

Artículo de actualización

Lesiones del ligamento cruzado anterior

Ayala-Mejías JD,* García-Estrada GA,** Alcocer Pérez-España L***

Hospital San Rafael. Madrid, España

RESUMEN. Se realizó una revisión bibliográfica sobre el estado actual de las ligamentoplastias del LCA, incluyendo bases anatómicas, funcionales y tratamiento quirúrgico.

Palabras clave: rodilla, heridas y traumatismos, traumatismos en rodilla, ligamento cruzado anterior.

ABSTRACT. A bibliographic review was conducted on the current status of ACL ligamentoplasties including their anatomical and functional bases and surgical treatment.

Key words: knee, wounds and injuries, knee injuries, anterior cruciate ligament.

Introducción

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla es de una importancia epidemiológica de primer orden, ya que se ha estimado que anualmente una de cada 3,000 personas sufre una rotura del LCA en los Estados Unidos. Dicho de otra manera, cada año se realizan en Estados Unidos 100,000 reconstrucciones del LCA, cuyos buenos resultados oscilan entre 75% y más de 90%.¹ Para la reconstrucción de LCA se han descrito muchas técnicas quirúrgicas donde se emplean varios tipos de injertos y fijaciones, tanto a nivel tibial como femoral. En la actualidad, el injerto con tendón rotuliano es, junto con los tendones de la «pata de ganso», el más empleado. El injerto de tendones de la «pata de ganso» está popularizándose cada vez más, esto debido a su teórica menor morbilidad en la zona donante de donde se obtienen.

Está aceptado universalmente que los injertos biológicos autólogos son los mejores sustitutos para el LCA roto, especialmente para el tendón rotuliano y los isquiotibiales, cuyas

propiedades estructurales son similares o incluso mejores que las del LCA normal.²

Actualmente hay dos opciones de plastías para el LCA: los autoinjertos y los aloinjertos. Los aloinjertos presentan ciertas ventajas potenciales sobre los autoinjertos. En primer lugar, un autoinjerto requiere la sustitución del LCA con tejido obtenido de otra parte del cuerpo. Si el injerto falla, la rodilla puede verse más comprometida por la alteración a nivel de la zona donante. Además, puede haber morbilidad relacionada con la zona donante, por ejemplo, puede haber problemas femoropatelares significativos tras la obtención del autoinjerto hueso-tendón rotuliano-hueso. En segundo lugar, el autoinjerto está limitado por el tamaño del tejido disponible del paciente (mientras que un aloinjerto no lo está). Esto no sería un problema si utilizamos tendones de la «pata de ganso», ya que tienen una longitud suficiente. Finalmente, el tiempo quirúrgico se acorta y la estética es mejor con los aloinjertos, ya que se ahorran las incisiones y procedimientos quirúrgicos de la obtención de tejido autólogo. Sin embargo, el uso de aloinjertos presenta

* Doctor en Medicina y Cirugía. Médico Especialista en Ortopedia y Traumatología, Subespecialidad en Artroscopía. Hospital San Rafael, Madrid, España.

** Médico Especialista en Ortopedia y Traumatología. Alta Especialidad en Hombro y Codo. Maestro en Alta Dirección. Centro Médico de Toluca, México. Star Médica Centro, Distrito Federal. IMSS HGZ Núm. 98, Coacalco, Estado de México.

*** Médico Especialista en Ortopedia y Traumatología. Sanatorio Virgen del Mar, Madrid, España.

Dirección para correspondencia:

Ayala-Mejías JD

Hospital San Rafael

C. Serrano Núm. 199, CP 28016, Madrid, España.

Teléfono: +34915649944

E-mail: drayalamejias@yahoo.es

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/actaortopedica>

inconvenientes potenciales de importancia como la inmunogenicidad, el riesgo de transmisión de enfermedades y la posible incorporación más lenta. Además, los procesos de esterilización y conservación del aloinjerto disminuyen las propiedades biomecánicas de la plastia.³

Anatomía del LCA

El ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura intraarticular y extrasinovial. Su inserción proximal se sitúa en la porción más posterior de la cara interna del cóndilo femoral externo; se dispone en dirección distal-anterior-interna, abriéndose en abanico hacia su inserción distal en la región anterointerna de la meseta tibial entre las espinas tibiales (*Figura 1*);⁴ estructuralmente está compuesto por fibras de colágeno rodeadas de tejido conjuntivo laxo y tejido sinovial.

La vascularización del LCA es escasa y depende fundamentalmente de la arteria geniculada media. Su innervación depende de ramificaciones del nervio tibial; tiene una escasa capacidad de cicatrización tras su lesión o reparación quirúrgica, obligando a realizar técnicas de reconstrucción-sustitución ligamentosa.³

La longitud media del LCA, tomada desde su tercio medio, oscila entre 31 y 38 mm y su anchura media es de 11 mm.^{5,6,7} El ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura fibrosa que se divide en varios fascículos o bandas. El número y la función de estas bandas siguen siendo un tema discutido, ya que en ocasiones es difícil distinguirlas, ni macro ni microscópicamente.⁶

Habitualmente se describen dos fascículos (*Figura 2*):

- El fascículo posterolateral (PL) se refiere al más posterior y externo en la tibia y al más posterior y distal en el fémur.
- El fascículo anteromedial (AM) es el más anterior e interno en la tibia y el más proximal y anterior en el fémur.

