



## ORIGINAL

# Evaluación mediante navegación intraoperatoria de la laxitud del ligamento cruzado anterior en su reconstrucción anatómica monofascicular

R. García-Bógaló\*, R. Larraínzar-Garijo, A.D. Murillo-Vizuete, J. Montoya-Adárraga, O. Marín-Peña, M. Pérez-España Muniesa y L. Horna-Castañeira

Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital Universitario Infanta Leonor, Madrid, España

Recibido el 18 de septiembre de 2011; aceptado el 21 de diciembre de 2011

Disponible en Internet el 7 de febrero de 2012

### PALABRAS CLAVE

Reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA); Técnica portal anteromedial; Navegación; Cirugía asistida por ordenador

### Resumen

**Objetivo:** La técnica de reconstrucción anatómica del ligamento cruzado anterior (LCA) persigue, reproduciendo la orientación nativa de sus fibras, alcanzar una mejor estabilidad rotacional en la rodilla. El objetivo principal del presente trabajo es la evaluación cuantitativa intraoperatoria, mediante el uso del sistema de navegación de Orthopilot®, de la laxitud anteroposterior y rotacional de la rodilla antes y después de una ligamentoplastia anatómica.

**Material y método:** Descripción de la técnica de navegación y estudio transversal sobre una cohorte de 20 pacientes intervenidos en nuestro centro por rotura primaria crónica del LCA desde enero de 2010 hasta mayo de 2011. Con la ayuda del navegador se definió la posición exacta de los túneles en base a referencias anatómicas intraarticulares y se realizaron pruebas de estabilidad, tanto en el plano sagital como en el axial.

**Resultados:** Nuestra técnica de reconstrucción anatómica del LCA situó el túnel tibial a una distancia media de  $16,8 \pm 4,92$  mm del ligamento cruzado posterior y a un  $44,1\% \pm 4,35\%$  de la anchura total del platillo tibial. La distancia media del centro del túnel femoral a la cortical posterior del cóndilo lateral fue de  $7,89 \pm 2,78$  mm. Intraoperatoriamente y antes de la reconstrucción, los valores medios ( $\pm$  DE) de traslación anteroposterior, rotación interna y rotación externa de la tibia a  $30^\circ$  fueron de  $15,5$  mm ( $\pm 5,11$ );  $19^\circ$  ( $\pm 3,62$ ) y  $19,65^\circ$  ( $\pm 3,26$ ) respectivamente. Tras la reconstrucción dichos valores disminuyeron a  $5,6$  mm ( $\pm 1,72$ );  $12,17^\circ$  ( $\pm 3,76$ ) y  $16,9^\circ$  ( $\pm 4,42$ ).

**Conclusiones:** El empleo de sistemas de navegación como apoyo al cirujano permite sistematizar la posición de los túneles óseos y estandarizar el procedimiento en relación a la reconstrucción deseada. La reconstrucción del LCA según la técnica descrita, mejora la estabilidad anteroposterior y rotacional monoplanar respecto al estado preoperatorio pudiendo restablecer los valores de laxitud a los considerados como fisiológicos acorde al conocimiento científico actual.

© 2011 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [rgbogalo@hotmail.com](mailto:rgbogalo@hotmail.com) (R. García-Bógaló).

**KEYWORDS**

Anterior cruciate ligament reconstruction (ACL); Anteromedial portal technique; Navigation; Computer assisted

## Evaluation of intraoperative anterior cruciate ligament laxity using a navigation system in the anatomical single bundle reconstruction

**Abstract**

*Purpose:* The anatomical anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction attempts to, by reproducing the natural orientation of its fibres, achieve a better rotational stability of the knee. The aim of this paper is to quantify the anteroposterior and rotational laxity of the knee before and after an anatomic ligamentoplasty using the Orthopilot® navigation system as a supporting tool.

*Material and method:* We describe the distinctive steps of Orthopilot® navigation as well as conducting a retrospective cross-sectional study on a cohort of 20 patients operated in our hospital for chronic primary ACL rupture from January 2010 to May 2011. The precise location of the tunnels was defined with the help of the navigator and the intra-articular landmarks and stability tests were performed in both the sagittal and axial planes.

