalar joint and the symptom of turning over on the ankle: a "new method of evaluation utilizing tomography. *Am J Orthop,* 4:16-19.

48. Zwipp H, Rammelt S, Grass R. Ligamentous injuries about the ankle and subtalar joints. *Clin Podiatr Med Surg*. abril de 2002;19(2):195-229.
49. Aynardi M, Pedowitz DI, Raikin SM. Subtalar instability. *Foot Ankle Clin*. junio de 2015;20(2):243-52.
50. 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*. julio de 1969;51(5):904-12.
51. Hertel J, Denegar CR, Monroe MM, Stokes WL. Talocrural and subtalar joint instability after lateral ankle sprain. *Med Sci Sports Exerc*. noviembre de 1999;31(11):1501-8.
52. Michels F, Clockaerts S, Van Der Bauwhede J, Stockmans F, Matricali G. Does subtalar instability really exist? A systematic review. *Foot Ankle Surg Off J Eur Soc Foot Ankle Surg*. febrero de 2020;26(2):119-27.
53. Ishii T, Miyagawa S, Fukubayashi T, Hayashi K. Subtalar stress radiography using forced dorsiflexion and supination. *J Bone Joint Surg Br*. enero de 1996;78(1):56-60.
54. Yamamoto H, Yagishita K, Ogiuchi T, Sakai H, Shinomiya K, Muneta T. Subtalar instability following lateral ligament injuries of the ankle. *Injury*. mayo de 1998;29(4):265-8.
55. Laurin CA, Ouellet R, St-Jacques R. Talar and subtalar tilt: an experimental investigation. *Can J Surg J Can Chir*. julio de 1968;11(3):270-9.
56. Michels F, Matricali G, Vereecke E, Dewilde M, Vanrietvelde F, Stockmans F. The intrinsic subtalar ligaments have a consistent presence, location and morphology. *Foot Ankle Surg Off J Eur Soc Foot Ankle Surg*. 6 de marzo de 2020;
57. Pellegrini MJ, Glisson RR, Wurm M, Ousema PH, Romash MM, Nunley JA 2nd, et al. Systematic Quantification of Stabilizing Effects of Subtalar Joint Soft-Tissue Constraints in a Novel Cadaveric Model. *J Bone Joint Surg Am*. 18 de mayo de 2016;98(10):842-8.
58. Choisne J, Ringleb SI, Samaan MA, Bawab SY, Naik D, Anderson CD. Influence of kinematic analysis methods on detecting ankle and subtalar joint instability. *J Biomech*. 3 de enero de 2012;45(1):46-52.
59. Ringleb SI, Dhakal A, Anderson CD, Bawab S, Paranjape R. Effects of lateral ligament sectioning on the stability of the ankle and subtalar joint. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc*. octubre de 2011;29(10):1459-64.
60. Sugimoto K, Takakura Y, Samoto N, Nakayama S, Tanaka Y. Subtalar

arthrography in recurrent instability of the ankle. Clin Orthop. enero de 2002;(394):169-76.

61. Muñoz G, Eckholt S. Subtalar arthroscopy: indications, technique and results. Foot Ankle Clin. marzo de 2015;20(1):93-108.

62. Keefe DT, Haddad SL. Subtalar instability. Etiology, diagnosis, and management. Foot Ankle Clin. septiembre de 2002;7(3):577-609.

63. Karlsson J, Eriksson BI, Renström PA. Subtalar ankle instability. A review. Sports Med Auckl NZ. noviembre de 1997;24(5):337-46.

64. Mittlmeier T, Wichelhaus A. Subtalar joint instability. Eur J Trauma Emerg Surg Off Publ Eur Trauma Soc. diciembre de 2015;41(6):623-9.

65. Choisine J, Hoch MC, Bawab S, Alexander I, Ringleb SI. The effects of a semi-rigid ankle brace on a simulated isolated subtalar joint instability. J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc. diciembre de 2013;31(12):1869-75.

66. Thermann H, Zwipp H, Tscherne H. Treatment algorithm of chronic ankle and subtalar instability. Foot Ankle Int. marzo de 1997;18(3):163-9.