El fascículo AM es la parte estructural más anterior y más expuesta a traumatismos. Cuando éste se flexiona, la rodilla tensa el fascículo AM y el ligamento rota 90° sobre sí mismo. Cuando se extiende la rodilla, se tensa la banda PL y el ligamento se aplanar y ensancha.⁵ De todas formas, aunque la disposición anatómica de ambos fascículos no está clara, sí parece que al flexionar la rodilla 90° hay estructuras fibrilares que se tensan a medida que se va flexionando la rodilla. Es por este motivo por el que algunos autores hablan de las «zonas funcionales» del LCA más que de las «estructuras anatómicas».⁶

La inserción femoral del LCA comienza en la parte más alta de la escotadura en la zona de transición entre el techo de la escotadura y la pared medial del cóndilo femoral externo. Luego se extiende ocupando toda la altura de la escotadura lateral para terminar en la parte más inferior en el límite entre el hueso y el cartílago, que suele coincidir con el borde medial del cóndilo externo (*Figura 1*). Esto significa que la inserción más alta se encuentra

entre las 11 y las 10 horas y la más baja entre las siete y las ocho horas.⁸

El LCA normal presenta una inserción tibial muy ensanchada, cerca del doble que en su origen femoral. Se ha considerado que la pendiente medial de la espina intercondílea medial representa el origen del margen medial del LCA nativo (*Figuras 1 y 3*).⁵ Estos hechos anatómicos hacen posible explicar que un injerto tubular o rectangular no puede reproducir el aplanamiento anterior de la inserción del LCA nativo.⁵

Función del LCA

Es preciso considerar tres factores:

1. El grosor del ligamento son directamente proporcionales a su resistencia e inversamente proporcionales a sus posibilidades de alargamiento.



Figura 1.

Recorrido e inserciones del LCA.



Figura 2.

Visión de los fascículos anteromedial y posterolateral del LCA.

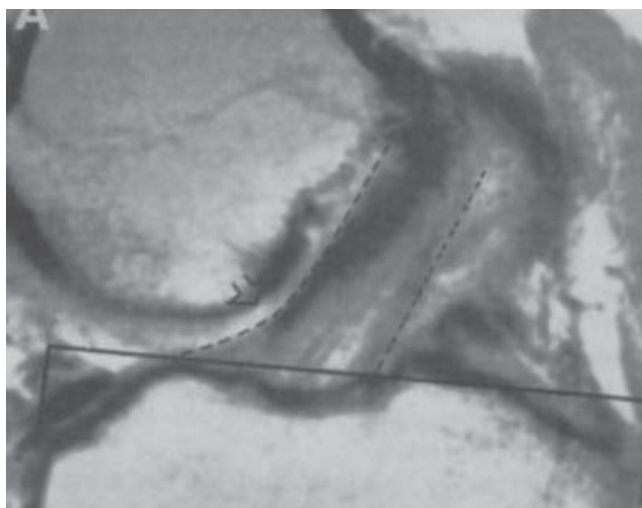


Figura 3. Adaptación anterior del LCA en su inserción tibial.

Tabla 1. Resistencia del LCA según el tipo de actividad.

Actividad	LCA (N)
Deambulación en llano	169
Subir escaleras	67
Bajar escaleras	445
Bajar rampa	93
Subir rampa	27
LCA = ligamento cruzado anterior.	

- La estructura del ligamento. Por el hecho de la extensión de las inserciones, no todas las fibras poseen la misma longitud. Se trata de un verdadero «reclutamiento» de fibras ligamentosas en el curso mismo del movimiento, lo que hace variar su resistencia y elasticidad.
- La extensión y dirección de las inserciones. Los movimientos de cajón son movimientos anormales de desplazamiento anteroposterior de la tibia bajo el fémur. Se investigan en dos posiciones: con la rodilla flexionada en ángulo recto y con la rodilla en extensión completa (prueba de Lachman-Trillat).

La resistencia media del LCA medida en especímenes jóvenes es de 2,160 N y la rigidez media es de 242 N/mm.⁹

El LCA soporta cargas dependiendo del tipo de actividad que desarrollemos; éstas son expuestas en la *tabla 1*.

Lesiones de la rotura del LCA

a) Repercusiones clínicas

La mayor incidencia de lesiones del LCA se producen como consecuencia de traumatismos indirectos sobre la rodilla durante la práctica deportiva en pacientes jóvenes,

las cuales frecuentemente no son diagnosticadas en el momento inicial.¹⁰ Los síntomas más frecuentes tras la lesión del LCA son dolor, tumefacción articular leve y sensación de fallo-inestabilidad de rodilla, fundamentalmente en actividades de torsión-recorte-desaceleración.¹¹

En la exploración física se detectará la laxitud articular anteroposterior y anteroexterna,¹¹ siendo las maniobras más importantes el test de Lachman y la maniobra de *pivot-shift* o desplazamiento del pivote. En estudios recientes se ha demostrado que no siempre se recupera la inestabilidad rotacional con la ligamentoplastia del LCA, por ello el test de *pivot-shift* es útil para valorar la inestabilidad combinada, tanto rotacional como anteroposterior.¹² Con la evolución, sufrirá episodios repetidos de fallo articular, con subluxación femorotibial, fundamentalmente durante maniobras de recorte-salto-desaceleración. Estas subluxaciones, bajo la influencia del peso corporal, provocarán daños articulares secundarios (lesiones meniscales, condrales y cápsulo-ligamentosas), aumentando el grado de laxitud articular y condicionando un deterioro articular progresivo, objetivable en los estudios radiográficos (aplanamiento del cóndilo, esclerosis subcondral, pinzamiento articular y formación de osteofitos), aunque los cambios radiográficos suelen estar «retrasados» respecto a la sintomatología y a los hallazgos artroscópicos.¹¹

Suele aceptarse la llamada «regla de los tercios»,¹⁰ según la cual tras una lesión del LCA un tercio de pacientes (36%) pueden realizar actividad deportiva a nivel recreativo, con síntomas mínimos u ocasionales; un tercio de pacientes (32%) deberá renunciar a realizar actividad deportiva a nivel recreativo, pero no tendrá problemas en las actividades cotidianas. Finalmente, un tercio de pacientes (32%) sufrirá síntomas con las actividades cotidianas.

b) Recomendaciones de tratamiento

Los objetivos del tratamiento tras la lesión del LCA son restaurar la función articular (estabilidad y cinemática) a corto plazo y prevenir la aparición de alteraciones degenerativas articulares a largo plazo.¹³

El tratamiento más adecuado dependerá de la edad del paciente, el grado de inestabilidad, la asociación de otras lesiones (ligamentosas, meniscales, condrales), el nivel de actividad del paciente y sus expectativas funcionales, laborales y deportivas. Serán necesarios realizar estudios a largo plazo para poder establecer las indicaciones de tratamiento.

