



# La fijación con tornillo de interferencia tibial cuadrante específico permite un constante desplazamiento de los injertos de tejido dentro de tuneles tibiales mal posicionados: Análisis cuantitativo de ligamento cruzado anterior en porcinos

## *Quadrant Specific Tibial Interference Screw Fixation Allows Constant Displacement of Soft Tissue Grafts Inside Misplaced Tibial Tunnels: a Porcine Anterior Cruciate Ligament Quantitative Assessment Study*

Alex Vaisman<sup>1,2</sup> Martin Cañas<sup>2</sup> Asunción Ruiz<sup>2</sup> Diego Edwards<sup>1,2</sup> Sergio Arellano<sup>1,2</sup>  
Andrés Schmidt-Hebbel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Clínica Alemana, Santiago, Chile

<sup>2</sup> Facultad de Medicina, Clínica Alemana-Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

Dirección para correspondencia Martin Cañas, Facultad de Medicina, Clínica Alemana – Universidad del Desarrollo, Avenida La Plaza 680, Las Condes, 7610658, Santiago, Chile (e-mail: mcanasp@udd.cl).

Rev Chil Ortop Traumatol 2022;63(1):e9–e16.

### Resumen

**Introducción** El error técnico más común durante la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) es la ubicación incorrecta del túnel. Es incierto si un túnel tibial mal ubicado puede corregirse en el intraoperatorio.

**Objetivo** Medir el desplazamiento del injerto de tejido blando con tornillos de interferencia tibial.

**Materiales y métodos** Estudio experimental *ex vivo* en 28 rodillas porcinas. Se cosechó el tendón flexor de la extremidad posterior, que fue duplicado y dimensionado para que pasara a través de un túnel tibial mal posicionado. Las muestras se dividieron en 4 grupos según el cuadrante de entrada (anterior [A], posterior [P], medial [M], o lateral [L]) de un tornillo de interferencia tibial de 9 mm con relación al injerto. Se ubicó una regla milimétrica en la meseta tibial, la cual fue fotografiada con una cámara EOS T6 (Canon Inc., Ōta, Tokio, Japón), y la imagen fue digitalizada, y puesta en escala a tamaño. La distancia y dirección de los desplazamientos del injerto se midieron con Adobe Photoshop CC 2019 (San José, CA, EEUU). Se analizaron las diferencias medias entre los grupos por análisis de la varianza (*analysis of variance*, ANOVA, en inglés) unidireccional. El análisis estadístico se

### Palabras Clave

- ▶ ligamento cruzado anterior
- ▶ injerto de tejido blando
- ▶ túnel tibial
- ▶ desplazamiento de tornillo

### recibido

27 de abril de 2021

accepted after revision

07 de diciembre de 2021

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0042-1743545>.

ISSN 0716-4548.

© 2022. Sociedad Chilena de Ortopedia y Traumatología. All rights reserved.

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua do Matoso 170, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20270-135, Brazil

## Abstract

realizó con el programa Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics for Windows, IBM Corp., Armonk, NY, EEUU), versión 25.0 ( $p \leq 0,05$ )).

**Resultados** Las distancias medias de los desplazamientos del injerto fueron similares en todos los grupos: A – 4,4 mm; P – 4,6 mm; M – 4,5 mm; y L – 4,3 mm, sin diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0,894$ ). Las direcciones medias de los desplazamientos del injerto también fueron similares entre los 4 grupos: A – 176° (desviación estándar [DE]:  $\pm 15,4^\circ$ ); P – 165° (DE:  $\pm 16,6^\circ$ ); M – 166° (DE:  $\pm 12,1^\circ$ ); y L – 169° (DE:  $\pm 10,6^\circ$ ). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0,42$ ).

**Conclusiones** Independientemente del cuadrante de entrada, se observó un desplazamiento constante del injerto hacia el lado opuesto cuando el tornillo tibial alcanzaba la superficie articular. Relevancia clínica: el tornillo tibial mal posicionado puede corregirse en el intraoperatorio con fijación proximal en cuadrante específico, y debe alcanzar la superficie articular para generar un desplazamiento efectivo del injerto. Sin embargo, no podemos predecir la magnitud de error en todos los túneles mal brocados, que debe ser evaluada caso a caso.

**Background** The most common technical error during anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction is incorrect tunnel placement. It remains unclear if a misplaced tibial tunnel may be corrected intraoperatively.