*Results:* In our technique for anatomical ACL reconstruction placed the tibial tunnel at a mean distance of  $16.8 \pm 4.92$  mm from the posterior cruciate ligament in a position that represented  $44.1\% \pm 4.35$  of the total width of the tibial plateau. The average distance from the centre of the femoral tunnel to the posterior cortex of the lateral condyle was  $7.89 \pm 2.78$  mm. Intraoperatively and before ACL reconstruction, the mean ( $\pm$ SD) anteroposterior movement, internal rotation and external rotation of the tibia at  $30^\circ$  position were  $15.5$  mm ( $\pm 5.11$ ),  $19^\circ$  ( $\pm 3.62$ ) and  $19.65^\circ$  ( $\pm 3.26$ ), respectively. After reconstruction these values decreased to  $5.6$  mm ( $\pm 1.72^\circ$ ),  $12.17^\circ$  ( $\pm 3.76$ ) and  $16.9^\circ$  ( $\pm 4.42$ ), respectively.

*Conclusions:* The use of navigation systems supporting the surgery allows the systematic positioning of bone tunnels and standardises the procedures for the desired reconstruction. ACL reconstruction using the technique described, improves the anteroposterior and rotational stability compared to preoperative status, to a stability state that could be considered physiological according to current scientific knowledge.

© 2011 SECOT. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

**Introducción**

La cirugía asistida con ordenador comenzó a utilizarse en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) durante el año 1990<sup>1</sup>. Desde entonces, se han desarrollado los *software* de los distintos navegadores para convertir la cirugía del LCA en una cirugía más reproducible y cuantificable. Mientras que los primeros navegadores focalizaron su utilidad en la localización y realización de los túneles óseos<sup>2-4</sup>, los *software* actuales añaden herramientas capaces de medir la estabilidad de la rodilla en los distintos planos antes y después de la reconstrucción ligamentosa, comportándose como artrómetros intraoperatorios de alta fiabilidad<sup>5,6</sup>.

Recientes estudios biomecánicos han indicado que la reconstrucción de un solo haz y túneles anatómicos restaura la estabilidad de la rodilla a niveles similares a la reconstrucción con doble fascículo<sup>7</sup>.

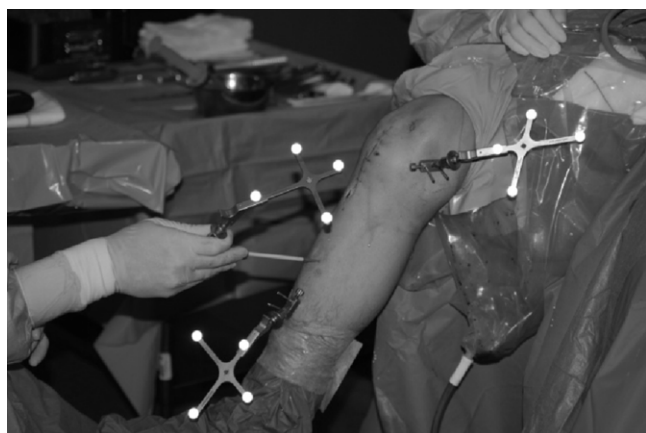
El objetivo de nuestro trabajo fue cuantificar mediante la ayuda del navegador, la estabilidad anteroposterior y rotacional pre y postreconstrucción utilizando una técnica de reconstrucción anatómica con fascículo único. Secundariamente se describen la posición exacta de los túneles tibial y femoral según los datos recogidos por el navegador. La hipótesis del estudio fue asumir que con la ayuda de la navegación mejoraríamos la estabilidad final intraoperatoria de las rodillas intervenidas.

**Material y método****Serie clínica**

Estudio transversal sobre una cohorte de 20 pacientes intervenidos mediante reconstrucción primaria del ligamento cruzado anterior entre enero de 2010 y mayo de 2011. Todos los pacientes fueron diagnosticados de roturas crónicas y se establecieron como criterios de inclusión: pacientes con fisis cerradas y no mayores de 50 años, ligamentoplastias primarias, utilización de cualquier tipo de injerto y utilización del navegador durante la cirugía. Como criterio de exclusión se estableció la presencia de lesiones asociadas diagnosticadas en la resonancia magnética o en la artroscopia exploradora previa a la reconstrucción.