El tratamiento conservador se basa en aceptar un cierto grado de limitación en el nivel de actividad (evitar saltos, recorte, giros), incluso antes de la aparición de los síntomas. También se indican la realización de programas de rehabilitación para recuperar la fuerza-resistencia-coordinación de los diferentes grupos musculares, enfatizando el fortalecimiento de la musculatura isquiotibial.

Los resultados obtenidos con tratamiento conservador son muy variables con relación al tipo de lesión (parcial-completa, aislada-asociada con lesiones cápsulo-ligamentosas), la edad del paciente, el nivel de actividad prelesional y el tiempo de evolución.

En cuanto a la necesidad de reconstrucción quirúrgica del LCA, se ha considerado que el factor más importante es el número de horas de actividad deportiva por año. En general, suele recomendarse en pacientes jóvenes que desean reanudar un estilo de vida activa, incluyendo las actividades deportivas.^{11,13}

En la actualidad se tiende a realizar plastías intraarticulares con diferentes tipos de injerto y diferentes sistemas de fijación, reproduciendo los puntos de referencia anatómicos^{3,4} y el recorrido intraarticular del LCA original: a nivel femoral en la región posterior del cóndilo femoral externo, dejando 1-2 mm de cortical posterior, aproximadamente a las 10 horas en la rodilla derecha y a las 14 horas en la rodilla izquierda; a nivel tibial en la porción más posterior de la huella del LCA y a nivel del borde posterior del cuerno anterior del menisco externo y levemente anterior al LCP, quedando el borde anterior del túnel tibial posterior a la línea de Blumensaat en la radiografía lateral con la rodilla en extensión.

Por otra parte, se considera fundamental preservar la integridad meniscal, tanto por su función en la estabilidad articular como para prevenir el deterioro articular. Lo más recomendable es suturar los meniscos, debido a los buenos resultados obtenidos cuando se asocian con la rotura del LCA o incluso cuando se reparan de forma aislada.¹⁴

Tipos de injerto

Para que un injerto sea considerado idóneo para realizar una ligamentoplastia del LCA debe cumplir las siguientes características: que permita una fijación rígida y resistente, que sea resistente a las cargas cíclicas, que no sufra movimiento dentro del túnel y que se integre rápidamente.

El injerto con tendón rotuliano (HTH) ha sido tradicionalmente la plastía más utilizada para la reconstrucción del LCA (*Figura 4*).¹⁵ Éste proporciona una resistencia de 168% mayor que la de un LCA normal;¹⁵ sin embargo, puede producir síntomas como el dolor anterior de rodilla en la zona donante.^{15,16} Los tendones de las «pata de ganso»

constituyen una buena alternativa, siendo una plastía que actualmente está empleándose cada vez más.

Otra posibilidad que está siendo muy utilizada es el tendón del cuádriceps, debido a que presenta una buena resistencia, con unas dimensiones que permiten, incluso, emplearlo para plastías de doble fascículo.^{17,18} Además, ha sido utilizado ampliamente con buenos resultados clínicos y con menor morbilidad que otros injertos (*Figura 5*).

La utilización de los aloinjertos es otra posibilidad, la cual permite emplear el tendón rotuliano con dos pastillas óseas en los extremos, tendón de Aquiles y en la actualidad, se están usando con relativa frecuencia tendones largos como el del tibial anterior y posterior y los peroneos que presentan un buen tamaño y resistencia adecuada.¹⁹

En la *tabla 2* se muestra la resistencia y rigidez que presentan el LCA nativo, los tendones del HTH y de la «pata de ganso».

Tipos de ligamentoplastías

1) Técnica con doble incisión

Hasta el año 1992, la técnica habitual era la del doble túnel independiente femoral y tibial, siempre de fuera hacia adentro, controlando artroscópicamente el punto de salida. Para su realización se diseñaron una serie de guías con diferentes angulaciones para fémur y tibia, que permitían realizar el túnel en el punto seleccionado. Esto tiene la ventaja que cada túnel se realiza de modo independiente, sin estar influenciado el túnel femoral por una mala selección del tibial. No es que la doble incisión proporcione una mejor fijación (el tornillo interferencial de sujeción se puede introducir por el portal anteromedial), sino que esta técnica permite hacer el tú-



Figura 4. Injerto de tendón rotuliano.



Figura 5.

Injerto de tendón del cuádriceps para plastía del LCA.

Tabla 2. Resistencia y rigidez de los distintos tipos de plastía.

Tipo de injerto	Resistencia final hasta el fallo (N)	Rigidez (N/mm)
LCA	2,160	242
Tendón rotuliano	2,977	455
«Pata de ganso» (4 fascículos)	4,590	807
Tendón cuádriceps	2,353	326

LCA = ligamento cruzado anterior.

nel femoral con más precisión sin el condicionamiento del túnel tibial.

En los años 90, los cirujanos dominaban la técnica con túnel independiente doble, pero al popularizarse la técnica endoscópica y no existir todavía buenos sistemas de fijación paraisquiotibiales se siguió implantando el HTH con tornillos colocados endoscópicamente, observando que si se iba al punto isométrico existía riesgo de romper la cortical posterior, porque se tendía a adelantar el túnel femoral y por consiguiente, un fracaso de la plastía a partir del año de la cirugía. Por ello, comenzó el auge de las plastías cuádruples de «pata de ganso» y se dejaron de fabricar guías para el doble túnel independiente, empezándose a desarrollar múltiples sistemas de fijación para isquiotibiales. Paralelamente, las tasas de complicaciones de la cirugía del LCA han aumentado hasta 10-20% e incluso, se vuelven a recomendar las técnicas de doble incisión.²⁰