**Aim** To measure the displacement of soft-tissue grafts with tibial interference screws.

**Materials and Methods** Ex-vivo experimental study in 28 porcine knees. The flexor tendon of the posterior limb was harvested, doubled and sized to fit through a 9-mm misplaced tibial tunnel. The specimens were divided into 4 groups according to the quadrant of entry (anterior [A], posterior [P], medial [M], or lateral [L]) of a 9-mm tibial interference screw in relation to the graft. A millimetric ruler was placed at the tibial plateau, which was photographed with a an EOS T6 (Canon Inc., Ōta, Tokio, Japan) camera, and the image was digitalized and scaled to size. The length and direction of the graft displacements were measured with Adobe Photoshop CC 2019 (San José, CA, US). The mean differences among the groups were analyzed through one-way analysis of variance (ANOVA). The statistical analysis was performed using the Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics for Windows, IBM Corp., Armonk, NY, US) software, version 25.0 ( $p \leq 0.05$ )

**Results** The mean lengths of the graft displacements were similar among the groups: A – 4.4 mm; P – 4.6 mm; M – 4.5 mm; and L – 4.3 mm, without statistically significant differences ( $p = 0.894$ ). The mean directions of the graft displacements were also similar among the groups: A – 176° (standard deviation [SD]:  $\pm 15.4^\circ$ ); P – 165° (SD:  $\pm 16.6^\circ$ ); M – 166° (SD:  $\pm 12.1^\circ$ ); and L – 169° (SD:  $\pm 10.6^\circ$ ). No statistically significant differences were found ( $p = 0.42$ ).

**Conclusions** Regardless of the entry quadrant, constant graft displacement to the opposite side was observed when the tibial screw reached the articular surface. Clinical relevance: a misplaced tibial tunnel may be corrected intraoperatively with a quadrant-specific screw, which must reach the articular surface to produce an effective graft displacement. Nevertheless, we cannot predict the magnitude of this error in every poorly-drilled tibial tunnel; it should be assessed case by case.

## Keywords

- ▶ anterior cruciate ligament
- ▶ soft-tissue graft
- ▶ tibial tunnel
- ▶ screw displacement

## Introducción

Los estudios de anatomía han llevado a una mejor comprensión de las huellas anatómicas del ligamento cruzado anterior (LCA),<sup>1</sup> lo que contribuyó para la evolución de reconstrucciones no anatómicas a anatómicas. El objetivo es crear un ligamento que tenga las mismas inserciones óseas y el

mismo curso que el ligamento nativo, para restaurar la estabilidad y la función de la rodilla lesionada.<sup>2-4</sup> La falla del injerto de LCA puede resultar de cualquier combinación de errores técnicos, causas biológicas, y traumatismos.<sup>5</sup> La colocación subóptima del túnel es un problema frecuente entre los residentes e incluso entre los cirujanos experimentados, a pesar del hecho de que los puntos de

inserción son bien conocidos, así como los puntos de referencia intraoperatorios para la reconstrucción anatómica del LCA.<sup>6,7</sup> Esto puede predisponer al pinzamiento temprano del injerto y la subsiguiente falta de movilidad, inestabilidad persistente, y falla.<sup>8</sup> Los túneles tibiales mal colocados pueden tratarse intraoperatoriamente con tornillos de interferencia para pasar el injerto a una mejor posición para evitar el pinzamiento contra el cóndilo femoral lateral.<sup>9</sup>

El propósito de este estudio es medir el desplazamiento del injerto de los tendones flexores porcinos en el túnel tibial, en términos de distancia y dirección, de acuerdo con las ubicaciones específicas de los tornillos en cuatro cuadrantes.