La serie se compone de 15 varones y 5 mujeres con una media de edad de  $33,5 \pm 9,03$  años. El tiempo medio entre la lesión y la cirugía fue de  $185$  días  $\pm 34,35$ .

La cirugía fue realizada en todos los casos por el mismo cirujano. El tipo de injerto predominante fue la plastia cuádruple de semitendinoso/recto interno, la cual se utilizó en 13 casos (mujeres y varones > 35 años no practicantes de deportes de pivoteo), en 4 varones jugadores habituales de fútbol se eligió la técnica hueso-tendón-hueso y en tres casos (dos varones y una mujer > 40 años) se optó por el aloinjerto estableciendo como único criterio de selección la elección personal del paciente.



**Figura 1** Emisores tibial y femoral anclados con dos agujas Kirschner. Puntero recto con emisor móvil identificando referencias anatómicas extraarticulares.

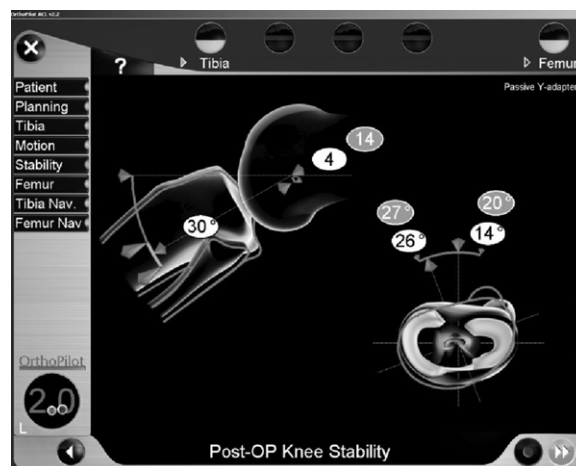
El túnel femoral fue realizado en todos los casos a través del portal medial estándar o un portal medial accesorio y las técnicas de fijación utilizadas fueron el sistema Retrobutton® (Arthrex, Naples, Florida, EE.UU.) como fijación cortical en femur y los tornillos interferenciales PLLA Bio-interference Screw® (Arthrex, Naples, Florida, EE.UU.) en tibia. Se utilizaron tornillos 1 mm superiores al diámetro del túnel en los casos de plastias tendinosas y del mismo diámetro en los casos de plastias hueso-tendón-hueso.

Para la recogida de datos utilizamos la documentación grabada por el software del navegador sobre la cirugía de cada paciente. Estudiamos la posición de los túneles en relación a referencias anatómicas intraarticulares y los datos cinemáticos en cuanto a traslación tibial anterior, rotación tibial externa y rotación tibial interna a 30° flexión. En dos pacientes (11 y 13) no fue posible la navegación de los túneles tibial y femoral por errores en la toma de datos de las referencias anatómicas intraarticulares. La posición anatómica de dichos túneles se comprobó visualmente en base a las referencias óseas previamente marcadas. En estos dos pacientes si fue posible la realización de los test de estabilidad asistidos con el navegador (tabla 1).

## Técnica de navegación

El sistema de navegación de Orthopilot® (v.2.1., B. Braun-Aesculap, Tuttlingen, Alemania) para la reconstrucción del LCA puede ser utilizado con cualquier tipo de injerto y técnica de fijación. No precisa de la introducción de datos radiológicos preoperatorios en el software. Se trata de un sistema de navegación pasivo que utiliza sensores y emisores infrarrojos, de los cuales dos se fijan al fémur y tibia mediante agujas de Kirschner y uno se utiliza de forma libre en los distintos instrumentos manuales. La navegación en la reconstrucción del LCA consta de 4 fases:

**Toma de referencias anatómicas extraarticulares:** con un puntero recto y su emisor correspondiente se procede a localizar la tuberosidad anterior de la tibia, la cresta tibial anterior en su tercio medio-distal y los bordes medial y lateral del platillo tibial. Posteriormente se realiza un registro cinemático de la rodilla entre 0° y 90° (fig. 1).



**Figura 2** Exploración de la estabilidad a 30° de flexión de la rodilla. En gris los valores preoperatorios y en blanco los valores postoperatorios.

**Test de estabilidad preligamentoplastia:** se registra en el ordenador bajo fuerza manual máxima los desplazamientos anteriores y rotacionales de la tibia a 30° flexión.