2) Técnica monotúnel

Las reconstrucciones del LCA con injerto monofascicular y técnica transtibial se realizan con creciente frecuencia. La mayoría de las series publican que entre 75 y 90% son resultados excelentes o buenos, independientemente de la técnica o injerto utilizado, por lo que este tipo de reconstrucción está considerada todavía «el patrón de oro» de la reparación del LCA, ofreciendo una serie de ventajas, como son: el paralelismo de los túneles en el plano frontal, el resultado estético, el menor tiempo de cirugía y resultados clínicos satisfactorios. Como inconvenientes destaca que es una técnica en la que el túnel femoral no puede situarse libremente en la escotadura, ya que se encuentra limitado por la longitud (40 a 55 mm) y la estrechez del túnel tibial (8 a 10 mm). Debido a que la guía femoral tiene muy poco margen de maniobra dentro del túnel tibial, hay autores que afirman que no es posible reproducir la inserción anatómica del LCA en el túnel femoral.⁸

La técnica monotúnel transtibial recomendada para la reconstrucción habitual del LCA está basada en estrategias destinadas a prevenir el *impingement* o pellizcamiento del injerto contra el techo de la escotadura intercondílea y

a preservar la longitud del túnel tibial. Sin embargo, con esta técnica estándar, los intentos de mejorar la anatomía del neoligamento, aproximando su inserción femoral hacia las nueve o tres de la esfera horaria, han mostrado limitaciones.

3) Técnica de doble fascículo

A pesar de que han sido publicados buenos resultados con la técnica de fascículo único, en muchos estudios se han comprobado pobres resultados a largo plazo, los cuales pueden oscilar de 11 a 30%; la persistencia de *pivot shift* es entre 14 y 30% y en general, no se mantiene la estabilidad rotatoria con la plastía monotúnel.²¹

Con el objeto de mejorar la estabilidad (especialmente rotatoria) y de reconstruir el LCA de forma más anatómica, especialmente en sus inserciones, han surgido en los últimos años diferentes técnicas que intentan restituir ambos fascículos del mismo (anteromedial y posterolateral).^{18,22,23,24}

Para la realización de esta técnica, se realizan dos túneles tibiales (anteromedial y posterolateral) y dos túneles femorales (el anteromedial más anterior y proximal y el posterolateral más posterior y distal) (Figura 6).

En general, en los estudios comparativos entre la técnica monotúnel y la de doble túnel, ésta ofrece mejor control de la estabilidad, especialmente rotacional, tanto *in vitro*^{24,25} como en estudios intraoperatorios con navegador.^{26,27} En estudios comparativos de resultados clínicos se encuentran, en general, mejores resultados con la técnica de doble túnel,^{23,28} aunque también se han publicado trabajos en los que no se encuentran diferencias significativas entre ambas técnicas.²⁹

4) Técnica monofascicular anatómica

También con el objetivo de mejorar la estabilidad rotacional se ha intentado realizar la reconstrucción del LCA de una forma más anatómica, especialmente en su inserción femoral, es decir, emplazando el túnel en una posición más central en la huella femoral. Clásicamente, para la plastía monofascicular se ha realizado una reconstrucción del fascículo anteromedial, emplazando el túnel femoral en una posición horaria de las 11 en la rodilla derecha y de la una en la rodilla izquierda; al realizar la plastía monofascicular anatómica, dicho emplazamiento se realiza en una posición horaria de las 10 para la rodilla derecha y de las dos para la izquierda (Figura 7). Ha quedado demostrado que con dicha ubicación anatómica es mejor controlada la estabilidad rotacional de la rodilla.^{30,31}

Fijación de la plastía

La fuerza que experimenta un LCA durante las actividades de la vida diaria se ha estimado en 500 N, por lo que cualquier sistema de fijación para ligamentoplastías que utilizemos debe ser superior a esa cifra.

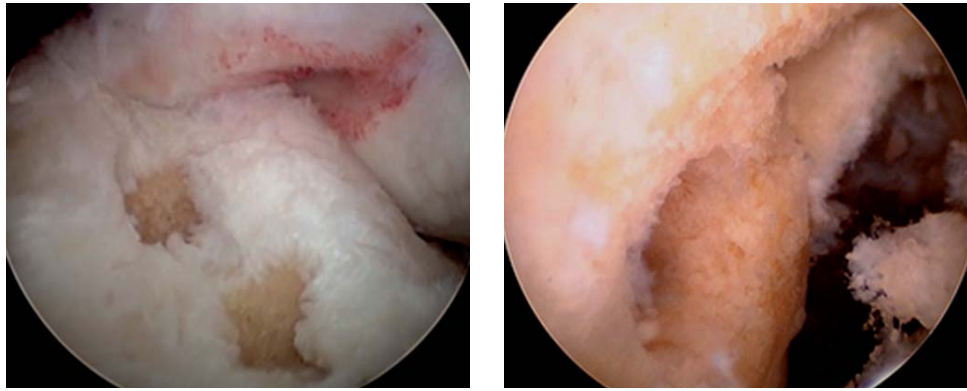


Figura 6.

Túneles femorales y tibiales en una ligamentoplastia del LCA de rodilla derecha con técnica de doble túnel.



Figura 7.

Ubicación femoral de una plastia monofascicular anatómica.

I) Fijación femoral

En las ligamentoplastias para el LCA son muy importantes las propiedades de rigidez y resistencia del injerto tendinoso para la estabilidad y el período de rehabilitación postquirúrgicos. La fijación entre el tendón y el hueso constituye uno de los componentes más débiles de una ligamentoplastia, especialmente en el lado femoral.³² Esto es fundamental durante el período postquirúrgico inmediato, debido a que una fijación insuficiente del injerto empeora la estabilidad de la rodilla, incrementa el tiempo de integración de la plastia dentro del túnel, permite la movilidad dentro del mismo y produce ensanchamiento de la tunelización.³

Hay una multitud de sistemas de fijación femoral, principalmente éstas se clasifican en tres variantes: tornillos interferenciales, fijación transversal y fijación cortical.

Tornillos interferenciales

Los tornillos interferenciales se alojan en el interior del túnel femoral y fijan el injerto contra las paredes del túnel. La resistencia que proporcionan oscila entre 310 y 659 N. Se ha demostrado que tanto la longitud como el diámetro del tornillo interferencial mejoran la resistencia de la fijación de forma significativa.