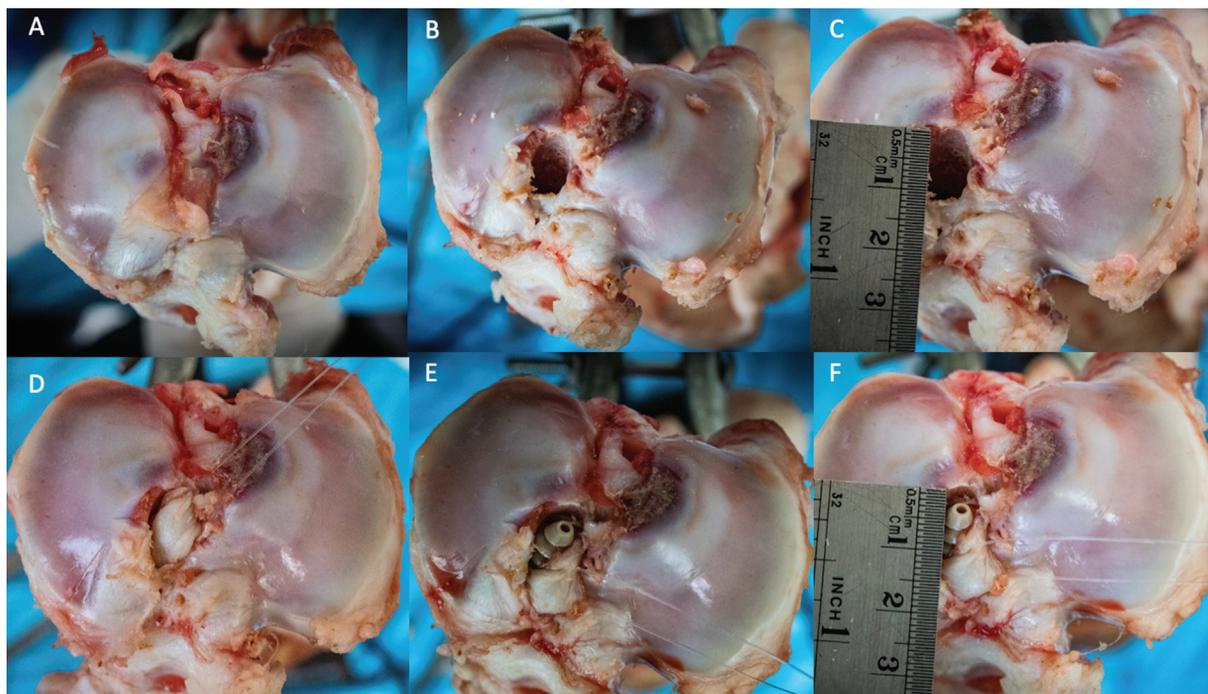
## Hipótesis

En un modelo de LCA porcino, los tornillos de interferencia tibial desplazan constantemente los injertos de tejido blando hacia el lado opuesto, independientemente de la ubicación del tornillo.

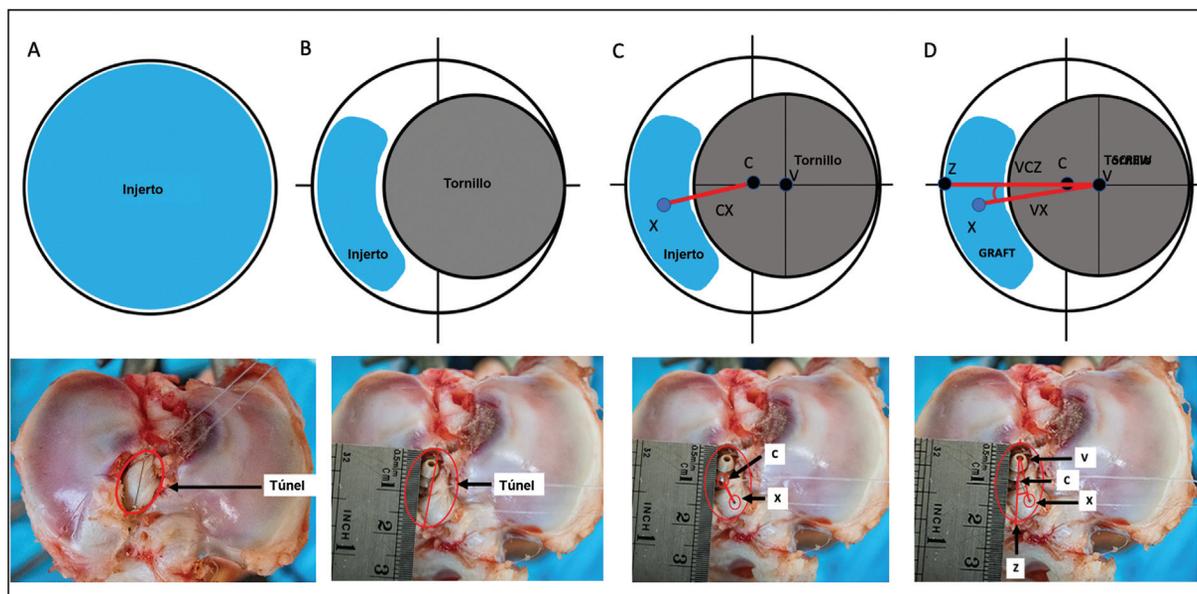
## Materiales y métodos

Se realizó un estudio experimental *ex vivo* en 28 rodillas porcinas. El tendón del músculo flexor digital superficial se cosechó desde la porción inferior hasta su inserción proximal en todos los especímenes. Se utilizó el ACL ToolBox Instrument Set (Arthrex, Naples, FL, EEUU) para las preparaciones de injertos y la tunelización ósea. Una vez recolectados, todos los injertos se limpiaron del tejido remanente y se doblaron para crear una estructura de