67. Martin LP, Wayne JS, Monahan TJ, Adelaar RS. Elongation behavior of calcaneofibular and cervical ligaments during inversion loads applied in an open kinetic chain. Foot Ankle Int. abril de 1998;19(4):232-9.

68. Close JR, Inman VT, Poor PM, Todd FN. The function of the subtalar joint. Clin Orthop. febrero de 1967;50:159-79.

69. Arndt A, Westblad P, Winson I, Hashimoto T, Lundberg A. Ankle and subtalar kinematics measured with intracortical pins during the stance phase of walking. Foot Ankle Int. mayo de 2004;25(5):357-64.

70. Vaseenon T, Gao Y, Phisitkul P. Comparison of two manual tests for ankle laxity due to rupture of the lateral ankle ligaments. Iowa Orthop J. 2012;32:9-16.

71. Frey C, Feder KS, DiGiovanni C. Arthroscopic evaluation of the subtalar joint: does sinus tarsi syndrome exist? Foot Ankle Int. marzo de 1999;20(3):185-91.

72. Lee KB, Bai LB, Song EK, Jung ST, Kong IK. Subtalar arthroscopy for sinus Tarsi syndrome: arthroscopic findings and clinical outcomes of 33 consecutive cases. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc. octubre de 2008;24(10):1130-4.

73. Lee K-B, Bai L-B, Park J-G, Song E-K, Lee J-J. Efficacy of MRI versus arthroscopy for evaluation of sinus tarsi syndrome. Foot Ankle Int. noviembre de 2008;29(11):1111-6.

74. Saltzman CL, el-Khoury GY. The hindfoot alignment view. Foot Ankle Int. septiembre de 1995;16(9):572-6.

75. Roach KE, Foreman KB, Barg A, Saltzman CL, Anderson AE. Application of High-Speed Dual Fluoroscopy to Study In Vivo Tibiotalar and Subtalar Kinematics in Patients With Chronic Ankle Instability and Asymptomatic Control Subjects During Dynamic Activities. *Foot Ankle Int.* noviembre de 2017;38(11):1236-48.
76. Usuelli FG, Mason L, Grassi M, Maccario C, Ballal M, Molloy A. Lateral ankle and hindfoot instability: a new clinical based classification. *Foot Ankle Surg Off J Eur Soc Foot Ankle Surg.* diciembre de 2014;20(4):231-6.
77. Lamm BM, Paley D. Deformity correction planning for hindfoot, ankle, and lower limb. *Clin Podiatr Med Surg.* julio de 2004;21(3):305-26, v.
78. Bonnel F, Toullec E, Mabit C, Tourné Y. Chronic ankle instability: biomechanics and pathomechanics of ligaments injury and associated lesions. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* junio de 2010;96(4):424-32.
79. Freeman MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.* noviembre de 1965;47(4):669-77.
80. Harper MC. Stress radiographs in the diagnosis of lateral instability of the ankle and hindfoot. *Foot Ankle.* octubre de 1992;13(8):435-8.
81. Jung H-G, Park J-T, Shin M-H, Lee S-H, Eom J-S, Lee D-O. Outcome of subtalar instability reconstruction using the semitendinosus allograft tendon and biotendons screws. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* agosto de 2015;23(8):2376-83.
82. Kim TH, Moon SG, Jung H-G, Kim NR. Subtalar instability: imaging features of subtalar ligaments on 3D isotropic ankle MRI. *BMC Musculoskelet Disord.* 21 de noviembre de 2017;18(1):475.
83. Lee BH, Choi K-H, Seo DY, Choi SM, Kim GL. Diagnostic validity of alternative manual stress radiographic technique detecting subtalar instability with concomitant ankle instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* abril de 2016;24(4):1029-39.
84. Sugimoto K, Takakura Y, Akiyama K, Kamei S, Kitada C, Kumai T. Long-term results of Watson-Jones tenodesis of the ankle. Clinical and radiographic findings after ten to eighteen years of follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* noviembre de 1998;80(11):1587-96.
85. Sugimoto K, Isomoto S, Samoto N, Okahashi K, Araki M. Recent Developments in the Treatment of Ankle and Subtalar Instability. *Open Orthop J.* 2017;11:687-96.
86. Teramoto A, Watanabe K, Takashima H, Yamashita T. Subtalar joint stress imaging with tomosynthesis. *Foot Ankle Spec.* junio de 2014;7(3):182-4.
87. Sijbrandij ES, van Gils AP, van Hellemond FJ, Louwerens JW, de Lange EE.