Fijación transversal

Los métodos de fijación transversal son aquellos que soportan los tendones al final del túnel femoral donde se encuentran los tendones sin necesidad de hacer una vía de abordaje lateral para anclar el sistema.

Fijación cortical

Los métodos de fijación cortical son aquellos que se apoyan en la cortical femoral y pueden colocarse haciendo una incisión femoral o a través del túnel tibial exclusivamente mediante técnica endoscópica. A continuación, en la *tabla 3* se hallan datos de resistencia, rigidez y tipo de fallo del sistema de fijación femoral para ligamentoplastia con isquiotibiales sin utilizar pastilla ósea.

II) Fijación tibial

La tibia es biomecánicamente más problemática que el fémur para la fijación de las ligamentoplastias del LCA, debido a que la calidad ósea de la metáfisis tibial es inferior a la del cóndilo femoral externo.³²

La fijación en el túnel tibial se puede practicar mediante sistemas de conservación ósea (trefinas) o de perforación (brocas). Los métodos de fijación tibial pueden realizar-

Tabla 3. Resistencia, rigidez y tipo de fallo del sistema de fijación femoral.

Material	Fallo (N)	Rigidez	Tipo de fallo
Trans-Fix	523	34.2	Caída del pin transversal, deslizamiento injerto
Bone Mulch	583	24.4	Rotura lazo, fallo fijación tibial, fallo injerto, fractura cortical
Endobutton con Endotape	618-678	18.1-22.4	
Endobutton CL	1,345		Deslizamiento plastía
TIF biodegradable con ½ mm de holgura	530		

se con tornillos alojados dentro del túnel tibial, cuya resistencia oscila entre 350 y 1,332 N, pero también puede fijarse con tornillo cortical (442 N), tornillo con arandela dentada (724 N) o con doble grapa para partes blandas (785 N).

Estudio de los túneles mediante radiografía simple

La localización de los túneles en las ligamentoplastias de LCA es el factor más importante para determinar si dicha reconstrucción va a tener éxito o va a fallar. Los errores que cometamos en la localización de los túneles pueden hacer que la plastía se elongue, se rompa o produzca pérdida de movilidad articular o inestabilidad residual.

Para evitar errores en el posicionamiento de los túneles es necesario que el cirujano sea un experto en técnicas de reconstrucción del LCA o, si es menos experimentado, debe realizar sus primeros casos con asesoramiento de un cirujano con experiencia.

El estudio de los túneles en las ligamentoplastias del LCA se ha realizado tradicionalmente mediante técnicas radiológicas convencionales, tanto para HTH como para isquiotibiales. A pesar de que para documentar de forma rutinaria una ligamentoplastia es necesario realizar un estudio radiológico en dos proyecciones, la utilidad de la radiografía simple se ha focalizado en el estudio del túnel tibial, ya que el túnel femoral es más difícil valorar por este método. La radiografía en el plano anteroposterior, por sí sola, no es útil para predecir los resultados clínicos en una ligamentoplastia del LCA.

La radiología simple también se ha empleado para valorar el ensanchamiento que sufren los túneles tras una ligamentoplastia.³³ La esclerosis en los túneles causada por derrames de repetición o prolongados puede facilitar la medición de éstos con la radiología convencional. Para que un túnel se defina «ensanchado» su área debe incrementarse al menos 50%.³⁴

Estudio de la ligamentoplastia mediante RMN

La resonancia magnética nuclear (RMN) permite la valoración del injerto de manera tal que en los casos en que se produce el pinzamiento del mismo hay un aumento de la señal en los dos tercios distales de la plastía. Estos

cambios se advierten a partir del tercer mes tras la cirugía y permanecen inalterados durante el primer año. La causa de estos hallazgos es desconocida, aunque se postula que podría deberse a la elongación de la plastía por una mala colocación de los túneles, si bien se debería afectar todo el injerto y no sólo una parte. Sin embargo, cuando no hay pinzamiento, muestran una señal baja en las imágenes de RMN.³⁵

La RMN es superior en mostrar la plastía en toda su longitud que la tomografía axial computarizada (TAC), así como también en diferenciarla del tejido sinovial circundante. Se ha establecido que la RMN tiene una sensibilidad de 95.8%, una especificidad de 100% y una precisión de 97.7% para diagnosticar lesiones del LCA. Así mismo, tiene una gran precisión para valorar los puntos de fijación de la plastía y la dirección de los túneles.³⁶

Hay estudios sobre la posición de los túneles mediante la RMN,³⁷ pudiéndose hallar su posición en los planos sagital, frontal y axial de acuerdo con los métodos de Harner (túnel femoral) y Stäubli (túnel tibial).

En general, la RMN ofrece mejores resultados gracias a su carácter multiplanar, pero la TAC ha probado ser superior para definir el tamaño y la forma de la salida de los túneles tibial y femoral, así como la forma de la escotadura intercondílea y la pared medial del cóndilo femoral.

Estudio de los túneles mediante TAC

La TAC es una técnica útil empleada desde hace tiempo para valorar la salida de los túneles realizados en las ligamentoplastias del LCA; en gran medida, de la posición y salida de los túneles tibial y femoral depende el éxito de la intervención. También es útil para valorar la forma de la escotadura y la pared medial del cóndilo femoral externo.

La TAC sirve para valorar los cambios en los túneles tras las ligamentoplastias del LCA, no sólo el tamaño sino también la forma, dirección y salida articular de los mismos.³⁸

En la actualidad, la TAC está especialmente indicada para el estudio de las ligamentoplastias fallidas, ya que permite valorar con exactitud el tamaño y posición de los túneles femoral y tibial, sin producir artefactos causados por el material de fijación metálico. De esta manera, se puede

planificar la cirugía de revisión de la ligamentoplastia secundaria.

Posición del túnel tibial (TT)

a) Sagital

Para localizar con exactitud el túnel tibial es más recomendable utilizar las referencias tibiales que las femorales, ya que la rodilla en extensión con rotura del LCA hace que la tibia se subluje hacia delante y las referencias femorales podrían inducirnos a error.