**Toma de referencias anatómicas intraarticulares y localización de túneles:** con distintos tipos de punteros y visualizando por el artroscopio se palpan el borde anterior del ligamento cruzado posterior, el cuerno anterior del menisco externo, la espina tibial medial, el borde anterior de la escotadura, el área de inserción del cruzado en la pared medial del cóndilo lateral, la posición «over the top» a las 12 h en el borde posterior de la escotadura (referencia horaria aportada por el software teniendo en cuenta la posición de la rodilla en 90° de flexión y un plano frontal que corte fémur distal transversalmente) y el córtex posterior en la zona horaria elegida para el túnel femoral. Una vez tomadas las referencias intraarticulares se realiza el túnel tibial con una guía especial en la que se coloca el emisor móvil y en función de los datos aportados anteriormente localizaremos espacialmente el punto de salida de la aguja guía del túnel tibial. De la misma forma, con ayuda del puntero, localizaremos el centro del túnel femoral en la pared del cóndilo.

**Test de estabilidad postligamentoplastia:** tras la introducción de la plastia y fijación de la misma valoramos la calidad de la reconstrucción cuantificando de nuevo la estabilidad anteroposterior y rotacional de la tibia a 30° de flexión de rodilla (fig. 2).

## Estudio estadístico

Mediante una base de datos creada a este propósito se recogieron los datos de la posición de los túneles, así como los resultados de los test de estabilidad antes y después de la reconstrucción. Todos los resultados se muestran como media  $\pm$  desviación estándar. Esta documentación fue procesada por el Servicio de Investigación Clínica de nuestro centro empleando como prueba no paramétrica el test de Wilcoxon para la comparación pre-post. de los valores en los distintos test de estabilidad. Se consideraron estadísticamente significativas las  $p < 0,05$ .

**Tabla 1** Tipo de plastia y localización de túneles

Paciente	Plastia-diámetro (mm)	Distancia LCP-TT <sup>a</sup> (mm)	Anchura platillo TT <sup>b</sup> (%)	Distancia cortical post-TF <sup>c</sup> (mm)	Zona reloj en 90° flexión <sup>d</sup>
1	ST/RI 8	8	51	3	I 14:30
2	ST/RI 8	22	49	8	D 11:00
3	ST/RI 9	12	43	10	I 13:30
4	ST/RI 9	22	40	3	D 10:00
5	ST/RI 10	21	46	8	D 10:00
6	ST/RI 9	20	39	3	I 13:30
7	ALO 8	14	34	8	I 14:00
8	HTH 9	26	44	9	D 9:30
9	HTH 9	24	43	9	D 10:30
10	ST/RI 9	19	39	7	D 10:30
11	ST/RI 8				D
12	ST/RI 8	13	47	9	I 13:00
13	ST/RI 9				D
14	ST/RI 8	19	48	9	D 10:30
15	ST/RI 8	12	51	13	D 10:00
16	HTH 9	15	44	12	I 14:00
17	HTH 9	14	47	10	D 13:30
18	ALO 9	20	45	6	D 10:30
19	ALO 8	11	53	8	I 14:00
20	ST/RI 9	12	44	8	D 10:30

<sup>a</sup>Distancia en mm borde anterior ligamento cruzado posterior-centro túnel tibial.

<sup>b</sup>Localización centro túnel tibial en relación a la anchura de la tibia proximal.

<sup>c</sup>Distancia en mm punto referenciado con navegador en la cortical posterior del cóndilo lateral-centro túnel femoral.

<sup>d</sup>Rodilla en 90° flexión, visión frontal del reloj en un plano coronal.

ALO: aloinjerto; D: derecha; HTH: hueso-tendón-hueso; I:izquierda; LCP: ligamento cruzado posterior; ST/RI: semitendinoso/recto interno; TF: túnel femoral; TT: túnel tibial.

## Resultados

Los resultados se muestran en la [tabla 2](#). La media de desplazamiento anteroposterior de la tibia a 30° antes de la reconstrucción fue de  $15,5 \pm 5,11$  mm, que tras la fijación de la plastia se redujo a  $5,6 \pm 1,72$  mm ( $p < 0,001$ ). Partiendo de una rotación neutra a 30° de flexión, el máximo desplazamiento en rotación interna preligamentoplastia fue de  $19^\circ \pm 3,62^\circ$  y en rotación externa de  $19,65^\circ \pm 3,26^\circ$ . Tras la reconstrucción anatómica la laxitud rotatoria se redujo fundamentalmente a expensas de la rotación interna con valores de  $12,17^\circ \pm 3,76^\circ$  frente a  $16,9^\circ \pm 4,42^\circ$  de rotación externa ( $p < 0,001$  para ambos valores).