doble banda con ambos extremos cosidos con una sutura FiberWire #2 (Arthrex). Todos los injertos se dimensionaron para caber a través del bloque de tamaño de 9 mm. Las rodillas se montaron en un marco de metal, y las mesetas tibiales se diseccionaron cuidadosamente para preservar la huella tibial anatómica del LCA. Se colocó intencionalmente un gancho de marcado del LCA tibial junto a la huella del LCA tibial con la guía de la brújula en un ángulo de 55°. Se colocó un alfiler guía con punta de broca desde la tibia anteromedial hasta la superficie articular, y luego se perforó con una broca canulada de 9 mm para crear un túnel tibial fuera de lugar. Los injertos dobles se pasaron por el interior del túnel, y se colocó una guía de nitinol en un cuadrante específico para guiar el tornillo de poliéter éter cetona (*polyether ether ketone*, PEEK, en inglés) de interferencia tibial de 9 mm (►Fig. 1). Un espécimen sufrió una fractura de la meseta tibial después de la colocación del tornillo del túnel anterior, y fue excluido del estudio. Los restantes se dividieron en 4 grupos, según la ubicación del tornillo de interferencia tibial en relación con el injerto. En el grupo A (N=7), el tornillo de interferencia se colocó en posición anterior; en el grupo P (N=7), posterior; en el grupo M (N=7), medial; y en el grupo L (N=7), lateral al injerto. Se colocó una regla milimétrica en la meseta tibial, la cual se fotografió con una cámara EOS T6 (Canon Inc., Ōta, Tokio, Japón). Todas las imágenes fueron digitalizadas, escaladas a tamaño, y tomadas desde el mismo ángulo y distancia en tres momentos específicos: túnel óseo sin injerto, con el injerto posicionado en el túnel, y con la punta del tornillo tibial llegando a la meseta tibial (►Figs. 1 y 2). La distancia y la dirección de los desplazamientos del injerto se midieron con Adobe Photoshop CC 2019 (San José,



**Fig. 1 Técnica quirúrgica.** (A) Identificación de la huella del LCA tibial. (B,C) Túnel tibial fuera de lugar perforado y medido. (D) Injerto dentro del túnel tibial. (E) Tornillo fijado en la superficie articular. (F) Medición del diámetro del túnel tibial después de la fijación con tornillos.



**Fig. 2 Representación esquemática y medidas realizadas sobre imágenes digitalizadas**. (A) Injerto dentro del túnel tibial. (B) Túnel tibial con injerto y tornillo fijado en la superficie articular. (C) Distancia de desplazamiento del injerto (CX) medida en milímetros desde el centro del túnel tibial (C) al centro del injerto (X) (D) El ángulo de desplazamiento del injerto se midió en grados de la siguiente manera: ángulo entre dos brazos, VX y VCZ, con el centro del tornillo como vértice (V). VX: línea desde el centro del tornillo (V) hasta el centro del injerto (X). VCZ: línea desde el centro del tornillo (V) que pasa por el centro del túnel (C) hasta el punto del perímetro del túnel (Z), que está 180° opuesto a la ubicación de entrada del tornillo. Esto se repitió para todos los grupos.

CA, EEUU) (►Fig. 2). Para evaluar los valores de medición correctos, se repitió el mismo procedimiento con un calibrador digital con una precisión de 0,05 mm.

### Análisis estadístico

Se realizó una prueba de Shapiro-Wilk, que mostró una distribución normal entre todos los especímenes ( $N=28$ ). Las diferencias medias en la distancia y la dirección de los desplazamientos del injerto entre los grupos se analizaron mediante análisis de la varianza (*analysis of variance*, ANOVA, en inglés) unidireccional. El análisis estadístico se realizó con el programa Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics for Windows, IBM Corp., Armonk, NY, EEUU), versión 25.0, y el valor de  $p$  se fijó en  $\leq 0,05$ .

### Resultados

Los datos que describen el tamaño del túnel antes y después de las fijaciones con tornillos, la distancia y la dirección del desplazamiento del injerto para cada muestra en cada grupo se muestran en la ►Tabla 1. El desplazamiento del injerto sólo ocurrió cuando el tornillo alcanzó la meseta tibial, y su distancia media fue similar en los 4 grupos (►Fig. 3): A - 4,4 mm; P - 4,6 mm; M - 4,5 mm; y L - 4,3 mm, sin diferencias estadísticamente significativas ( $p=0,894$ ). La dirección media del desplazamiento del injerto también fue similar entre los 4 grupos: A - 176° (desviación estándar [DE]:  $\pm 15,4^\circ$ ); P - 165° (DE:  $\pm 16,6^\circ$ ); M - 166° (DE:  $12,1^\circ$ ); y L - 169° (DE:  $\pm 10,6^\circ$ ). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p=0,42$ ).

