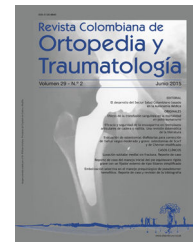




www.elsevier.es/rccot



ORIGINAL

Variabilidad en la ubicación de los túneles femoral y tibial en reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Revisión narrativa



Giovani Gravini^{a,*}, Jorge Ortiz^b, Edgar Alberto Muñoz^b, Carlos Eduardo Pardo^b, Gustavo Andrés Rincón^b, Luis Alfonso Pinzón^b y Luis Alejandro González^b

^a Instructor Asociado, Departamento de Ortopedia y traumatología, Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud - Hospital Infantil Universitario de San José de Bogotá, Colombia

^b Departamento de Ortopedia y traumatología, Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud - Hospital Infantil Universitario de San José de Bogotá, Colombia

Recibido el 13 de diciembre de 2018; aceptado el 28 de septiembre de 2020
Disponible en Internet el 9 de noviembre de 2020

PALABRAS CLAVE

Ligamento cruzado anterior;
Reconstrucción del ligamento cruzado anterior;
LCA o ligamento cruzado anterior;
Tibial o femoral y localización de los túneles o posicionamiento o precisión;
Variabilidad

Resumen

Introducción: Aunque los estudios detallan el origen, la forma y la inserción del ligamento cruzado anterior (LCA), no hay consenso sobre la ubicación del punto adecuado para el posicionamiento del túnel femoral y tibial en la reconstrucción. El objetivo del estudio es revisar la literatura sobre la variabilidad en el posicionamiento de los túneles femoral y tibial en la reconstrucción del LCA.

Materiales y Métodos: Se realizó una búsqueda sistemática y revisión narrativa de la literatura publicada en las bases Medline, Embase, Central, Cochrane y Lilacs, usando términos Mesh y libres. Se realizó una selección por título y resumen y revisión de textos completos. Se clasificaron las publicaciones por temas y se hizo una presentación narrativa de los hallazgos.

Resultados: Se incluyeron 25 estudios. Se encontró variabilidad en la selección de áreas de origen e inserción del LCA, tanto en modelos cadavéricos como pacientes: entre los reparos anatómicos para el posicionamiento del túnel femoral están la cresta intercondilea, cresta bifurcada, cresta del residente, ubicación según el sentido de las manecillas del reloj, remanente del LCA y para el túnel tibial el cuerno anterior del menisco lateral. También hubo variabilidad en los métodos intraquirúrgicos y ayudas imagenológicas como lo son el uso del portal artroscópico antero-medial, cuadrantes de Bernard, fluoroscopia y fluoroscopia navegada. Solo un estudio evaluó la variabilidad en el posicionamiento entre y dentro de cada cirujano mostrando relativa consistencia entre ellos.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: ggravini@yahoo.com (G. Gravini).

Discusión: El sitio de posicionamiento del túnel femoral y tibial para la reconstrucción del LCA, queda determinado por la experiencia del cirujano al no tener guías objetivamente estandarizadas, para realizar la reconstrucción.

Nivel de Evidencia: IV

© 2020 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Sociedad Colombiana de Ortopedia y Traumatología.

KEYWORDS

Anterior Cruciate Ligament;
Anterior Cruciate Ligament Reconstruction;
ACL or anterior cruciate ligament;
Femoral or tibial and tunnel location or placement or insertion or position or precision;
Variability

Variability in the positioning of femoral and tibial tunnels in the reconstruction of the anterior cruciate ligament: A NARRATIVE REVIEW

Abstract

Background: Although several studies have detailed the origin, shape, and insertion of the anterior cruciate ligament (ACL), there is still no consensus on the location of the appropriate point for the positioning of the femoral and tibial tunnels for its grafting. The purpose of this study is to review the literature on the variability in the positioning of femoral and tibial tunnels when a graft reconstruction of the ACL has to be performed.

Methods: A systematic search was carried out on the literature published in the Medline, Embase, Central, Cochrane, and Lilacs databases, using MesH and free terms. A selection was made by title and summary and a review of complete texts. The publications were classified by topic, and a narrative presentation of the findings was made.

Results: A total of 25 studies were included. Variability was found in the selection of areas of origin and insertion of the ACL in both cadaveric models and patients. Among the anatomical repairs for the positioning of the femoral tunnel are the intercondylar crest, bifurcated crest, the resident's crest, clockwise or counter-clockwise direction, remnant of the ACL, and for the tibial tunnel, the anterior horn of the lateral meniscus. There was also variability in the intra-surgical methods and imaging aids, such as the use of the antero-medial arthroscopic portal, Bernard's quadrants, fluoroscope, and navigated fluoroscope. Only one study evaluated the variability in positioning between and within each surgeon, showing relative consistency between them.

Discussion: The positioning site of tunnels for the reconstruction is determined by the experience of the surgeon, since there are no objectively standardised guides to perform the reconstruction.

Evidence Level: IV

© 2020 Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of Sociedad Colombiana de Ortopedia y Traumatología.

Introducción

En estados Unidos, para el 2006, la incidencia de ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) fue estimada en 43.5 por cada 100000 habitantes al año. Cerca de 150.000 pacientes fueron sometidos a procedimientos quirúrgicos para reconstrucción del LCA, convirtiendo este procedimiento en la sexta cirugía ortopédica más realizada en este país; ante el no despreciable número de pacientes operados, la falla de este procedimiento tiene una incidencia acentuada reportada hasta del 16,5%¹.

Esta lesión se presenta predominantemente en población laboralmente activa, lo que genera días perdidos laborales, retardo en la reintegración laboral y costos socioeconómicos considerables. Si a lo expuesto anteriormente, se suma la posibilidad del requerimiento de procedimientos de revisión, el costo y la incapacidad laboral aumentan exponencialmente.² Teniendo en cuenta la población blanca de esta entidad, es de esperar que, tanto la incidencia como el

costo socioeconómico, aumenten cada año, lo cual impacta de forma negativa a cualquier sistema de salud.

Son varios los estudios que se han realizado buscando entender de mejor manera la reconstrucción del LCA, sin embargo, estos estudios no proporcionan información suficiente para analizar todas las variables que presenta la reconstrucción del ligamento.³ El grupo MOON (Multicenter Orthopaedic Outcomes Network) fue creado para realizar estudios en los que participan varios centros de atención y varios cirujanos, logrando así mayor muestra de pacientes y número de cirujanos. Lo anterior permitiría analizar las múltiples variables relacionadas con los resultados, sin embargo, la inclusión de varios cirujanos incrementa la variabilidad en la manera en que se realiza el acto quirúrgico, tal como se ha demostrado en estudios cadavéricos⁴. Esta variabilidad no ha sido estudiada profundamente.

El principal objetivo de la reconstrucción del LCA es recuperar la estabilidad conferida por el ligamento cruzado anterior y la biomecánica normal de la rodilla⁵. Uno de los

Tabla 1 Estrategia de búsqueda^a

Base de datos	Medline, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Cochrane Database of Systematic Reviews OVID
Plataforma	
Fecha de búsqueda	Septiembre de 2018
Estrategia	exp Anterior Cruciate Ligament/ exp Anterior Cruciate Ligament Reconstruction/ (ACL or anterior cruciate ligament*).tw. ((femoral or tibial) and tunnel).tw. (location* or placement* or insertion* or position* or precision).tw. variability.tw. or/1-3 and/4-7

^a Esta estrategia fue adaptada para la base de datos Embase y Lilacs.

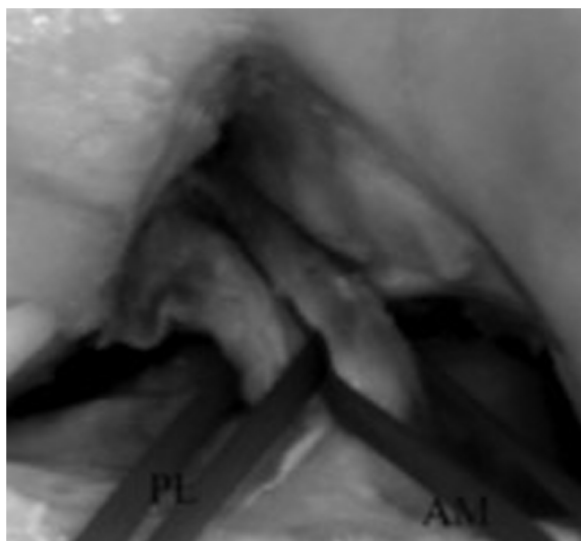


Figura 1 Bandas que conforman el ligamento cruzado anterior. Tomado y modificado de Siebold R, Fu FH. Assessment and Augmentation of Symptomatic Anteromedial or Posterolateral Bundle Tears of the Anterior Cruciate Ligament. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2008;24(11):1289-98.