- Assessing the subtalar joint: the Brodén view revisited. *Foot Ankle Int.* abril de 2001;22(4):329-34.
88. Louwerens JW, Ginai AZ, van Linge B, Snijders CJ. Stress radiography of the talocrural and subtalar joints. *Foot Ankle Int.* marzo de 1995;16(3):148-55.
89. Van Bergeyk AB, Younger A, Carson B. CT analysis of hindfoot alignment in chronic lateral ankle instability. *Foot Ankle Int.* enero de 2002;23(1):37-42.
90. Beimers L, Tuijthof GJM, Blankevoort L, Jonges R, Maas M, van Dijk CN. In-vivo range of motion of the subtalar joint using computed tomography. *J Biomech.* 2008;41(7):1390-7.
91. Fernandez Marín, Reyes. Análisis del síndrome doloroso-inestable de la articulación subastragalina mediante un método original. [Sevilla]: Universidad de Sevilla; 2020.
92. Waldecker U, Blatter G. Sonographic measurement of instability of the subtalar joint. *Foot Ankle Int.* enero de 2001;22(1):42-6.
93. Takao M, Innami K, Matsushita T, Uchio Y, Ochi M. Arthroscopic and magnetic resonance image appearance and reconstruction of the anterior talofibular ligament in cases of apparent functional ankle instability. *Am J Sports Med.* agosto de 2008;36(8):1542-7.
94. Lektrakul N, Chung CB, Ym L, Theodorou DJ, Yu J, Haghghi P, et al. Tarsal sinus: arthrographic, MR imaging, MR arthrographic, and pathologic findings in cadavers and retrospective study data in patients with sinus tarsi syndrome. *Radiology.* junio de 2001;219(3):802-10.
95. Tochigi Y, Yoshinaga K, Wada Y, Moriya H. Acute inversion injury of the ankle: magnetic resonance imaging and clinical outcomes. *Foot Ankle Int.* noviembre de 1998;19(11):730-4.
96. Seebauer CJ, Bail HJ, Rump JC, Hamm B, Walter T, Teichgräber UKM. Ankle laxity: stress investigation under MRI control. *AJR Am J Roentgenol.* septiembre de 2013;201(3):496-504.
97. Yoon DY, Moon SG, Jung H-G, Kim NR. Differences Between Subtalar Instability and Lateral Ankle Instability Focusing on Subtalar Ligaments Based on Three Dimensional Isotropic Magnetic Resonance Imaging. *J Comput Assist Tomogr.* agosto de 2018;42(4):566-73.
98. Oloff LM, Schulhofer SD, Bocko AP. Subtalar joint arthroscopy for sinus tarsi syndrome: a review of 29 cases. *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg.* junio de 2001;40(3):152-7.
99. Lui TH. Arthroscopic subtalar release of post-traumatic subtalar stiffness.

- Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc. diciembre de 2006;22(12):1364.e1-4.
100. Kamiya T, Kura H, Suzuki D, Uchiyama E, Fujimiya M, Yamashita T. Mechanical stability of the subtalar joint after lateral ligament sectioning and ankle brace application: a biomechanical experimental study. *Am J Sports Med.* diciembre de 2009;37(12):2451-8.
101. Li S-Y, Hou Z-D, Zhang P, Li H-L, Ding Z-H, Liu Y-J. Ligament structures in the tarsal sinus and canal. *Foot Ankle Int.* diciembre de 2013;34(12):1729-36.
102. Kobayashi T, Saka M, Suzuki E, Yamazaki N, Suzukawa M, Akaike A, et al. The effects of a semi-rigid brace or taping on talocrural and subtalar kinematics in chronic ankle instability. *Foot Ankle Spec.* diciembre de 2014;7(6):471-7.
103. Mann RA. Athletic injuries to the soft tissues of the foot and ankle. In: Mann RA, Coughlin MJ, editors. *Surgery of the foot and ankle.* 7th edition. St. Louis (MO): Mosby; 1999. p. 1153–65.
104. Watson-Jones. *Fractures and other bone and joint injuries.* 2nd ed. Williams&Wilkins. 1941. 821-823 p.
105. EVANS DL. Recurrent instability of the ankle; a method of surgical treatment. *Proc R Soc Med.* mayo de 1953;46(5):343-4.
106. CASTAING J, LE CHEVALLIER PL, MEUNIER M. [Repeated sprain or recurring subluxation of the tibio-tarsal joint. A simple technic of external ligamentoplasty]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* octubre de 1961;47:598-608.
107. Elmslie, R.C.: Elmslie, R.C.: Recurrent subluxation of the ankle joint. *Am. Surg.*, 100364-367,1934. *Am Surg*, 100364-367,1934.
108. Larsen E. Tendon transfer for lateral ankle and subtalar joint instability. *Acta Orthop Scand.* abril de 1988;59(2):168-72.
109. Schon LC, Clanton TO, Baxter DE. Reconstruction for subtalar instability: a review. *Foot Ankle.* abril de 1991;11(5):319-25.
110. Solheim LF, Denstad TF, Roaas A. Chronic lateral instability of the ankle. A method of reconstruction using the Achilles tendon. *Acta Orthop Scand.* febrero de 1980;51(1):193-6.
111. Snook GA, Chrisman OD, Wilson TC. Long-term results of the Chrisman-Snook operation for reconstruction of the lateral ligaments of the ankle. *J Bone Joint Surg Am.* enero de 1985;67(1):1-7.
112. Rosenbaum D, Becker HP, Sterk J, Gerngross H, Claes L. Functional evaluation of the 10-year outcome after modified Evans repair for chronic ankle

instability. *Foot Ankle Int.* diciembre de 1997;18(12):765-71.

113. Stephens MM, Sammarco GJ. The stabilizing role of the lateral ligament complex around the ankle and subtalar joints. *Foot Ankle.* abril de 1992;13(3):130-6.
114. van der Rijt AJ, Evans GA. The long-term results of Watson-Jones tenodesis. *J Bone Joint Surg Br.* mayo de 1984;66(3):371-5.
115. Karlsson J, Eriksson BI, Renström P. Subtalar instability of the foot. A review and results after surgical treatment. *Scand J Med Sci Sports.* agosto de 1998;8(4):191-7.
116. Saragaglia D, Fontanel F, Montbarbon E, Tourné Y, Picard F, Charbel A. Reconstruction of the lateral ankle ligaments using an inferior extensor retinaculum flap. *Foot Ankle Int.* noviembre de 1997;18(11):723-8.
117. Gould N, Seligson D, Gassman J. Early and late repair of lateral ligament of the ankle. *Foot Ankle.* septiembre de 1980;1(2):84-9.
118. Acevedo JI, Myerson MS. Modification of the Chrisman-Snook technique. *Foot Ankle Int.* febrero de 2000;21(2):154-5.
119. Liu C, Jiao C, Hu Y, Guo QW, Wand C, Ao Y. Interosseous talocalcaneal ligament reconstruction with hamstring autograft under subtalar arthroscopy: case report. *Foot Ankle Int.* noviembre de 2011;32(11):1089-94.
120. Whelan JH, Kiser C, Lazowitz JP, Nelson P, Sikes J, Greenhagen RM. Arthroscopic Evaluation of the Subtalar Joint: a Review and Survey of Pathology. *J Am Podiatr Med Assoc.* 24 de septiembre de 2019;
121. Jung H-G, Kim T-H. Subtalar Instability Reconstruction with an Allograft: Technical Note. *Foot Ankle Int.* agosto de 2012;33(8):682-5.
122. van Dijk CN, Lim LS, Bossuyt PM, Marti RK. Physical examination is sufficient for the diagnosis of sprained ankles. *J Bone Joint Surg Br.* noviembre de 1996;78(6):958-62.
123. Mittlmeier T, Rammelt S. Update on Subtalar Joint Instability. *Foot Ankle Clin.* septiembre de 2018;23(3):397-413.
124. Maceira, E; Monteagudo M. *Mecánica clínica y terapéutica de pie y tobillo* Madrid 2010).
125. Yamaguchi R, Nimura A, Amaha K, Yamaguchi K, Segawa Y, Okawa A, et al. Anatomy of the Tarsal Canal and Sinus in Relation to the Subtalar Joint Capsule. *Foot Ankle Int.* noviembre de 2018;39(11):1360-9.
126. Taillard W, Meyer JM, Garcia J, Blanc Y. The sinus tarsi syndrome. *Int Orthop.* 1981;5(2):117-30.