En cuanto a la posición de los túneles, el túnel tibial se posicionó a una distancia media del ligamento cruzado posterior de  $16,8 \pm 4,92$  mm y a un  $44,1\% \pm 4,35$  (medial) de la anchura total del platillo. El túnel femoral se localizó a una distancia media de  $7,89 \pm 2,78$  mm del córtex femoral posterior del cóndilo lateral. Teniendo en cuenta la referencia horaria del *software* con la rodilla a 90°

de flexión, los túneles femorales en rodillas derechas se situaron a las 9:30 horas y en rodillas izquierdas a las 14:30 horas.

Se produjeron dos complicaciones en relación con la técnica de navegación descrita: una quemadura de primer grado en el tercio medio de la región tibial anterior debida al calor transmitido por la aguja de Kirschner del emisor y una rotura de la punta roscada de la aguja durante su extracción quedando incluida dentro de la tibia.

## Discusión

En el presente estudio objetivamos valores medios de traslación anterior, rotación interna y rotación externa a 30° flexión tras la reconstrucción de 5,6 mm, 12,2 y 16,9°, respectivamente, frente a 15,5 mm, 19 y 19,6°, como valores medios preoperatorios en las rodillas sin LCA. La cuantificación de la estabilidad final de la rodilla tras la ligamentoplastia nos permite comparar dichos valores con los publicados en la literatura en rodillas sanas y estables.

**Tabla 2** Laxitud pre y postreconstrucción del ligamento cruzado anterior

Test	Preoperatorio	Postoperatorio	Porcentaje de reducción	Valor de p
Cajón ant 30° (mm)	15,5° ( $\pm 5,11$ )	5,6° ( $\pm 1,72$ )	63,87	$p < 0,001$
Rotación ext. 30°	19,6° ( $\pm 3,26$ )	16,9° ( $\pm 4,42$ )	13,77	$p < 0,001$
Rotación int. 30°	19° ( $\pm 3,62$ )	12,2° ( $\pm 3,76$ )	35,78	$p < 0,001$

Song EK et al., utilizando el navegador de Orthopilot® y la misma versión de *software*, realizaron los test de estabilidad en rodillas con lesión del LCA antes y después de la reconstrucción y los compararon con los mismos test realizados en las rodillas contralaterales sanas. En cuanto a traslación tibial anterior a 30° en las rodillas sanas obtuvieron valores de 6,7 mm frente a 14,7 mm en las rodillas lesionadas<sup>8</sup>. Estos hallazgos son similares a los observados por Daniel DM et al. en el año 1985 utilizando otros instrumentos de medición distintos, pero obteniendo desplazamientos anteriores a 30° de 7,5 mm en rodillas sanas frente a 13 mm en las rodillas LCA deficientes bajo cargas de 89 newtons<sup>9</sup>. En nuestro trabajo conseguimos una reducción de la rotación interna del 36% frente a un 14% de la rotación externa respecto a valores preoperatorios. La corrección de la inestabilidad rotatoria (función cinemática del LCA junto con el control de la traslación AP) observada es acorde a los trabajos actuales de Miura K et al. y Song EK et al.<sup>8,10</sup>. En dichos trabajos se comparan los resultados de los test de estabilidad con la rodilla contralateral sana. La rotación global (rotación interna + rotación externa) en las rodillas sanas de ambos estudios fue  $36,4^\circ \pm 2,7^\circ$  y de  $31,4^\circ \pm 4,2^\circ$ , respectivamente. En nuestro estudio la estabilidad rotatoria media global tras las reconstrucciones fue de  $29,1^\circ \pm 2,6^\circ$ , valor similar a los reseñados anteriormente en rodillas sanas.