Abreviaturas: PL: postero-lateral; AM: antero-medial.

aspectos cruciales para el buen resultado de la reconstrucción, es el adecuado posicionamiento del túnel femoral y tibial⁶⁻⁹.

En una revisión de 20 casos de reconstrucción del LCA, realizados por cirujanos del grupo Multicenter ACL Revision Study (MARS) que fueron analizados por 10 diferentes cirujanos del mismo grupo ajenos a la primera cirugía, se determinaron las posibles causas de falla de la reconstrucción, entre las cuales se reportaron el trauma, las causas biológicas, los errores técnicos y combinaciones de las anteriores. Entre los errores técnicos se destacó el mal posicionamiento del túnel femoral¹⁰.

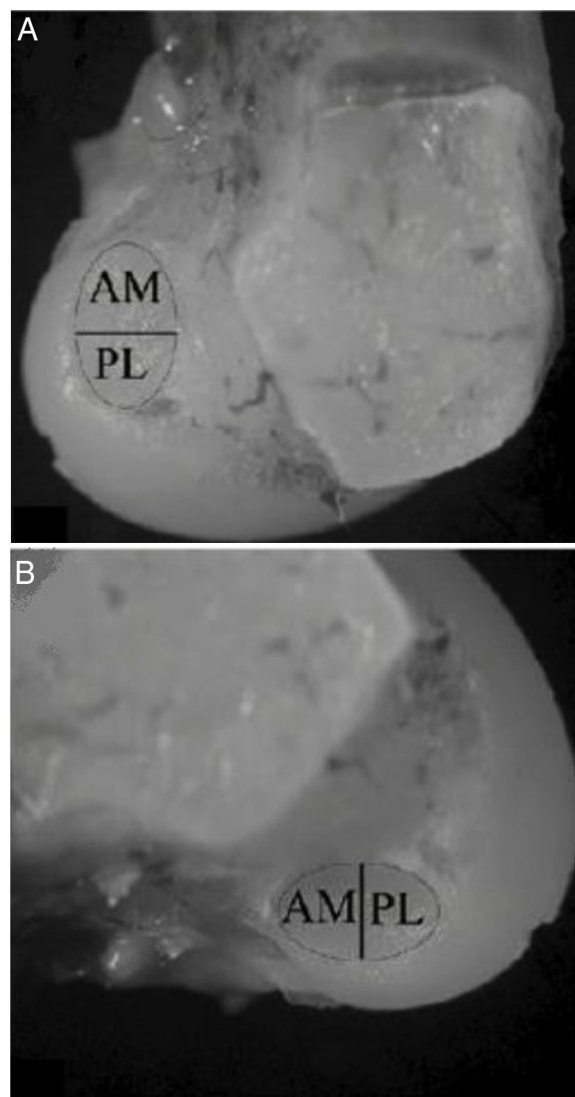


Figura 2 Forma ovalada del origen femoral de inserción del LCA (A). Rodilla en flexión de 90 cambiando la orientación del origen del LCA. Tomado y modificado de Jepsen CF, Lundberg-Jensen AK, Faunoe P. Does the position of the femoral tunnel affect the laxity or clinical outcome of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee? A clinical, prospective, randomized, double-blind study. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2007;23(12):1326-33

Abreviaturas: PL: postero-lateral; AM: antero-medial.

A pesar del estudio juicioso de la anatomía del LCA, y de las múltiples técnicas existentes que buscan el posicionamiento anatómico de los túneles, se reportan desde el 14% hasta 43% de túneles mal posicionados. En estudios cadavéricos se demostró que al no posicionar anatómicamente los túneles o al no lograr la orientación anatómica del injerto, no se alcanzaba la restauración biomecánica normal de la rodilla¹¹. El mal posicionamiento del túnel femoral podría resultar en pérdida de flexión de la rodilla y elongación del injerto¹². El posicionamiento anterior del túnel tibial, podría generar pinzamiento y pérdida del injerto, mien-

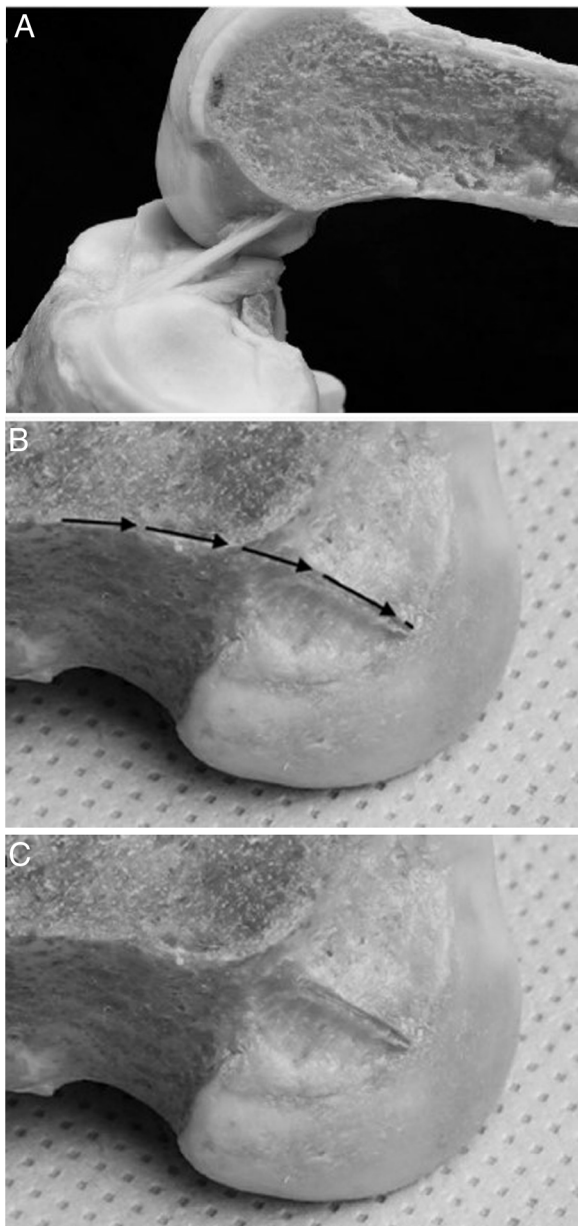


Figura 3 (A) configuración acintada a 2 mm distales del origen femoral del LCA. (B y C) origen aplanado y continuación con la cortical posterior femoral del LCA. Tomado y modificado de Smigielski R, Zdanowicz U, Drwiega M, Ciszek B, Ciszowska-Lyson B, Siebold R. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(11):3143-50.

tras que la posición posterior podría incrementar la laxitud antero-posterior de la rodilla.

La disponibilidad de varios reparos anatómicos y de múltiples dispositivos y técnicas quirúrgicas que buscan el mejor posicionamiento de los túneles, sin precisión o aceptación global, genera la inquietud en cuanto a la precisión que tienen los cirujanos de rodilla al localizar el punto ideal para el posicionamiento de los túneles. Entonces, el lugar de posicionamiento del túnel femoral y tibial puede

variar considerablemente, entre un mismo cirujano y entre varios cirujanos de rodilla. El resultado de la reconstrucción de LCA, podría estar afectado por esta variabilidad, ya que está claramente descrita la falla del injerto por mal posicionamiento de los túneles¹³. Teniendo en cuenta las consecuencias en la falla del injerto, este estudio se propuso para revisar la literatura publicada sobre la variabilidad en el posicionamiento de los túneles femoral y tibial en la reconstrucción del LCA.