Existe evidencia que si desplazamos el centro del túnel tibial de 2 a 3 mm por detrás de la inserción normal del LCA, evitaremos el conflicto mecánico con la escotadura, alineando de forma «anatómica» todas las fibras del injerto. Jackson y Gasser seleccionaron varias referencias anatómicas para emplazar el punto central del túnel tibial: el cuerno anterior del menisco externo, la espina tibial medial, el ligamento cruzado posterior y el muñón del LCA. Este punto está a 6 ó 7 mm del margen anterior del LCP y correspondería a una depresión medial a la parte central de la espina tibial medial. Otra referencia es la mitad posterior de la huella del LCA nativo.³⁹

Se ha demostrado que un túnel tibial demasiado anterior no produce problemas de inestabilidad al principio, pero sí a medio plazo. Se postula que esto es debido a una elongación progresiva de la plastia.⁴⁰

Sin embargo, la localización demasiado posterior del túnel tibial puede producir problemas potenciales de laxitud de rodilla.⁷ Esto suele ser debido a que el injerto se elonga en flexión y se tensa en extensión de rodilla. Para valorar la posición anteroposterior del túnel tibial (TT) se utiliza el «índice sagital tibial» que se determina hallando la relación entre la distancia desde el margen anterior de la meseta tibial y el centro del TT y el diámetro total de la superficie articular tibial. Su resultado es un porcentaje. El ángulo medio es de 53 mm (rango 36, 76).⁴¹

b) Lateromedial

En la proyección radiológica anteroposterior, el centro de la salida del túnel tibial se encuentra algo más lateral que el centro anatómico de la meseta tibial.⁴ La salida del túnel tibial debe atravesar la punta de la espina tibial externa a una determinada angulación. Cuando el túnel tibial está demasiado vertical o perpendicular a la interlínea articular, se tensa más la plastia del LCA al hacer flexión de la rodilla.³⁵ La «angulación frontal tibial» se obtiene después trazar una línea que pasa por el centro del TT y otra tangente a la línea articular de la metáfisis tibial y se mide el ángulo que forman ambas. El ángulo medio es 72° (rango 62, 80).⁴¹ Para evitar la mala angulación del túnel tibial, se ha propuesto localizar la entrada para la aguja de la guía tibial en el punto medio entre la tuberosidad tibial anterior y el borde postero-medial de la tibia.

Por otro lado, cuando el TT se encuentra demasiado medial, se limita la flexión de la rodilla. Se ha cuantificado esta zona en 40% del lado medial del platillo tibial interno.⁴² Para valorar la posición lateromedial del TT se emplea el «índice frontal tibial». Éste se determina hallando la relación entre la distancia desde el margen lateral del platillo tibial externo y el centro del TT y el diámetro total de la superficie articular tibial. Su resultado es un porcentaje. Si este índice disminuye, significa que el TT está más lateralizado y si aumenta está más medializado. El valor medio fue 51 mm (rango 41, 63).⁴¹

Posición del túnel femoral

a) Sagital

El error más común es localizar el túnel femoral demasiado anterior. En la proyección radiológica lateral, el túnel femoral ocupa la región posterosuperior de la escotadura y siempre debe estar situado en la parte más posterior de la línea de Blumensaat. Idealmente debe quedar un reborde de cortical posterior de 1-2 mm.⁴ Si el túnel femoral se encuentra anterior, se incrementa la longitud del injerto dentro de la articulación a medida que flexionamos la rodilla,⁶ con lo que se puede limitar la flexión de la rodilla e incluso producir el estiramiento de la plastia, lo que se asocia con una tasa de fallos del injerto de hasta 62.5% de los casos.⁷ Sin embargo, un túnel femoral demasiado posterior puede hacer que se aumente la longitud del injerto al hacer extensión de la rodilla⁶ y puede limitar la extensión de la rodilla o producir una laxitud excesiva al flexionarla.⁷

b) Lateromedial

Tradicionalmente y siguiendo la orientación horaria en la escotadura, se ha recomendado colocar el túnel femoral a las 11 horas en la rodilla derecha y a las 13 horas en la rodilla izquierda;⁴ sin embargo, en recientes trabajos experimentales se ha localizado el centro anatómico del LCA, claramente por debajo de las 11 horas.⁸

Un túnel femoral demasiado cerca de las 12 horas en el techo de la escotadura intercondílea causaría dolor y derrames articulares de rodilla. Para evitar estos efectos habría que iniciar el túnel tibial desde un punto más medial.⁸

Ensanchamiento de los túneles

Se sabe que su origen es multifactorial. Hay investigadores que apoyan una causa mecánica y otros que apoyan una causa biológica.³³ Hay teorías que defienden que la expansión de los túneles óseos se debe al movimiento durante la actividad de la rodilla que sufre la plastia en el interior de los mismos. Otras sugieren que se producen micromovimientos longitudinales de la plastia a lo largo del túnel. Los movimientos del injerto también pueden ocurrir en el plano

sagital desde anterior a posterior dentro del túnel, denominándose este hecho el «efecto limpiaparabrisas».

Se considera que hay ensanchamiento del túnel cuando hay un incremento de 2 mm con respecto a la TAC previa.³³ Sin embargo, otros autores³⁴ estimaron que para que un túnel se defina «ensanchado» su área debería incrementarse al menos 50%.

Por otra parte, sería deseable que la fijación del injerto se realice lo más próxima posible al trayecto articular del nuevo ligamento. Incluso se ha afirmado³³ que la incidencia de ensanchamiento del túnel tibial es mayor que la del túnel femoral, porque hay un mayor brazo de palanca en el túnel tibial al ser más largo, al menos en la técnica del HTH.