La técnica monofascicular anatómica consigue un emplazamiento de la plastia más horizontal, bajo y superficial que los que se obtenían con las técnicas clásicas en las que se realizaba el túnel femoral a través del túnel tibial obteniendo plastias centrales y más verticales. Estudios biomecánicos recientes han demostrado que la técnica de reconstrucción anatómica monofascicular restaura la estabilidad anteroposterior y rotacional al mismo nivel que la técnica bifascicular<sup>7,11,12</sup>. La inestabilidad rotacional residual tras la cirugía reconstructiva del LCA supone un tema de debate actual. Diversos autores han demostrado como las reconstrucciones con un solo fascículo con la inserción femoral más baja cinemáticamente se comportan mejor que las plastias tradicionales colocadas en una posición más alta en el intercóndilo. Loh et al., compararon diversos emplazamientos de plastias con túneles femorales a las 11 h frente a túneles a las 10 h. Estos últimos resistían mejor la traslación anterior en respuesta a cargas rotatorias<sup>13</sup>. De igual forma, Scopop JM et al., compararon las mediciones cinemáticas en reconstrucciones con hueso-tendón-hueso (HTH) y túneles femorales tradicionales (altos) frente a túneles más bajos hallando que en 30° de flexión las rodillas con túneles femorales más bajos presentaban una corrección de la rotación interna tibial hasta valores cercanos a los normales comparados con la técnica tradicional<sup>14</sup>.

Los nuevos *software* de las distintas casas comerciales nos permiten realizar pruebas de estabilidad incluyendo medidas traslacionales y rotacionales y permitiéndonos evaluar el efecto de diferentes procedimientos quirúrgicos en la estabilidad de la rodilla y describir mejor la laxitud específica de cada paciente. Se han realizado estudios comparativos con otros sistemas de medición cinemáticos como el KT-1000 (MEDmetric Corp, San Diego, California), Rolímetro (Aircast Europa Neubeuern Germany), etc., demostrando la fiabilidad, precisión y reproducibilidad inter/intraobservador de las medidas obtenidas con los distintos navegadores<sup>15,16</sup>. Martelli S et al. han demostrado

una variabilidad intra-cirujano de las mediciones cinemáticas navegadas en las rodillas antes y después de la reconstrucción del LCA menor de 1 mm para traslaciones anteroposteriores y menor de 1,6° para las rotaciones externa e interna en una serie de 79 pacientes<sup>17</sup>.

Para la realización de los túneles en nuestro estudio se utilizó el vaporizador para señalar el área de la huella de inserción, si bien es cierto que en la pared medial del cóndilo femoral y tras la limpieza de los restos ligamentosos de la inserción anatómica, casi siempre nos orientamos en base a las crestas óseas descritas en los trabajos de Fu FH et al.<sup>18,19</sup>. El navegador, únicamente, registró la posición del centro de estos túneles (agujas guías) en relación a las referencias anatómicas intraarticulares marcadas previamente con el puntero. Es decir, en nuestro trabajo no utilizamos la navegación como ayuda para la localización de los túneles tibial y femoral, solo como método para objetivar y registrar los mismos. No obstante, el navegador cuantificó la distancia exacta al córtex posterior del centro del túnel femoral realizando con más seguridad el fresado del túnel. Como datos interesantes el túnel tibial se localizó a unos 16 mm del borde anterior del ligamento cruzado posterior (LCP), punto mucho más anterior que el obtenido con la mayoría de las guías que se apoyan en este ligamento. El túnel femoral siempre respetó 3-4 mm del córtex posterior con tendencia a acercarnos más a la inserción condilar del fascículo anteromedial. De acuerdo con los trabajos actuales creemos que en manos experimentadas la navegación no aporta ventajas para la realización del túnel tibial<sup>20,21</sup>, pero su empleo puede constituir una eficaz herramienta de apoyo al cirujano no habituado. La mayoría de artículos muestran mejor posicionamiento de los túneles femorales en las reconstrucciones asistidas con navegación frente a los estándares<sup>22,23</sup>. La navegación de los túneles en nuestro trabajo fue un objetivo secundario únicamente dirigido a cuantificar la posición de los mismos con el propósito futuro de sistematizar nuestra técnica quirúrgica.