Materiales y Métodos

Se llevó a cabo una revisión ampliada de la literatura. Para esto, se realizó una búsqueda de información en las bases de datos Medline (desde la fecha de inicio hasta agosto del 2018), Cochrane Central Register of Controlled Trials (desde la fecha de inicio hasta Julio del 2018), Cochrane Database of Systematic Reviews (desde 2005 hasta agosto del 2018), Embase (sin límite de fecha) y Lilacs (sin límite de fecha). La estrategia de búsqueda incluyó términos MeSH y términos libres, como se observa en la [tabla 1](#). Se realizó una eliminación de registros duplicados en el software Endnote® y se llevó a cabo el proceso de tamizaje a partir de la lectura de títulos y resúmenes; como criterios de inclusión de estudios se consideró cualquier tipo de diseño, cuyo objetivo fuera el análisis de la variabilidad en el posicionamiento de los túneles tibial y femoral en la reconstrucción del LCA; se excluyeron estudios publicados en idiomas diferentes al inglés o español. Luego del tamizaje de referencias se hizo la búsqueda en texto completo y se procedió a su lectura y extracción de la información. La síntesis de la evidencia se realizó de manera narrativa, para lo cual los estudios fueron agrupados en distintos temas.

Resultados

La estrategia de búsqueda arrojó 40 referencias. Luego de remover duplicados se obtuvieron 36. El proceso de tamizaje permitió incluir 35 estudios, pero solo se tuvo acceso a 25. Estos 25 estudios estudiaron los siguientes temas relacionados con la variabilidad en el posicionamiento de los túneles:

- Reparos anatómicos utilizados para el posicionamiento del túnel femoral en la reconstrucción del LCA.
- Métodos intra quirúrgicos y ayudas imagenológicas para el posicionamiento de los túneles.
- Variabilidad inter e intra cirujanos en el posicionamiento de los túneles.

Reparos anatómicos

El ligamento está conformado por dos bandas que se denominan teniendo en cuenta su orientación en la cavidad articular. Una es la banda antero-medial (AM) y la otra es la banda postero-lateral (PL) las cuales se encuentran separadas por un septum fino (ver [fig. 1](#))¹⁴. El origen del LCA, se localiza en el aspecto posterior de la pared medial del cóndilo lateral. El área ocupada por el origen del ligamento, es ovalada con su diámetro mayor dirigido en sentido céfalo-caudal en extensión completa (ver [fig. 2](#)).

Tabla 2 Medidas del sitio de inserción del LCA y sus bandas. Tomado y modificado de 19

Medida	Promedio (DE)	Rango
Longitud de la huella - mm	17.2 (1.2)	19 - 14.7
Ancho de huella - mm	9.9 (0.8)	11.5 - 8.4
Eje mayor anteromedial - mm	9.8 (1)	11.7 - 8.1
Eje mayor postero-lateral - mm	7.3 (0.5)	8.3 - 6.6
Longitud de la cresta intercondilea lateral - mm	14.9 (2)	17.5 - 12
Longitud de la cresta bifurcada lateral - mm	3.5 (0.8)	4.5 - 2
Área de la huella - mm ²	196.8 (23.1)	230.4 - 158.1
Área anteromedial - mm ²	120 (19.8)	155.3 - 103.5
Área posterolateral - mm ²	76.8 (15.6)	118.7 - 54.5
Cambio del slop tibial - °	27.7 (8.9)	40.9 - 11.8
Radio de curvatura antero-medial - mm	25.8 (12)	48.7 - 8.4

Abreviaturas: DE: desviación estándar; mm: milímetros.

El área de inserción femoral muestra grandes variaciones que van desde 46 y 230 mm², un largo entre 12 y 20 mm y un ancho entre 5 y 13 mm¹⁵. Algunos autores mediante estudios anatómicos de especímenes cadavéricos, identificaron el origen del ligamento y describieron en él, una forma plana y acintada que se continua exactamente con la cortical posterior del fémur (ver fig. 3)¹⁶.

El área de inserción tibial del ligamento en sentido antero-posterior es de 14 a 17 mm (rango de 9 a 20 mm); la longitud intra-articular de la banda AM está en el rango de 28 a 38 mm y de la banda PL en 18 mm; con respecto al área de inserción a nivel de la tibia, el LCA forma una inserción oval. El centro de inserción tibial de la banda AM se encuentra en la parte anterior y medial de la huella de inserción del ligamento, lateral a la espina tibial medial. El centro de inserción tibial de la banda PL se encuentra en la región posterior y lateral de la huella insercional, anterior y medial a la eminencia intercondilea, y al cuerno posterior del menisco lateral. La tabla 2 resume las medidas morfológicas e insercionales del LCA.

Las áreas de origen e inserción del LCA pueden variar en los modelos cadavéricos y entre los mismos pacientes¹⁷. El papel que juega cada una de las bandas con respecto a la estabilidad en diferentes grados de flexión de la rodilla, ha sido evaluado en muestras cadavéricas¹⁸. En estos estudios se demostró que no hay diferencia significativa entre la banda AM y PL al generar carga anterior con la rodilla en extensión. La banda AM muestra mayor tensión a los 15°, 30° y 60° de flexión, mientras que la banda PL muestra menor tensión a 30° y 60° de flexión. Un estudio anatómico, histológico y biomecánico realizado en especímenes de donante cadavérico demuestra la existencia de un tercer haz que se encuentra localizado entre la banda AM y PL denominada banda intermedia; esta banda tendría un papel accesorio a la función de la banda AM y PL (ver fig. 4).

Mediante el uso de tomografía axial y reconstrucción 3D realizado en 8 muestras cadavéricas, Tampere *et al.*, estudiaron en detalle la anatomía LCA, su huella anatómica, tanto femoral como tibial, y el comportamiento del ligamento en flexión de la rodilla a 0°, 45° y 90°. A pesar de la pequeña muestra, este estudio demostró variabilidad entre las huellas de origen e inserción del ligamento cruzado en las piezas cadavéricas. Este estudio también determinó el punto

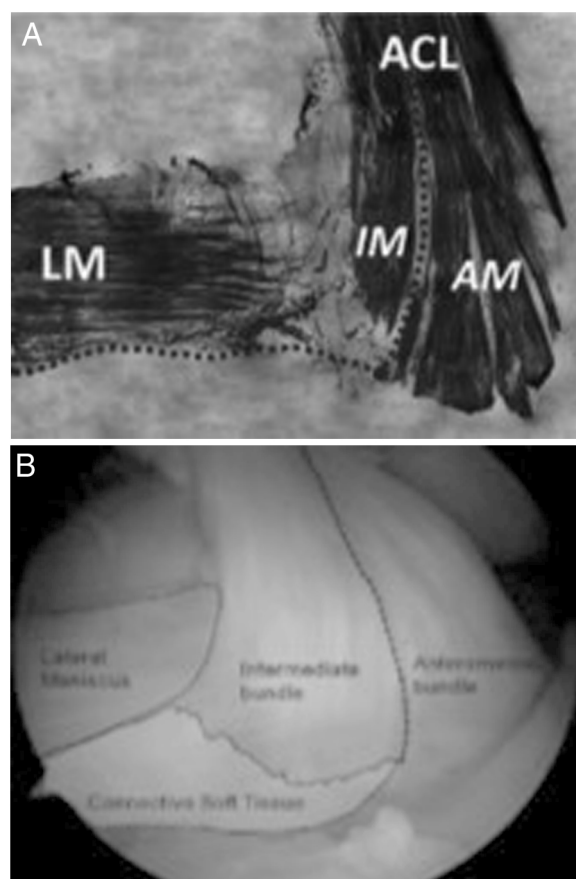


Figura 4 Imagen histológica (A) y macroscópica (B) del ligamento cruzado anterior (ACL) en la que se evidencia la banda intermedia (IM). Tomado y modificado de Kato Y, Ingham SJ, Maeyama A, Lertwanich P, Wang JH, Mifune Y, et al. Biomechanics of the human triple-bundle anterior cruciate ligament. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association.* 2012;28(2): 247-54.

Abreviaturas: LM: menisco lateral; AM: banda antero medial.