Ayala y colaboradores⁴¹ midieron el ensanchamiento en la que se halla la diferencia en milímetros entre el túnel más ensanchado y el diámetro del túnel realizado en la cirugía y catalogándola mediante la clasificación de Nebelung. A saber:

- Grupo I (sin aumento de diámetro): < 0.5 mm
- Grupo II (ligeramente aumentado): 0.5-2 mm
- Grupo III (claramente aumentado): 2-4.5 mm
- Grupo IV (aumento masivo): > 4.5 mm

En este sentido, se entiende que hay progresión del ensanchamiento cuando se pasa de uno o más grados entre los distintos períodos de seguimiento.^{41,43} En cuanto al ensanchamiento túnel tibial en el «plano frontal», al final del período de seguimiento de al menos 10 años, 51% de los casos tuvieron un ensanchamiento grado III o IV. En el «plano sagital», 66% de los casos desarrollaron dilatación grado III o IV.⁴¹

En lo que se refiere al ensanchamiento del túnel femoral, en el «plano frontal», sólo 13% desarrollaron ensanchamiento de grado III o IV y en el «plano sagital» sólo 16% sufrieron ensanchamiento de grado III o IV.⁴¹

Discusión

La presente revisión bibliográfica nos ofrece una actualización en los temas más importantes sobre las lesiones del LCA, desde la anatomía hasta el tipo de injerto y la forma de corroborar su adecuada colocación mediante el túnel femoral y el túnel tibial.

Varios investigadores han estudiado la posición del túnel en la reconstrucción del LCA y encontraron que la colocación incorrecta del injerto tiene un efecto adverso en la incorporación del injerto y la función de la rodilla. Teóricamente si el injerto de LCA se coloca anatómicamente, se puede reproducir la cinemática de la rodilla normal.^{41,44,45,46,47,48}

Asimismo, se ha demostrado que el uso de la técnica de uno o dos fascículos para la reparación de las lesiones del LCA no presentan mejores resultados entre ellos, por lo que los resultados clínicos que se refieren a una funcionalidad mejor en una técnica que en otra sigue siendo cuestionable.^{23,24,49,50}

Por otra parte, Steiner y su grupo concluyeron que una técnica monofascicular anatómica es superior para restaurar la rotación de la rodilla, así como la laxitud anterior.^{30,31} En la técnica SAC se realiza el túnel femoral de fuera a dentro, porque es la forma más adecuada de lograr la correcta posición del mismo, aunque hay autores que afirman que se puede conseguir un túnel femoral normal mediante cualquier tipo de entrada.^{41,51}

Ayala y asociados⁴¹ han observado ensanchamiento significativo de los túneles tibiales, pero no de los femorales. Según estos resultados, con la técnica SAC no se produce dilatación del túnel femoral e incluso, al final del seguimiento, disminuye más en el plano sagital que en el frontal. Los casos con túnel femoral ensanchado se asocian con una posición en la «zona alta» tanto en el plano frontal como en el sagital. En la técnica SAC, como cualquiera de «fuera a dentro», se puede emplazar el túnel femoral en casi cualquier posición de la zona horaria, excepto las muy bajas. Esta versatilidad también puede inducir a errores, ya que una mala colocación de la guía femoral podría hacer que realicemos nuestro túnel femoral en una posición cercana a las 12 horas, lo que se asocia con una mayor tasa de ensanchamiento femoral. Además, en las técnicas transtibiales el túnel femoral está condicionado por la posición del túnel tibial. Con estas técnicas, no es posible colocar la tunelización femoral en posiciones bajas.⁴¹

En cuanto a los túneles tibiales, no se encontró relación entre la posición anterior y la dilatación de los mismos, lo cual indicaría que la posición de la tunelización tibial no sería tan relevante, aunque sí se identificó relación entre el ensanchamiento del túnel tibial en ambos planos, con la longitud de la pastilla tibial al final del seguimiento.⁴¹ Esto sería debido a que aumentaría la distancia de la pastilla tibial a la articulación, con lo que actuarían los factores negativos de «goma elástica» y limpiaparabrisas, por un aumento de la distancia de fijación tibial de la pastilla. Esto implicaría que es más importante conseguir una salida anatómica del túnel tibial que su posición.

Los hallazgos son congruentes con lo publicado previamente en seguimientos a corto y medio plazo.^{34,40,41} El ensanchamiento del túnel tibial puede comprometer la estabilidad anteroposterior de la rodilla, pero no siempre, esto quiere decir que no es un parámetro decisivo para predecir si una rodilla va a resultar inestable a largo plazo o no. Otros factores relacionados con la posición de los túneles pueden tener más importancia en la evolución de la estabilidad de la rodilla a largo plazo que el ensanchamiento de los túneles.

Ayala y colaboradores⁴¹ afirman que la posición del túnel femoral es la más influyente para la estabilidad de la rodilla, especialmente en el plano frontal. Cuanto mayor es el ángulo frontal femoral, mayor es la laxitud en las mediciones con KT-1000, es decir, a mayor verticalización del túnel femoral, peores resultados con el KT-1000 y las maniobras *pivot shift* y test de Jerk. Por lo tanto, un túnel femoral que no sea demasiado «vertical» puede ser beneficioso para obtener

mejores resultados, en lo que se refiere a estabilidad anterior y rotacional de rodilla.

Se ha realizado una revisión bibliográfica sobre el estado actual de las ligamentoplastias para la reconstrucción del LCA. La posición y la dilatación de los túneles femoral y tibial se estudian con mayor precisión con la TAC. Se confirma que hay una mayor incidencia de ensanchamiento en los túneles tibiales que en los femorales. Además, los túneles tibiales se siguen dilatando hasta el final del período de seguimiento, pero este fenómeno no influye en la estabilidad de la rodilla a largo plazo, aunque sí en la posición de los túneles.

La técnica SAC diseñada para realizar los túneles de forma independiente es idónea porque permite colocar el túnel femoral en la posición más adecuada para evitar los problemas de inestabilidad anterior y rotacional de rodilla. No obstante, es necesario hacer más estudios con seguimientos largos que sirvan para valorar la evolución natural de las ligamentoplastias del LCA.