Es preciso destacar, que los navegadores precisan de una técnica invasiva con fijación de los emisores al hueso por medio de agujas de Kirschner con el potencial de complicaciones que ello conlleva. En nuestra serie tuvimos solo dos complicaciones: una quemadura de primer grado en la región tibial por el calor transmitido por la aguja Kirschner al entrar (se resolvió satisfactoriamente con curas en consulta) y en otro paciente una rotura de la punta roscada de la aguja durante su extracción quedando incluida dentro de la tibia sin complicaciones durante el postoperatorio ni en el seguimiento. El desarrollo de técnicas menos invasivas posibilitarán en el futuro la comparación intraoperatoria de la cinemática con la rodilla sana e, incluso, la posibilidad de la utilización de los navegadores en la consulta durante el seguimiento de los pacientes.

Nuestro trabajo presenta dos tipos de limitaciones: unas ligadas a la herramienta de la navegación en sí y otras en relación al diseño del estudio. El navegador Orthopilot® utiliza un *software* con el cual podemos realizar test de estabilidad uniplanares, ya sea la traslación anterior de la tibia en un plano sagital o las maniobras rotatorias en un plano axial. Recientemente, Bull AN et al.<sup>24</sup> publicaron cómo estos exámenes clínicos valoran dos tipos de inestabilidad articular: estática y dinámica. Las medidas estáticas están, en general, asociadas con test de laxitud uniplanar. Por otro

lado, la inestabilidad dinámica de la rodilla es la que refieren los pacientes con los síntomas y se intenta reproducir realizando test exploratorios multiplanares con el *pivot shift*. Diversos *software* para la navegación de la cirugía del LCA actualmente trabajan en cuantificar intraoperatoriamente la maniobra del *pivot shift* siendo prometedores los resultados y el potencial de aplicación futura en la cirugía de rodilla<sup>25-27</sup>. Otra limitación del navegador es la utilización de fuerzas manuales para la realización de los test de estabilidad, disminuyendo la reproducibilidad de dichas mediciones y pudiendo generar una fuente de sesgos. En nuestro estudio las exploraciones fueron realizadas por el mismo cirujano en todos los casos intentando simular las maniobras realizadas en la consulta. En futuros trabajos será necesario la utilización de sistemas cuantitativos que confirmen una fuerza externa constante para mejorar la reproducibilidad de las medidas de laxitud. En cuanto a las limitaciones del diseño del estudio son su carácter descriptivo, el tamaño muestral reducido, así como la utilización de distintos tipos de plastia y la ausencia de comparación con la rodilla contralateral sana. Futuros estudios prospectivos y comparativos podrán demostrar cómo la navegación puede hacer de la cirugía del ligamento cruzado anterior una técnica más reproducible e individualizada según las características anatómicas y cinemáticas del paciente. Del mismo modo futuros estudios comparativos serán necesarios para demostrar, primero el mejor control cinemático de las plastias colocadas con cirugía asistida con ordenador y, en segundo lugar, su utilidad clínica obteniéndose mejores resultados funcionales a medio y largo plazo.

## Conclusiones

La reconstrucción del LCA según la técnica descrita, mejora la estabilidad anteroposterior y rotacional monopolar respecto al estado preoperatorio, pudiendo restablecer dichos valores a los observados en rodillas sanas.