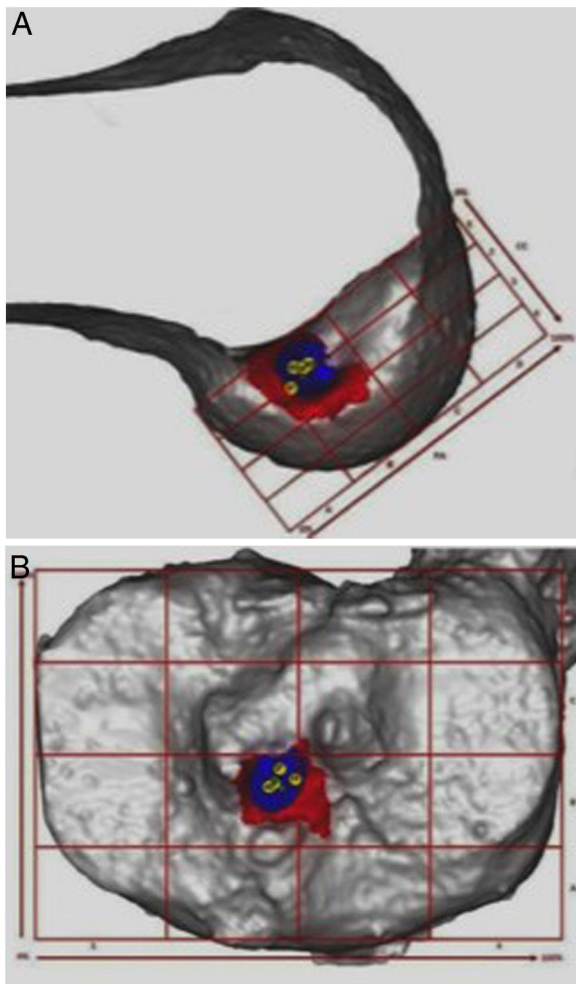


Figura 5 Representación tridimensional de la huella femoral (A) y tibial (B) (en rojo) con el punto ideal para el posicionamiento de los túneles (en azul) y el eje central a 0°, 45° y 90° de flexión (en amarillo). Tomado y modificado de Tampere T, Van Hoof T, Cromhecke M, Van der Bracht H, Chahla J, Verdonk P, et al. The anterior cruciate ligament: a study on its bony and soft tissue anatomy using novel 3D CT technology. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*. 2017; 25(1):236-44.

ideal para el posicionamiento del túnel femoral y tibial además de la traslación que presenta en los diferentes grados de flexión (ver [fig. 5](#)).

Algunos de los reparos anatómicos utilizados para el posicionamiento del túnel femoral en la reconstrucción del LCA, son la cresta intercondilea y la cresta bifurcada, las cuales se encuentran ubicadas en el aspecto posterior de la cara medial del cóndilo lateral del fémur. Sin embargo, estas estructuras son variables y en algunos casos no son identificables (ver [fig. 6](#)).

Algunas revisiones de la literatura ubican un punto identificable artroscópicamente para estandarizar el posicionamiento del túnel femoral. Este punto es el resultado del promedio de las medidas obtenidas en todos los estudios revisados en cuanto a la ubicación de la huella anatómica del LCA. El valor publicado de este punto es determinado

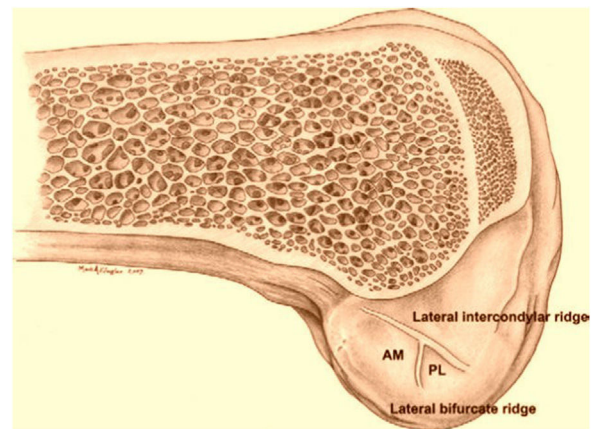


Figura 6 Pared lateral de la escotadura intercondilea donde se evidencia la cresta intercondilea lateral y la cresta bifurcada lateral. Se observa el origen de la banda anteromedial y posterolateral. Tomado y modificado de Bird JH, Carmont MR, Dhillon M, Smith N, Brown C, Thompson P, et al. Validation of a new technique to determine midbundle femoral tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction using 3-dimensional computed tomography analysis. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2011;27(9):1259-67. Abreviaturas: PL: postero-lateral; AM: antero-medial.

teniendo en cuenta la línea de Blumensaat y el radio de curvatura del cóndilo lateral femoral (ver [fig. 7](#)).

La "cresta del residente", la cual se ubica a nivel de la pared medial del cóndilo lateral, es uno de los reparos óseos utilizado como guía para el posicionamiento del túnel femoral, sin embargo, esta marca no es identificable en la totalidad de piezas anatómicas o rodillas tratadas.¹⁹

Otro método ampliamente utilizado como guía para el posicionamiento del túnel femoral, es el sentido horario de las manecillas del reloj. Sin embargo, este método es referenciado con la rodilla en extensión, lo cual no es de utilidad en la reconstrucción del LCA que se realiza en flexión.

Un reparo que siempre existirá y que servirá como guía para el posicionamiento del túnel femoral, es el remanente del ligamento cruzado a nivel de su origen.

Uno de los reparos anatómicos más utilizados para lograr el adecuado posicionamiento del túnel tibial es la identificación del cuerno anterior del menisco lateral. Su principal ventaja consiste en ser un reparo anatómico fácil de reconocer durante la artroscopia de rodilla convencional, rara vez se lesiona con el trauma inicial o durante el procedimiento quirúrgico, además de encontrarse muy cerca al centro de la huella anatómica de inserción del ligamento a nivel tibial en el plano sagital²⁰. La [tabla 3](#) muestra los reparos anatómicos utilizados para el posicionamiento del túnel tibial.

Métodos intraquirúrgicos y ayudas imagenológicas para el posicionamiento de los túneles

En 1990 se empezó a desarrollar la técnica quirúrgica en la que se realizaba el túnel femoral a través del túnel tibial mediante el uso de guías con *offset* femoral. Esta técnica ha demostrado producir túneles femorales no anatómicos localizados por fuera de la huella de origen del ligamento nativo, lo cual generó déficit en la estabilidad rotacional

Tabla 3 Reparos anatómicos utilizados en diferentes trabajos para el posicionamiento del túnel tibial. Tomado y modificado de 20

Autor	Marcador	Detalle
Zantop <i>et al.</i>	Inserción anterior del menisco lateral	Inserción anterior del menisco lateral (11.2 +/- 1.2 mm) anterior y 4.1 mm (+/- 0.6 mm) lateral a la banda posterolateral del LCA
Ziegler <i>et al.</i>	Menisco lateral	El menisco lateral está a 7.5 mm (+/- 0.5 mm) lateral al LCA en el plano coronal
Luites <i>et al.</i>	Espina tibial medial	El LCA está a 5.1 mm (+/-1.7 mm) lateral y 9.8 mm (+/-2.1 mm) anterior a la espina tibial medial
Edwards <i>et al.</i>	Sobre la cresta posterior de la rodilla	La banda posterolateral del LCA está 10 mm (+/-1 mm) anterior a la cresta posterior de la rodilla
Edwards <i>et al.</i>	Espina tibial medial	Distancia entre el borde lateral de la espina tibial medial está a 4 mm (+/- 1 mm) a la banda posterolateral y 5 mm (+/- 1 mm) a la banda anteromedial
Jackson <i>et al.</i>	Ligamento cruzado posterior	El punto medio de la huella del LCA está a 7 mm anterior del ligamento cruzado posterior
Kongcharoensombat y col.	Ligamento transverso	El ligamento transverso está a 1.7% (+/-3.3%) del ancho sagital de la tibia desde el punto medio de la huella del LCA
Ferreti <i>et al.</i>	Ligamento intermeniscal y eminencia tibial medial	El centro del LCA está 9.1 mm (+/- 1.5 mm) posterior al ligamento intermeniscal y 5.7 mm (+/- 1.1mm) anterior desde el apex a la eminencia tibial medial

Abreviaturas: LCA: ligamento cruzado anterior

de la rodilla ya que el túnel femoral realizado con la técnica transtibial, se ubicaba muy profundo y muy alto en la escotadura intercondilea. Desde entonces, se cambió el concepto de "posicionar el túnel en puntos isométricos" al de "posicionar los túneles en puntos anatómicos".

El estudio prospectivo y aleatorizado realizado por Jae-Ang Sim *et al.*²¹, en 103 pacientes sometidos a reconstrucción del LCA, comparó la técnica quirúrgica que utilizaba el túnel tibial para la realización del túnel femoral versus la realización del túnel femoral a través del portal artroscópico anteromedial. Este estudio demostró la variabilidad existente en el posicionamiento del túnel femoral a través del túnel tibial.