### Discusión

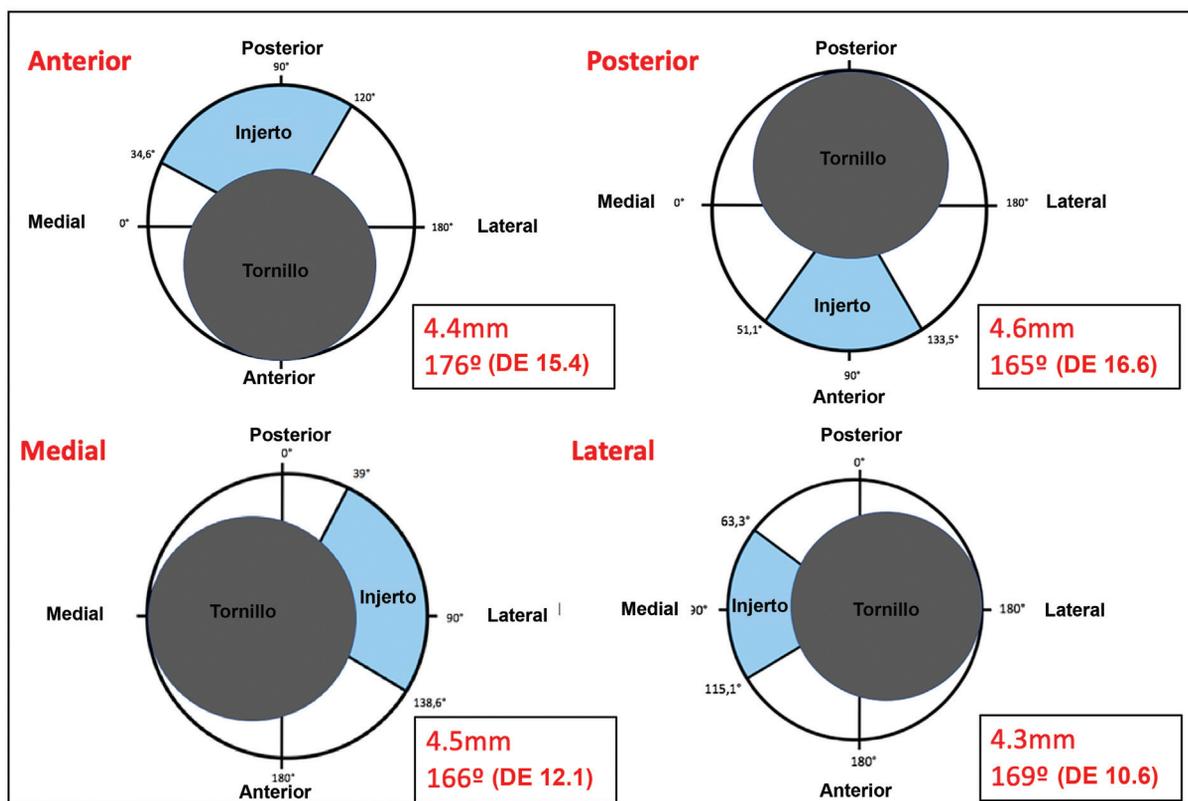
El hallazgo más importante de este estudio es que, independientemente del cuadrante de entrada, se observó un desplazamiento constante del injerto hacia el lado opuesto cuando el tornillo tibial alcanzaba la superficie articular. En este estudio, pudimos cuantificar la distancia media y la dirección del desplazamiento del injerto utilizando un tornillo de PEEK de 9 mm específico para el cuadrante en un túnel tibial de 9 mm; estos diámetros medidos se utilizan con frecuencia en la reconstrucción del LCA. Conocer esta distancia podría servir al cirujano como guía si se perfora un túnel tibial fuera de lugar. Sin embargo, la magnitud de este error no se puede predecir; por lo tanto, debe evaluarse caso por caso.

Parate y Chernchujit<sup>9</sup> desarrollaron una técnica artroscópica para ajustar la colocación de la guía para el tornillo de interferencia en el túnel tibial en la reconstrucción anatómica del LCA de haz único. Los autores<sup>9</sup> afirman que la colocación posterolateral del tornillo tibial ayuda a empujar el injerto medial y anteriormente en el túnel tibial, para evitar el pinzamiento del injerto con el cóndilo femoral lateral. Al tratarse de una técnica artroscópica, no se da información precisa sobre la magnitud y dirección del desplazamiento del injerto. Hasta la fecha, ningún artículo ha descrito la capacidad de los tornillos de interferencia tibial para corregir el túnel fuera de lugar mediante el desplazamiento de un injerto de tejido blando hacia una ubicación más anatómica.

Como se mencionó anteriormente, la colocación subóptima del túnel es un problema frecuente entre los