## Nivel de evidencia

Nivel de evidencia IV.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Dessenne V, Lavallée S, Julliard R, Orti R, Martelli S, Cinquin P. Computer-assisted knee anterior cruciate ligament reconstruction: First clinical tests. *J Imaged Guid Surg.* 1995;1:59-64.
- Plaweski S, Cazal J, Rosell P, Merloz P. Anterior cruciate ligament reconstruction using navigation: a comparative study on 60 patients. *Am J Sports Med.* 2006;34:542-52.
- Picard F, DiGiorgia AM, Moody J, Martinek V, Fu FH, Rytel M, et al. Accuracy in tunnel replacement for ACL reconstruction. Comparison of traditional arthroscopic and computer-assisted navigation techniques. *Comput Aided Surg.* 2001;6:279-89.
- Klos T, Habets R, Banks A, Banks SA, Devilees RJ, Cook FF. Computer assistance in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;354:65-9.
- Pearle AD, Kendoff D, Musahl V, Warren RF. The pivot-shift phenomenon during computer-assisted anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91 Suppl 1:S115-8.
- Ishibashi Y, Tsuda E, Tazawa K, Sato H, Toh S. Intraoperative evaluation of the anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with the OrthoPilot® navigation system. *Orthopedics.* 2005;28 Suppl:S1277-82.
- Meredick RB, Vance KJ, Appleby D, Lubowitz JH. Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: A meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2008;36:1414-21.
- Song EK, Seon JK, Park SJ, Hur CL, Lee DS. In vivo laxity of stable versus anterior cruciate ligament-injured knees using a navigation system: a comparative study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17:941-5.
- Daniel DM, Malcom LL, Losse G, Stone ML, Sachs R, Burks R. Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67:720-6.
- Miura K, Isibashi Y, Tsuda E, Fukuda A, Tsukada H, Toh S. Intraoperative comparison of knee laxity between anterior cruciate ligament-reconstructed knee and contralateral stable knee using navigation system. *Arthroscopy.* 2010;26:1203-11.
- Ferreti A, Monaco E, Labianca L, De Carli A, Maestri B, Contedua F. Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a computer-assisted orthopaedic surgery study. *Am J Sports Med.* 2008;36:760-6.
- Albuquerque RF, Ssaki SU, Amatuzzi MM, Angelini FJ. Anterior cruciate ligament reconstruction with double bundle versus single bundle: experimental study. *Clinics.* 2007;62:335-44.
- Loh JC, Fukua Y, Tsuda E, Steadman RJ, Fu FH, Woo SLY. Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. *Arthroscopy.* 2003;19:297-304.
- Scopop JM, Jasper LE, Belkoff SM, Moorman CT. The effect of oblique femoral tunnel placement on rotational constraint of the knee reconstructed using patellar tendon autografts. *Arthroscopy.* 2004;20:294-9.
- Kendoff D, Meler R, Citak M, Pearle A, Marquardt S, Krettek C, et al. Navigation in ACL reconstruction- comparison with conventional measurement tools. *Technol Health Care.* 2007;15:221-30.
- Pearle AD, Shannon FJ, Granchi C, Wizkiewicz TL, Warren RF. Comparison of 3-dimensional obliquity and isometric characteristics of anterior cruciate ligament graft positions using surgical navigation. *Am J Sports Med.* 2008;36:1534-41.
- Martelli S, Zaffagnini S, Bignozzi S, Lopomo N, Marcacci M. Description and validation of a navigation system for intraoperative evaluation of knee laxity. *Comput Aided Surg.* 2007;12:181-8.
- Martins CA, Kropf EF, Wei Shen Fu FH. The concept of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Tech Sports Med.* 2008;16:104-15.

19. Ferreti M, Ekdhal M, Shen W, Fu FH. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2007;23:1218–25.
20. Mauch F, Apic G, Becker U, Bauer G. Differences in the placement of the tibial tunnel during reconstruction of the anterior cruciate ligament with and without computer-assisted navigation. *Am J Sports Med*. 2007;35:1824–32.
21. Valentin P, Hofbauer M, Aldrian S. Clinical results of computer-navigated anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopedics*. 2005;28 Suppl:S1289–91.
22. Sati M, Stäubli H, Bourquin Y, Kunz M, Nolte LP. Real-time computerized in situ guidance system for ACL graft placement. *Comput Aided Surg*. 2002;7:25–40.
23. Picard F, DiGioia AM, Moody J, Martinek V, Fu FH, Rytel M, et al. Accuracy in tunnel placement for ACL reconstruction. Comparison of traditional arthroscopic and computer-assisted navigation techniques. *Comput Aided Surg*. 2001;6:279–89.
24. Bull AN, Andersen HN, Baso O, Targett J, Amis AA. Incidence and mechanism of the pivot shift. An in vitro study. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;21:9–23.
25. Lopomo N, Zaffagnini S, Bigozzi S, Visani A, Marcacci M. Pivot-Shift Test: Analysis and quantification of knee laxity parameters using a navigation system. *J Orthop Res*. 2009;28:164–9.
26. Citak M, Suero EM, Pearle AD, Rozell JC, Bosscher MR, Kuestermeyer J. A mechanized and standardized pivot shifter: technical description and first evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;19:707–11.
27. Ishibashi Y, Tsuda E, Yamamoto Y, Tsukuada H, Toh S. Navigation evaluation of the pivot-shift phenomenon during double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: Is the posterolateral bundle more important. *Arthroscopy*. 2009;25:488–95.