El método de cuadrantes de Bernard²² se utilizó para localizar en imágenes radiográficas simples el punto de inserción femoral del LCA. En la actualidad este método es aplicado a la tomografía axial computarizada (TAC) utilizando como referencia la línea de Blumensaat y la escotadura intercondilea femoral. Este sistema consiste en la aplicación de una cuadrícula a la imagen radiológica sagital del fémur distal²³. De esta manera se logra la sectorización de la cara medial del cóndilo lateral femoral.

Los estudios imaginológicos han permitido objetivar el posicionamiento de los túneles en la reconstrucción del ligamento. En la revisión sistemática realizada por Hu Xu *et al.*, se incluyeron 13 artículos en los que se utilizó la cuadrícula de Bernard y Hertel para valorar la posición del túnel femoral en la reconstrucción del LCA.

Para el uso de esta cuadrícula, se utiliza la radiografía simple lateral de rodilla o la TAC con supresión del cóndilo medial femoral, como se observa en la *fig. 8*.

La cuadrícula de 4x4 toma su eje mayor paralelo a la línea de Blumensaat (t) y representa el diámetro sagital del cóndilo lateral en términos de porcentaje. El eje menor de la cuadrícula (h) se encuentra paralelo a la línea de Blumensaat

y representa la altura intercondilea femoral en términos de porcentaje. La ubicación del túnel femoral se determina en la intersección del eje Y con el eje X.

El método de la cuadrícula de Bernard y Hertel fue inicialmente utilizado en radiografías simples de rodilla⁹. La adecuada ubicación de la cuadrícula a la imagen lateral, se ve condicionada por la técnica en la toma del estudio en la cual se deben sobreponer los dos cóndilos femorales, además, la línea de Blumensaat no corresponde al verdadero techo de la escotadura intercondilea. Esto se debe a la variabilidad en el grosor de la línea y a las diferentes formas que puede tener la escotadura en diferentes pacientes (ver *fig. 9*).

Mediante el uso de tomografías axiales de la rodilla, se puede realizar rotaciones de las imágenes obtenidas, supresión de estructuras como el cóndilo medial e identificar de manera más precisa el borde superior de la escotadura intercondilea.

Mediante el uso del fluoroscopio, Moloney *et al.*²⁴, valoraron el posicionamiento del túnel femoral y tibial realizado por 20 cirujanos en especímenes cadavéricos. Inicialmente, se digitalizó el área anatómica de origen e inserción femoral y tibial y se determinó el punto "blanco" de ubicación de los túneles según las descripciones realizadas por Colombet *et al.*, el cual también quedó registrado de forma digital. En el acto quirúrgico, cada uno de los cirujanos ubicó artroscópicamente, el punto que consideraba adecuado para el posicionamiento del túnel femoral y tibial los cuales fueron registrados en imágenes fluoroscópicas. Inmediatamente, se presentó a cada cirujano la imagen digitalizada con el punto "blanco" y mediante el fluoroscopio, se realizó o no la corrección del punto según criterio del cirujano (ver *fig. 10*)²⁵.

En el estudio prospectivo y aleatorizado realizado por Chouteau *et al.*, se determinó que el uso del fluoroscopio

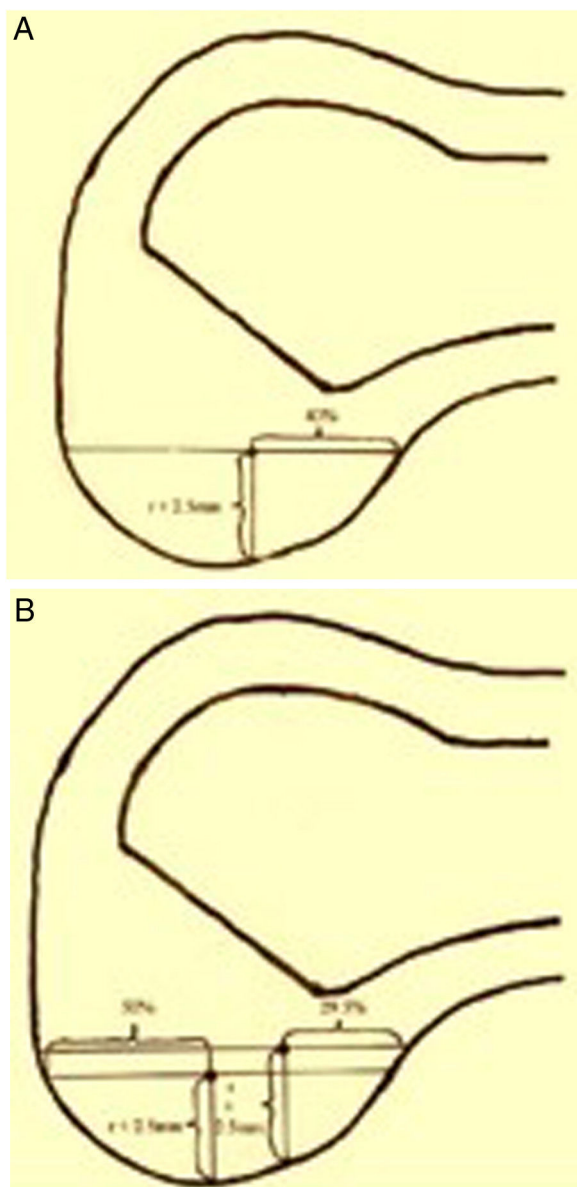


Figura 7 Sistema de medición de profundidad y altura del punto de origen del ligamento cruzado anterior en el fémur, teniendo como referencia la línea de Blumensaat. Tomado y modificado de Piefer JW, Pflugner TR, Hwang MD, Lubowitz JH. Anterior cruciate ligament femoral footprint anatomy: systematic review of the 21st century literature. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2012;28(6):872-81.

intraquirúrgico, mejoraba el punto de posicionamiento del túnel femoral y tibial²⁶.

El estudio clínico realizado por Shafizadeh *et al.*, en 112 pacientes sometidos a reconstrucción del LCA, incluyó el uso de imágenes fluoroscópicas intraquirúrgicas. Los resultados demostraron la ventaja del uso de la imagen fluoroscópica intraquirúrgica, ya que se hizo necesaria la corrección del punto del túnel femoral y tibial en algunos casos. A pesar de los datos obtenidos, este estudio tiene varias limitaciones: no hubo grupo control en el que se realizara el

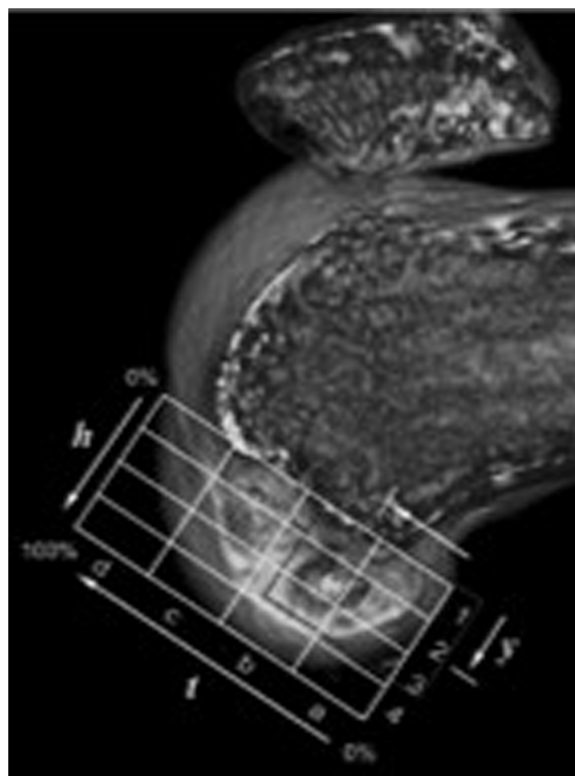


Figura 8 Cuadrícula de Bernard y Hertel para ubicar la posición del túnel femoral. Tomado y modificado de Xu H, Zhang C, Zhang Q, Du T, Ding M, Wang Y, et al. A Systematic Review of Anterior Cruciate Ligament Femoral Footprint Location Evaluated by Quadrant Method for Single-Bundle and Double-Bundle Anatomic Reconstruction. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2016;32(8):1724-34.

procedimiento quirúrgico sin la asistencia fluoroscópica, los cirujanos que realizaron el procedimiento tenían algún conocimiento sobre la identificación del punto ideal en imágenes radiográficas y no hubo correlación clínica al finalizar el estudio.