**Tabla 1** Resultados de mediciones digitales para cada espécimen en los cuatro grupos

Grupo "A" (anterior)				
Tibia porcina	Diámetro del túnel sin tornillo (mm)	Diámetro del túnel con tornillo (mm)	Desplazamiento del injerto (mm)	Dirección del injerto (ángulo)
1	9	12,6	4,2	180,4°
2	9,2	13,6	4,7	160,3°
3	9,3	12,3	2,7	180,6°
4	9,3	11,9	4,5	180,4°
5	9,6	13,1	4,7	195°
6	9,5	13,2	5,1	186,6°
7	8,6	11,8	5	150,6°
MEDIA	9,214	12,643	4,41	176,27°
Grupo "P" (posterior)				
Tibia porcina	Diámetro del túnel sin tornillo (mm)	Diámetro del túnel con tornillo (mm)	Desplazamiento del injerto (mm)	Dirección del injerto (ángulo)
1	9,1	11,9	3,8	188,4°
2	9,6	11,8	3,9	174,6°
3	9,1	11,3	3,5	169,6°
4	9,6	13,9	4,4	150,2°
5	9,7	13,8	5,8	137,5°
6	9,6	13,4	5,2	166,4°
7	8,9	13,8	5,6	168,4°
MEDIA	9,37	12,843	4,60	165,01°
Grupo "L" (lateral)				
Tibia porcina	Diámetro del túnel sin tornillo (mm)	Diámetro del túnel con tornillo (mm)	Desplazamiento del injerto (mm)	Dirección del injerto (ángulo)
1	9,8	13,3	4,3	175,6°
2	8,8	11,5	3,8	155,6°
3	9,4	14,4	4,5	181,9°
4	8,7	12,2	4,7	154,9°
5	9,7	13,7	4,2	158,7°
6	9,7	11,5	4,7	155°
7	8,5	12,9	3,9	177,3°
MEDIA	9,22	12,78	4,3	165,57°
Grupo "M" (medial)				
Tibia porcina	Diámetro del túnel sin tornillo (mm)	Diámetro del túnel con tornillo (mm)	Desplazamiento del injerto (mm)	Dirección del injerto (ángulo)
1	9,5	11,8	4,1	152,4°
2	9,6	12,1	4,5	166,6°
3	8,9	13,3	5,4	171,4°
4	10,2	13,6	5,4	167,2°
5	8,9	12,6	4,1	186,2°
6	8,8	12,8	3,7	161,7°
7	9,8	13,5	4,04	174,5°
MEDIA	9,38	12,81	4,5	168,57°



**Fig. 3** Distancia media y dirección del desplazamiento del injerto medidas en los cuatro grupos.

residentes e incluso entre los cirujanos experimentados,<sup>10</sup> a pesar de que los puntos de inserción y los puntos de referencia intraoperatorios para la reconstrucción anatómica del LCA sean bien conocidos.<sup>6,7</sup> La mayoría de los autores sugieren<sup>11</sup> inspeccionar la huella tibial antes de la reconstrucción del LCA y marcar el centro del túnel planificado con una sonda de ablación por radiofrecuencia. El centro del túnel tibial debe ubicarse en el 40% de la anchura medial a lateral de la distancia interespinosa, en línea con el borde posterior del asta anterior del menisco posterior. Se ajusta una guía tibial a 50°, y se coloca con la punta de orientación intraarticular en el centro de la huella del LCA.<sup>12</sup>

Este estudio ayuda al cirujano a predecir dónde colocar un tornillo dentro de un túnel tibial de 9 mm mal colocado: un tornillo de interferencia de 9 mm específico para cada cuadrante fijado en la línea articular permite un desplazamiento constante de 4,5 mm del injerto de tejido blando hacia el lado opuesto (169°; DE: ±13.7°). Curiosamente, esto sólo se observó cuando el tornillo de interferencia alcanzó la superficie articular (► **Fig. 3**). Por el contrario, no hubo desplazamiento cuando el tornillo no había llegado a la superficie. Esto podría explicarse porque un tornillo de interferencia sólo puede desplazar un injerto donde tiene contacto; por lo tanto, no tendrá ninguna influencia en el desplazamiento del injerto si se coloca por debajo del nivel de corrección previsto, en este caso, la superficie articular. Esta observación es un factor clave en este estudio, y se observó en todos los especímenes. Es bien

sabido que la fijación del injerto tibial proximal conduce a rodillas más estables.<sup>9,13</sup> También creemos que esta observación es un factor clave para lograr un desplazamiento constante del injerto cuando se necesita corregir un túnel tibial mal colocado. Por lo tanto, sugerimos la visualización artroscópica del alambre de nitinol, que guiará el tornillo tibial en un cuadrante específico. Luego, se inserta el tornillo hasta que sea visible, y se retira hasta que sólo la punta quede nivelada con la superficie articular. El cirujano debe tener el cuidado de tensar el injerto con la mano durante la inserción del tornillo, para evitar que se enrolle alrededor del tornillo. Esto también se puede comprobar con una vista artroscópica desde el interior del túnel tibial, para confirmar la posición deseada del alambre de nitinol en relación con el injerto.

Otro aspecto positivo de este estudio es su reproducibilidad: no hubo diferencias significativas entre grupos, por lo que se pudieron realizar comparaciones entre ellos. Este estudio se realizó en rodillas porcinas principalmente debido a su amplia disponibilidad, pero también debido a las propiedades biomecánicas y al diámetro similares del tendón flexor digital superficial porcino en comparación con los tendones flexores humanos.<sup>14-16</sup> La fijación del injerto se realizó con un tornillo de interferencia de PEEK porque, en comparación con los tornillos de titanio, presentan excelentes características mecánicas, compatibilidad biológica, y ocasionan ausencia de artefactos metálicos en la resonancia magnética.<sup>16</sup> En cuanto a la técnica quirúrgica,