127. Golanó P, Vega J, de Leeuw PAJ, Malagelada F, Manzanares MC, Götzens V, et al. Anatomy of the ankle ligaments: a pictorial essay. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. mayo de 2010;18(5):557-69.
128. Retzius A. Bemerkungen über ein schlenderförmiges Band in dem Sinus tarsi, Menschen und mehrerer Thiere. *Arch Anat Phys Wiss Med (Müllers Arch)*. 1841;497–505.
129. Rein S, Manthey S, Zwipp H, Witt A. Distribution of sensory nerve endings around the human sinus tarsi: a cadaver study. *J Anat*. abril de 2014;224(4):499-508.
130. Aydogan U, Glisson RR, Nunley JA. Extensor retinaculum augmentation reinforces anterior talofibular ligament repair. *Clin Orthop*. enero de 2006;442:210-5.
131. Henry Gray: *Gray's Anatomy of the Human*. Lea & Febiger, Philadelphia; 1918. 1918.
132. Poonja AJ, Hirano M, Khakimov D, Ojumah N, Tubbs RS, Loukas M, et al. Anatomical Study of the Cervical and Interosseous Talocalcaneal Ligaments of the Foot with Surgical Relevance. *Cureus*. 22 de junio de 2017;9(6):e1382.
133. Fong DT, Chan Y-Y, Mok K-M, Yung PS, Chan K-M. Understanding acute ankle ligamentous sprain injury in sports. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol SMARTT*. 30 de julio de 2009;1:14.
134. Valderrabano V, Hintermann B, Horisberger M, Fung TS. Ligamentous posttraumatic ankle osteoarthritis. *Am J Sports Med*. abril de 2006;34(4):612-20.
135. Kamada K, Watanabe S, Yamamoto H. Chronic subtalar instability due to insufficiency of the calcaneofibular ligament: a case report. *Foot Ankle Int*. diciembre de 2002;23(12):1135-7.
136. Hollis JM, Blasier RD, Flahiff CM. Simulated lateral ankle ligamentous injury. Change in ankle stability. *Am J Sports Med*. diciembre de 1995;23(6):672-7.
137. Michelson J, Hamel A, Buczek F, Sharkey N. The effect of ankle injury on subtalar motion. *Foot Ankle Int*. septiembre de 2004;25(9):639-46.
138. Stormont DM, Morrey BF, An KN, Cass JR. Stability of the loaded ankle. Relation between articular restraint and primary and secondary static restraints. *Am J Sports Med*. octubre de 1985;13(5):295-300.
139. Guerra-Pinto F, Cunha J, Sousa L, Gomes TM, Andrade R, Oliva XM, et al. Gravity stress tibiotalar laxity evaluation with a biomedical gyroscopes device - cadaver study with progressive sectioning of lateral ankle ligaments. *J Exp Orthop*. 21 de julio de 2020;7(1):53.
140. Iglesias-Durán E, Guerra-Pinto F, García-Esteo F, Vilá-Rico J. Anatomic Arthroscopic Graft Reconstruction of the Interosseous Talocalcaneal Ligament for

Subtalar Instability. Arthrosc Tech. diciembre de 2020;9(12):e1903-6.

141. Guerra-Pinto F, Cunha J, Sousa L, Gomes TM, Andrade R, Oliva XM, et al.  
Gravity stress tibiotalar laxity evaluation with a biomedical gyroscopes device - cadaver  
study with progressive sectioning of lateral ankle ligaments. J Exp Orthop. 21 de julio  
de 2020;7(1):53.