Trentacosta *et al.*, concluyeron en su trabajo realizado en 112 pacientes, que el uso del arco en C intraquirúrgico, disminuye significativamente la ruptura de la cortical femoral, la divergencia de los tornillos de interferencia y el mal posicionamiento de los túneles. Esto concuerda con el estudio realizado por Sven Shafizadeh *et al.*²⁷, donde participaron 709 centros de atención ortopédica que realizan reconstrucción del LCA; el estudio se basó en las respuestas obtenidas mediante el esquema de encuesta que fue desarrollado por todos los centros clínicos incluidos en el estudio; dentro de las preguntas que se realizaron se encontraban la preferencia de la posición del paciente, la selección del injerto, la técnica utilizada para la realización del túnel femoral y el uso o no de imagen fluoroscópica intraquirúrgica. Se demostró que solo el 12% de los centros encuestados utilizaban imágenes fluoroscópicas intraquirúrgicas como ayuda para el posicionamiento de los túneles.

Entonces, hay evidencia de que el uso del fluoroscopio intraquirúrgico mejora la técnica quirúrgica en la

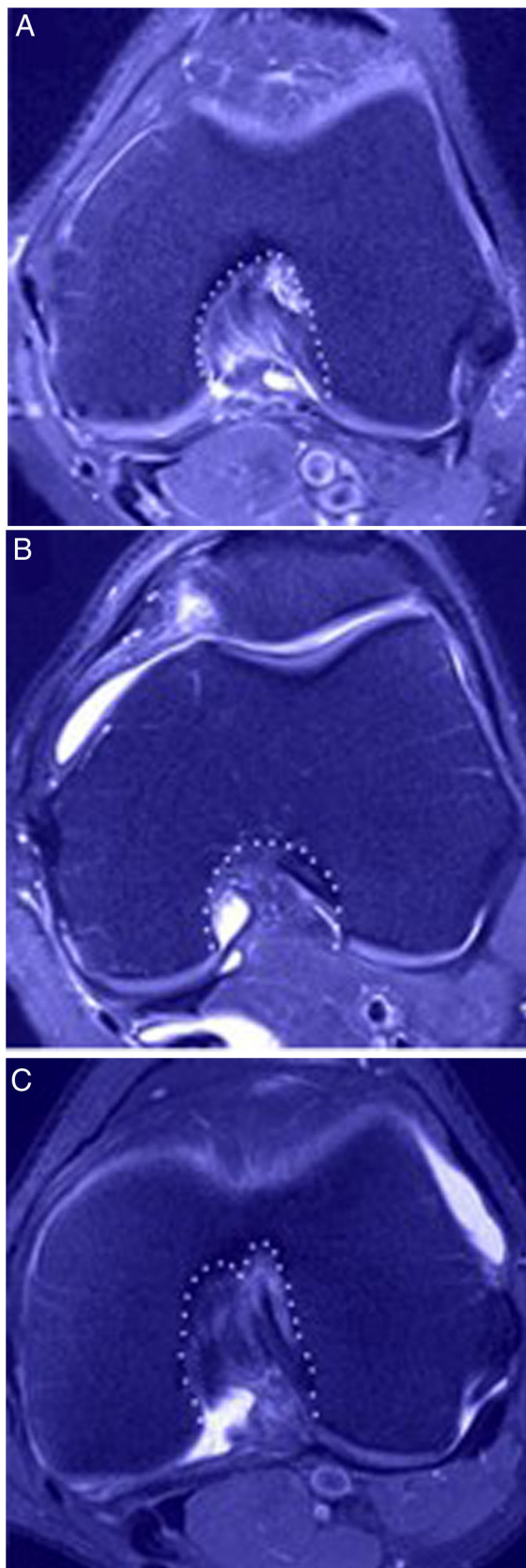


Figura 9 Corte axial de resonancia magnética de la rodilla en la que se evidencian las diferentes formas de la escotadura intercondilea. A: Forma de "A", B: Forma de "U", C: Forma de "W". Tomado de y modificado de Xu H, Zhang C,

reconstrucción del LCA, sin embargo, se discute su eficacia ya que es un método costoso, invasivo por la radiación y demanda más tiempo quirúrgico.

Se describe en la literatura el sistema denominado "navegado", el cual puede ser utilizado con o sin imágenes radiológicas pre o intraquirúrgicas con el fin de mejorar la precisión en el posicionamiento del túnel femoral y tibial. El estudio realizado por Plaweski *et al.*, en el cual se aleatorizaron 60 pacientes a reconstrucción del LCA mediante el sistema de navegación o en forma convencional, sin encontrar diferencias demográficas significativas, demostró que el uso del sistema de navegación, mejoraba la precisión en el posicionamiento en el túnel femoral y tibial. Sin embargo, los autores aclararon que, a pesar de los resultados obtenidos, es necesario realizar seguimientos a 5 y 10 años para valorar los resultados a largo término, además, se debe tener un mayor grupo de pacientes para aumentar el poder del estudio²⁸.

Por lo expuesto anteriormente, se puede deducir que el sitio de posicionamiento del túnel femoral y tibial para la reconstrucción del LCA, queda determinado por la experiencia del cirujano al no tener guías objetivamente estandarizadas, para realizar la reconstrucción. Esto podría generar malos resultados quirúrgicos y exposición a cambios artrósicos tempranos de la articulación.

Variabilidad inter e intra cirujanos en el posicionamiento de los túneles.

Poco se ha estudiado respecto a la variabilidad inter e intra cirujano en el posicionamiento de los túneles. La valoración de las reconstrucciones del LCA, es realizada a menudo con radiografía simple, sin embargo, recientes estudios sugieren el uso de tomografías en estas valoraciones para determinar objetivamente la variabilidad inter e intra cirujano en el posicionamiento de los túneles y si existe correlación estadísticamente significativa entre la variabilidad en el posicionamiento de los túneles y los resultados quirúrgicos.

La variabilidad entre un mismo y varios cirujanos con respecto al posicionamiento de los túneles, debe ser valorada al considerar los estudios con grandes tamaños de muestra 1. Hasta la fecha de realización de este estudio se encontró sólo un estudio que midió, la variabilidad inter e intra observador en el posicionamiento de los túneles en la reconstrucción del LCA. El estudio clínico observacional realizado por Brian R. Wolf planteaba como hipótesis encontrar mínima variabilidad entre cirujanos en el posicionamiento del túnel femoral y tibial en la reconstrucción del LCA.

El estudio incluyó a 78 pacientes sometidos a reconstrucción del LCA realizado por 8 cirujanos de rodilla en 4 instituciones quienes realizaron un promedio de 66 reconstrucciones al año (rango entre 26 - 126) durante el tiempo

Zhang Q, Du T, Ding M, Wang Y, et al. A Systematic Review of Anterior Cruciate Ligament Femoral Footprint Location Evaluated by Quadrant Method for Single-Bundle and Double-Bundle Anatomic Reconstruction. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2016;32(8):1724-34.