realizamos una perforación de extracción (PE) con una broca de 9 mm porque el diámetro medio del tendón flexor posterior porcino era de 8,7 mm. Se utilizó un tornillo de 9 mm de diámetro siguiendo las recomendaciones del fabricante (Arthrex), quien sugiere utilizar un diámetro de implante lo más cercano posible al del injerto. Se utilizó el mismo diámetro de tornillo para todos los grupos para que los resultados pudieran ser comparables. Otra razón por la que decidimos usar tornillos de 9 mm fue una decisión basada en un estudio,<sup>18</sup> publicado en 2013, que comparó la carga de falla final y el desplazamiento cíclico de diferentes tornillos para la fijación de injertos de tejido blando en un modelo porcino de LCA similar. Los autores<sup>18</sup> utilizaron tornillos de 9 mm para injertos de 9 mm en túneles de 9 mm, con resultados iguales entre los tornillos de PEEK y otros tipos de tornillos. Uno de los inconvenientes de la técnica quirúrgica utilizada en el presente estudio es que no se realizó dilatación en serie (DS), y se observó agrandamiento del túnel tibial en todos los especímenes después de la fijación con tornillos (→ **Tabla 1**). Los estudios biomecánicos han demostrado<sup>19</sup> que la PE tiene una carga media menor hasta el fallo del injerto, una mayor expansión del túnel tibial, y una mayor migración posoperatoria del injerto en la fijación tibial en comparación con la SD, pero no se encontraron diferencias funcionales en una revisión sistemática reciente.<sup>20</sup> Aunque la DS podría reducir la expansión del túnel tibial, creemos que esto no altera el objetivo final de este estudio: cuantificar el desplazamiento del injerto en términos de distancia y dirección.

En cuanto a las técnicas de medición, estudios previos<sup>21</sup> describen el uso de un calibre digital. En este estudio, el tamaño del injerto, el tamaño del túnel antes y después de la fijación con tornillos, y el desplazamiento del injerto (→ **Figs. 2 y 3**) también fueron medidos con un pie de rey digital con una precisión de 0,05 mm. Estos valores fueron muy similares a los observados con imágenes digitalizadas a escala utilizando Adobe Photoshop CC 2019, y decidimos utilizarlo porque ofrece herramientas más precisas para medir el desplazamiento angular del injerto.

El posicionamiento del tornillo también puede tener un efecto en la orientación del injerto. Parate y Chernchujit<sup>9</sup> mencionan que la colocación de tornillos tibiales posterolaterales puede tener un efecto sobre la oblicuidad del injerto, y Mall et al.<sup>22</sup> demostraron que más injertos verticales en la resonancia magnética se asocian con una mayor traslación tibial anterior en la prueba de Lachman. Estamos de acuerdo con los autores antes mencionados en que la oblicuidad del injerto de LCA es particularmente sensible a la colocación del túnel tibial, y puede influir en la estabilidad de la rodilla. Dado que no se realizó la perforación del túnel femoral, la oblicuidad del injerto no pudo evaluarse en el presente estudio. Creemos que se debe realizar un estudio cadavérico futuro con reconstrucción anatómica femoral y tibial del LCA para responder a la pregunta de si un tornillo tibial específico para cuadrante tiene alguna influencia en la oblicuidad del injerto y en la estabilidad de la rodilla.

## Conclusiones

Independientemente del cuadrante de entrada, se observó un desplazamiento medio constante del injerto de 4,5 mm hacia el lado opuesto cuando el tornillo tibial alcanzaba la superficie articular.

Relevancia clínica: los injertos de tejido blando del LCA colocados de forma no anatómica se pueden corregir intraoperatoriamente con el uso de tornillos de interferencia tibial específicos para cada cuadrante. Sin embargo, no podemos predecir la magnitud de este error en todos los casos de perforación fracasada del túnel tibial; por lo tanto, debe evaluarse caso por caso.

### Conflicto de Intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses que declarar.

### Agradecimientos

Queremos agradecer a Álvaro Messen de Promedon, por brindarnos la instrumentación necesaria para realizar las técnicas quirúrgicas, a Francisco Marro, por ayudarnos con el análisis estadístico, y a Jorge Yañez, por prestarnos los *brackets* universales.

### Declaración de autenticidad

Esta investigación es original, y toda la información fue debidamente citada, descartando plagio.