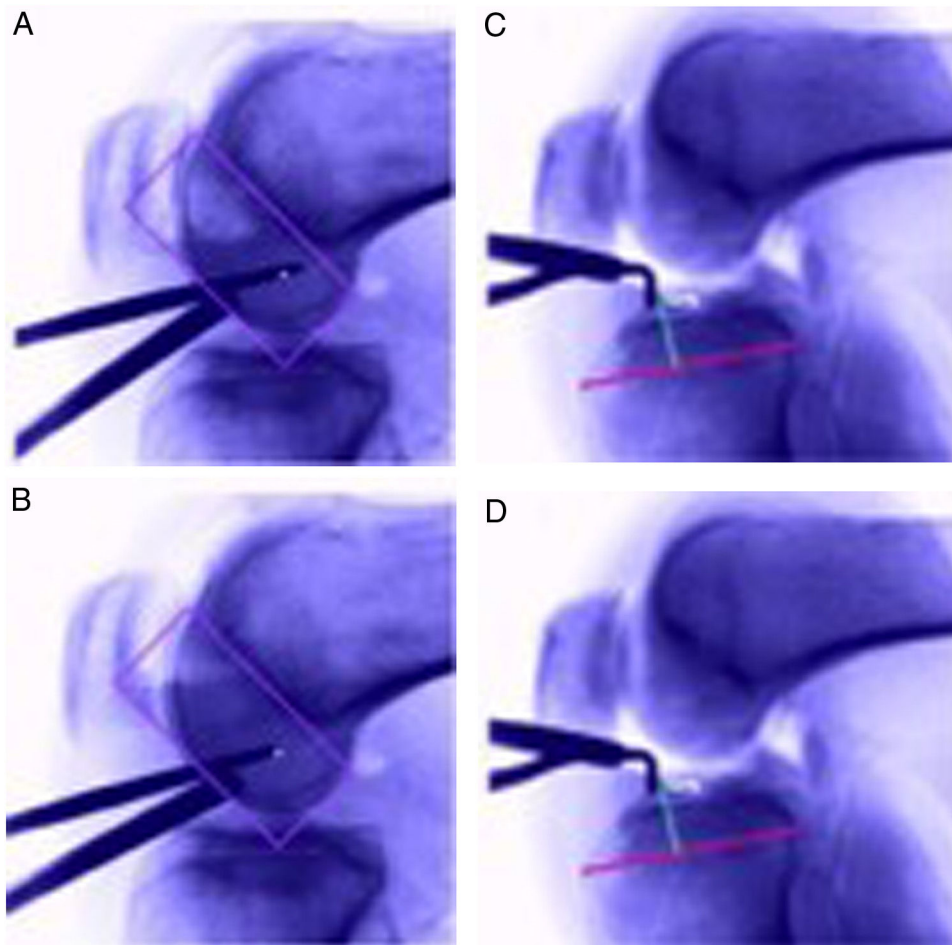


Figura 10 Imagen que evidencia el punto considerado como adecuado por el cirujano para el posicionamiento del túnel femoral y tibial (A y C) y el ajuste realizado bajo visión fluoroscópica para lograr el punto "blanco". Tomado y modificado de Moloney G, Araujo P, Rabuck S, Carey R, Rincon G, Zhang X, et al. Use of a fluoroscopic overlay to assist arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013;41(8):1794-800.

Tabla 4 Medidas de tomografía axial en el posicionamiento del túnel femoral en 8 cirujanos

Medidas en la tomografía de 8 cirujanos para la profundidad (c/C) y altura (n/N) del túnel femoral												
	Cirujano No								Promedio	Min	Max	Rango
	1	2	3	4	5	6	7	8				
<i>c/C</i>												
Promedio	0.45	0.43	0.59	0.39	0.41	0.52	0.38	0.37	0.44	0.37	0.59	0.22
Desviación estándar	0.03	0.07	0.05	0.08	0.06	0.12	0.10	0.10		0.03	0.12	0.08
Mínima	0.41	0.31	0.51	0.25	0.33	0.41	0.26	0.16		0.16	0.51	0.35
Máxima	0.50	0.55	0.67	0.52	0.48	0.76	0.59	0.53		0.48	0.76	0.28
Rango	0.09	0.24	0.16	0.27	0.14	0.34	0.33	0.37				
<i>n/N</i>												
Promedio	0.44	0.35	0.41	0.43	0.46	0.48	0.43	0.54	0.46	0.35	0.54	0.19
Desviación estándar	0.06	0.08	0.08	0.05	0.07	0.09	0.10	0.05		0.05	0.10	0.04
Min	0.33	0.20	0.26	0.34	0.37	0.27	0.33	0.48		0.20	0.48	0.27
Max	0.53	0.46	0.51	0.48	0.59	0.61	0.62	0.64		0.46	0.64	0.18
Rango	0.19	0.26	0.25	0.15	0.22	0.34	0.30	0.17				

del estudio 6 cirujanos incluyeron 10 pacientes, 1 cirujano incluyó 11 pacientes y un cirujano incluyó 7 pacientes; el procedimiento fue realizado con la técnica y el injerto de preferencia de cada cirujano. Se realizaron TACs al sexto mes post quirúrgico y se obtuvieron imágenes de reconstrucción 3D del fémur distal y la tibia proximal de todos y cada uno de los pacientes. Se digitalizaron estas imágenes y mediante el software utilizado, fue posible ubicar y realizar las mediciones de los túneles realizados en el fémur y en la tibia. Para el fémur se utilizó la imagen sagital de la cara medial del cóndilo lateral con supresión del cóndilo medial. En esta imagen se midió la ubicación del túnel teniendo en cuenta la profundidad y altura del túnel. De igual manera, se realizaron las mediciones del posicionamiento de los túneles en la imagen axial de la tibia teniendo en cuenta la profundidad y el ancho de la imagen (ver [fig. 11](#)).

La profundidad en el posicionamiento del túnel femoral fue obtenida a partir de la pared medial del cóndilo lateral y medida como el porcentaje de la dimensión total antero-posterior siendo 0% el borde posterior y 100% el borde anterior del cóndilo. La altura en el posicionamiento del túnel femoral fue obtenida a partir de la pared medial del cóndilo lateral: la altura máxima se ubicó en la escotadura intercondilea a 0% y el borde inferior del cóndilo como 100%. La localización del túnel tibial fue medida como el porcentaje de la amplitud del platillo desde el borde medial de la tibia. Para evaluar la variabilidad se calculó, en cada una de estas medidas, el rango definido como la diferencia entre el porcentaje mínimo y el porcentaje máximo: un menor rango implica una menor variabilidad.

Entre los cirujanos el promedio de la profundidad del túnel femoral estuvo en el rango de 37% y 59% con una variabilidad del 22%; para la altura, el promedio del túnel femoral estuvo en el rango 35% y 54% con una variabilidad del 19%. Ver [tabla 4](#). Para la localización del túnel tibial en la dimensión antero-posterior se tuvo un rango entre 37% y 53% con una variabilidad de 16% y en la dimensión medial a lateral un rango entre 44% y 48% con una variabilidad del 4%. Dentro de cada cirujano los rangos mayores se observaron en la profundidad del túnel femoral (entre 9% y 37%) mientras que la ubicación del túnel tibial en la dimensión medial a lateral mostró menos variabilidad (entre 4% y 11%).

Los autores concluyeron que hubo una relativa consistencia entre los cirujanos, pero que la variabilidad en la ubicación del túnel femoral del 22% con respecto a la profundidad probablemente refleja diferencias en las localizaciones preferidas por los cirujanos individuales. Como el estudio no pretendía realizar un seguimiento del resultado a largo plazo por lo tanto no hay una correlación entre los hallazgos del estudio y el resultado clínico final.

Discusión

El presente estudio permitió realizar una búsqueda sistemática y juiciosa de la literatura y así encontrar trabajos que, a nuestro criterio, son pocos teniendo en cuenta la importancia social y económica que conlleva la reconstrucción del LCA. No se puede dejar de mencionar la cantidad de literatura existente y que además es clara con respecto a la anatomía y la biomecánica del LCA. Sin embargo, no se puede concluir cuál técnica es la mejor para determinar el

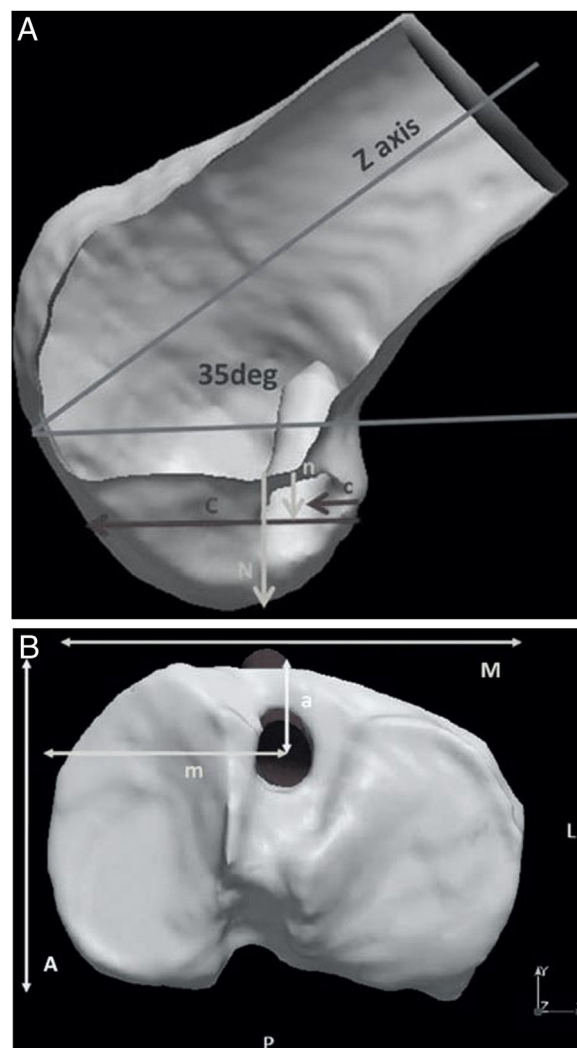


Figura 11 Método de medición de la localización del túnel femoral como porcentaje de la profundidad del cóndilo (c/C) y el porcentaje de la altura en la escotadura (n/N) (A). Método de medición de la localización del túnel tibial como porcentaje de la profundidad de la superficie articular tibial (a/A) y el porcentaje del ancho (m/M) (B). Tomado y modificado de Wolf BR, Ramme AJ, Wright RW, Brophy RH, McCarty EC, Vidal AR, et al. Variability in ACL tunnel placement: observational clinical study of surgeon ACL tunnel variability. *The American journal of sports medicine*. 2013;41(6):1265-73.

punto adecuado en el posicionamiento de los túneles ya que, aunque hay consistencia entre cirujanos, si hay evidencia de variabilidad.

Se considera que es obligatorio el realizar un estudio con mayor número de pacientes y de cirujanos que permita determinar la variabilidad en el posicionamiento de los túneles. De encontrar variabilidad, surge la necesidad de realizar otros trabajos que busquen determinar una técnica quirúrgica que se aproxime más la anatomía ideal de cada paciente sometido a reconstrucción del LCA y que dicha técnica sea más consistente entre un mismo y varios cirujanos

Las limitaciones de este trabajo corresponden a la poca literatura existente, y a que Los artículos encontrados no son concluyentes al determinar o no, la variabilidad significativa

en el posicionamiento de los túneles. Somos conscientes que la descripción narrativa limita la discusión de los resultados de nuestro trabajo.

La búsqueda amplia de la literatura, en por lo menos dos idiomas e incluyendo bases de datos reconocidas, se consideran las mayores fortalezas de nuestro trabajo. Consideramos que esta revisión y sus resultados, inspira a la realización de trabajos clínicos que incluyan mayor número de pacientes y cirujanos

Financiación

El proyecto no recibió financiación institucional.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran tener conflicto de intereses.

Bibliografía

- Siebold R, Fu FH. Assessment and Augmentation of Symptomatic Anteromedial or Posterolateral Bundle Tears of the Anterior Cruciate Ligament. *Arthroscopy*. 2008;24:1289-98.
- Piefer JW, Pflugner TR, Hwang MD, Lubowitz JH. Anterior cruciate ligament femoral footprint anatomy: systematic review of the 21st century literature. *Arthroscopy*. 2012;28:872-81. Epub 2012/02/04.
- Wolf BR, Ramme AJ, Wright RW, Brophy RH, McCarty EC, Vidal AR, et al. Variability in ACL tunnel placement: observational clinical study of surgeon ACL tunnel variability. *Am J Sports Med*. 2013;41:1265-73.
- Shafiqzadeh S, Balke M, Hagn U, Hoeher J, Banerjee M. Variability of tunnel positioning in ACL reconstruction. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2014;134:1429-36.
- Bird JH, Carmont MR, Dhillion M, Smith N, Brown C, Thompson P, et al. Validation of a new technique to determine midbundle femoral tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction using 3-dimensional computed tomography analysis. *Arthroscopy*. 2011;27:1259-67. Epub 2011/07/12.
- Trentacosta N, Fillar AL, Liefeld CP, Hossack MD, Levy M. Avoiding complications and technical variability during arthroscopically assisted transtibial ACL reconstructions by using a C-arm with image intensifier. *Orthop J Sports Med*. 2014;2:2325967114530075. doi: 10.1177/2325967114530075.
- Tampere T, Van Hoof T, Cromheecke M, Van der Bracht H, Chahla J, Verdonk P, et al. The anterior cruciate ligament: a study on its bony and soft tissue anatomy using novel 3D CT technology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25:236-44.
- Sven S, Maurice B, Hoeher J, Marc B. Variability of tunnel positioning in fluoroscopic-assisted ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23:2269-77.
- Xu H, Zhang C, Zhang Q, Du T, Ding M, Wang Y, et al. A Systematic Review of Anterior Cruciate Ligament Femoral Footprint Location Evaluated by Quadrant Method for Single-Bundle and Double-Bundle Anatomic Reconstruction. *Arthroscopy*. 2016;32:1724-34. Epub 2016/05/04.
- Matava MJ, Arciero RA, Baumgarten KM, Carey JL, DeBerardino TM, Hame SL, et al. Multirater agreement of the causes of anterior cruciate ligament reconstruction failure: a radiographic and video analysis of the MARS cohort. *Am J Sports Med*. 2015;43:310-9.
- Tsuda E, Ishibashi Y, Fukuda A, Yamamoto Y, Tsukada H, Ono S. Tunnel position and relationship to postoperative knee laxity after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with a transtibial technique. *Am J Sports Med*. 2010;38:698-706.
- Sadoghi P, Kropfl A, Jansson V, Muller PE, Pietschmann MF, Fischmeister MF. Impact of tibial and femoral tunnel position on clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2011;27:355-64. Epub 2010/12/15.
- Wolf BR, Ramme AJ, Wright RW, Brophy RH, McCarty EC, Vidal AR, et al. Variability in ACL tunnel placement: observational clinical study of surgeon ACL tunnel variability. *Am J Sports Med*. 2013;41:1265-73.
- Ferretti M, Levicoff EA, Macpherson TA, Moreland MS, Cohen M, Fu FH. The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study. *Arthroscopy*. 2007;23:278-83. Epub 2007/03/14.
- Jepsen CF, Lundberg-Jensen AK, Faunoe P. Does the position of the femoral tunnel affect the laxity or clinical outcome of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee? A clinical, prospective, randomized, double-blind study. *Arthroscopy*. 2007;23:1326-33. Epub 2007/12/08.
- Smigielski R, Zdanowicz U, Drwiega M, Cizek B, Ciszowska-Lyson B, Siebold R. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23:3143-50. Epub 2014/06/29.
- Swami VG, Cheng-Baron J, Hui C, Thompson R, Jaremko JL. Reliability of estimates of ACL attachment locations in 3-dimensional knee reconstruction based on routine clinical MRI in pediatric patients. *Am J Sports Med*. 2013;41:1319-29. Epub 2013/04/12.
- Kato Y, Ingham SJ, Maeyama A, Lertwanich P, Wang JH, Mifune Y, et al. Biomechanics of the human triple-bundle anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2012;28:247-54. Epub 2011/10/25.
- Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu FH. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2007;23:1218-25.
- Kassam AM, Tillotson L, Schranz PJ, Mandalia VI. The Lateral Meniscus as a Guide to Anatomical Tibial Tunnel Placement During Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The open orthopaedics journal*. 2015;9(101480491):542-7.
- Sim J-A, Kim J-M, Lee S, Bae J-Y, Seon J-K. Comparison of tunnel variability between trans-portal and outside-in techniques in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25:1227-33.
- Kim DH, Lim WB, Cho SW, Lim CW, Jo S. Reliability of 3-Dimensional Computed Tomography for Application of the Bernard Quadrant Method in Femoral Tunnel Position Evaluation After Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy*. 2016;32:1660-6.
- Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg*. 1997;10:14-21.
- Moloney G, Araujo P, Rabuck S, Carey R, Rincon G, Zhang X, et al. Use of a fluoroscopic overlay to assist arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2013;41:1794-800. Epub 2013/06/08.
- Colombet P, Robinson J, Christel P, Franceschi JP, Djian P, Bellier G, et al. Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study. *Arthroscopy*. 2006;22:984-92. Epub 2006/09/06.

26. Chouteau J, Benareau I, Testa R, Fessy MH, Lerat JL, Moyen B. Comparative study of knee anterior cruciate ligament reconstruction with or without fluoroscopic assistance: a prospective study of 73 cases. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128:945–50. Epub 2007/09/18.
27. Shafizadeh S, Jaecker V, Otchwemah R, Banerjee M, Naendrup J-H. Current status of ACL reconstruction in Germany. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136:593–603.
28. 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.