## Referencias

- Purnell ML, Larson AI, Clancy W. Anterior cruciate ligament insertions on the tibia and femur and their relationships to critical bony landmarks using high-resolution volume-rendering computed tomography. *Am J Sports Med* 2008;36(11):2083–2090. Doi: 10.1177/0363546508319896
- Fu FH, van Eck CF, Tashman S, Irrgang JJ, Moreland MS. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: a changing paradigm. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23(03):640–648
- Zaffagnini S, Signorelli C, Grassi A, et al. Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Hamstring Tendons Restores Quantitative Pivot Shift. *Orthop J Sports Med* 2018;6(12):2325967118812364
- Rothrauff BB, Jorge A, de Sa D, Kay J, Fu FH, Musahl V. Anatomic ACL reconstruction reduces risk of post-traumatic osteoarthritis: a systematic review with minimum 10-year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2020;28(04):1072–1084
- Kraeutler MJ, Welton KL, McCarty EC, Bravman JT. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 2017;99(19):1689–1696
- Pietrini SD, Ziegler CG, Anderson CJ, et al. Radiographic landmarks for tunnel positioning in double-bundle ACL reconstructions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19(05):792–800. Doi: 10.1007/s00167-010-1372-1
- Rowan FA, Marshall T, Gombosh MR, Farrow LD. Utilization of Osseous Landmarks for Anatomic Anterior Cruciate Ligament Femoral Tunnel Placement. *J Knee Surg* 2017;30(04):359–363. Doi: 10.1055/s-0036-1592150
- Buscayret F, Temponi EF, Saithna A, Thaunat M, Sonnery-Cottet B. Three-dimensional CT evaluation of tunnel positioning in ACL reconstruction using the single anteromedial bundle biological augmentation (SAMBBA) technique. *Orthop J Sports Med* 2017;5(05):2325967117706511

- 9 Parate P, Chernchujit B. A Surgical Technique for Posterolateral Placement of Interference Screw Accurately in Tibial Tunnel in Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc Tech* 2016;5(06):e1481–e1486
- 10 Hosseini A, Lodhia P, Van de Velde SK, et al. Tunnel position and graft orientation in failed anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical and imaging analysis. *Int Orthop* 2012;36(04):845–852
- 11 Watson JN, Wilson KJ, LaPrade CM, Kennedy NI, Campbell KJ, et al. Iatrogenic injury of the anterior meniscal root attachments following anterior cruciate ligament reconstruction tunnel reaming. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2015;23(08):2360–2366. Doi: 10.1007/s00167-014-3079-1
- 12 Burnham JM, Malempati CS, Carpiaux A, Ireland ML, Johnson DL. Anatomic Femoral and Tibial Tunnel Placement During Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Anteromedial Portal All-Inside and Outside-In Techniques. *Arthrosc Tech* 2017;6(02):e275–e282
- 13 Ishibashi Y, Rudy TW, Livesay GA, Stone JD, Fu FH, Woo SLY. The effect of anterior cruciate ligament graft fixation site at the tibia on knee stability: evaluation using a robotic testing system. *Arthroscopy* 1997;13(02):177–182. Doi: 10.1016/S0749-8063(97)90152-3
- 14 Nakano H, Yasuda K, Tohyama H, Yamanaka M, Wada T, Kaneda K. Interference screw fixation of doubled flexor tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction - biomechanical evaluation with cyclic elongation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000;15(03):188–195. Doi: 10.1016/S0268-0033(99)00065-0
- 15 Vertullo CJ, Piepenbrink M, Smith PA, Wilson AJ, Wijdicks CA. Biomechanical Testing of Three Alternative Quadrupled Tendon Graft Constructs With Adjustable Loop Suspensory Fixation for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Compared With Four-Strand Grafts Fixed With Screws and Femoral Fixed Loop Devices. *Am J Sports Med* 2019;47(04):828–836. Doi: 10.1177/0363546518825256
- 16 Sawyer GA, Anderson BC, Paller D, Heard WMR, Fadale PD. Effect of interference screw fixation on ACL graft tensile strength. *J Knee Surg* 2013;26(03):155–159. Doi: 10.1055/s-0032-1324808
- 17 Shumborski S, Heath E, Salmon LJ, et al. A Randomized Controlled Trial of PEEK Versus Titanium Interference Screws for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With 2-Year Follow-up. *Am J Sports Med* 2019;47(10):2386–2393. Doi: 10.1177/0363546519861530
- 18 Aga C, Rasmussen MT, Smith SD, et al. Biomechanical comparison of interference screws and combination screw and sheath devices for soft tissue anterior cruciate ligament reconstruction on the tibial side. *Am J Sports Med* 2013;41(04):841–848
- 19 Cain EL, Phillips BB, Charlebois SJ, et al. Effect of tibial tunnel dilation on pullout strength of semitendinosus-gracilis graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopedics* 2005; 28:779–783
- 20 Crum R, Darren de SA, Ayeni OR, Musahl V. No difference between extraction drilling and serial dilation for tibial tunnel preparation in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J ISAKOS* 2018;3(03):161–166
- 21 Bhatia S, Korth K, Van Thiel GS, et al. Effect of reamer design on posteriorization of the tibial tunnel during endoscopic transtibial anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2013; 41(06):1282–1289
- 22 Mall NA, Matava MJ, Wright RW, Brophy RH. Relation between anterior cruciate ligament graft obliquity and knee laxity in elite athletes at the National Football League combine. *Arthroscopy* 2012;28(08):1104–1113. Doi: 10.1016/j.arthro.2011.12.018