Bibliografía

- Carson EW, Simonian PT, Wickiewicz TL, Warren RF: Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Instr Course Lect.* 1998; 47: 361-8.
- Gomes JL, Marczyk LR: Anterior cruciate ligament reconstruction with a loop or double thickness of semitendinosus tendon. *Am J Sports Med.* 1984; 12: 199-203.
- Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, Ma CB: Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: Biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med.* 1999; 27: 821-30.
- Fineberg MS, Zarins B, Sherman O: Practical considerations in anterior cruciate ligament replacement surgery. *Arthroscopy.* 2000; 16(7): 715-24.
- Girgis FG, Marshall JL, Al Monajem A: The cruciate ligaments of the knee joint. *Clin Orthop.* 1975; 106: 216-31.
- Odensten M, Gillquist J: Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg.* 1985; 67A: 257.
- Penner DA, Daniel DM, Wood P, Mishra D: An *in vitro* study of anterior cruciate ligament graft placement and isometry. *Am J Sports Med.* 1988; 16(3): 238-43.
- Arnold MP, Kooloos J, Van Kampen A: Single-incision technique misses the anatomical femoral anterior cruciate ligament insertion: a cadaver study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001; 9(4): 194-9.
- Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, et al: Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age orientation. *Am J Sports Med.* 1991; 19: 217-25.
- Noyes FR, Matthews DS, Mooar PA, Grood ES: The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II: The results of rehabilitation, activity modification and counseling of functional disability. *J Bone And Joint Surg.* 1983; 65-A: 163-74.
- Caborn DNM, Johnson BM: Historia natural de la rodilla con insuficiencia del ligamento cruzado anterior. Revisión. *Clínicas de Medicina Deportiva.* 1993; 12: 623-34.
- Lane CG, Warren R, Pearle AD: The pivot shift. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008; 16(12): 679-88.
- Andriacchi TP, Birac D: Functional testing in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Clin Orthop.* 1993; 288: 40-7.
- Pérez-España Muniesa M, Merry del Val de la Campa B, Ayala-Mejías JD: Sutura meniscal: indicaciones, técnicas y resultados en el medio laboral. *Cuadernos De Artroscopia.* 2009; 16(1), 38: 16-21.
- Otero AL, Hutchenson LA: A comparison of the doubled semitendinosus/gracilis and central third of the patellar tendon autografts in arthroscopic anterior cruciate reconstruction. *Arthroscopy.* 1993; 9: 142-8.
- Ayala-Mejías JD, Fernández-Iruegas Armiñán JM, Martín del Castillo FJ, Siguín-Moreno D, Galván-Arnaldes F, Tamames-Gómez R: Ligamentoplastia de LCA mediante la técnica HTH. Resultados y complicaciones a largo plazo. *Cuadernos de Artroscopia.* 2000; 7(2): 4-7.
- Fernández-Martín JA, Espejo-Baena A, Meschian-Coretti S, Urbano-Lavajos V, De Figueroa-Mata A: Ligamentoplastia con autoinjerto de tendón cuadriceps. Estudio morfométrico comparativo de los tendones de aparato extensor de la rodilla. *Cuadernos de Artroscopia.* 2006; 13(27): 8-13.
- Kim SJ, Jo SB, Kumar P, Oh KS: Comparison of single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon-bone autografts. *Arthroscopy.* 2009; 25(1): 70-7.
- Almqvist KF, Willaert P, De Brabandere S, Criel K, Verdonk R: A long-term study of anterior cruciate ligament allograft reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009; 17(7): 818-22.
- Garofalo R, Mouhsine E, Chambat P, Siegrist O: Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: the two-incision technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006; 14(6): 510-6.
- Georgoulis AD, Papadonikolakis A, Papageorgiou CD, Mitsou A, Stergiou N: Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking. *Am J Sports Med.* 2003; 31(1): 75-9.
- Espejo-Baena A, Serrano-Fernández JM, De la Torre-Solís F, Irizar-Jiménez S: Anatomic double-bundle ACL reconstruction with femoral cortical bone bridge support using hamstrings. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009; 17(2): 157-61.
- Zhang Z, et al: Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions: a prospective, randomized study with 2-year follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013; 18.
- Goldsmith MT, et al: Biomechanical comparison of anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions: an *in vitro* study. *Am J Sports Med.* 2013; 41(7): 1595-604.
- Yamamoto Y, Hsu WH, Woo SL, Van Scyoc AH, Takakura Y, Debski RE: Knee stability and graft function after anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of a lateral and an anatomical femoral tunnel placement. *Am J Sports Med.* 2004; 32(8): 1825-32.
- Seon JK, Park SJ, Lee KB, Yoon TR, Seo HY, Song EK: Stability comparison of anterior cruciate ligament double- and single-bundle reconstructions. *Int Orthop.* 2009; 33(2): 425-9.
- Colombet P, Jenny JY, et al: Current concept in rotational laxity control and evaluation in ACL reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012; 98(Suppl. 8): S201-10.
- Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y, Yagi T: Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med.* 2008; 36(9): 1675-87.
- 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(7): 1414-21.
- Loh JC, Fukuda Y, Tsuda E, Steadman RJ, Fu FH, Woo SL: Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. 2002 Richard O'Connor Award Paper. *Arthroscopy.* 2003; 19(3): 297-304.
- Steiner ME, Battaglia TC, Heming JF, Rand JD, Festa A, Baria M: Independent drilling outperforms conventional transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2009; 37(10): 1912-9.
- Brand J, Weiler A, Caborn DNM, Brown CH, Johnson DL: Graft fixation in cruciate ligament reconstructions (current concepts). *Am J Sports Med.* 2000; 28: 761-74.
- Ito MM, Tanaka S: Evaluation of tibial bone tunnel changes with X ray and computed tomography after ACL reconstruction using a bone-patellar tendon-bone autograft. *International Orthopedics.* 2006; 30: 99-103.
- Clatworthy MG, Annear P, Bulow JU, Bartlett RJ: Tunnel widening in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective evaluation

- of hamstring and patella tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1999; 7(3): 138-45.
35. Howell SM, Clark JA, Farhey TE: A rationale for predicting anterior cruciate graft impingement by the intercondylar roof. A magnetic resonance imaging study. *Am J Sports Med.* 1991; 19(3): 276-82.
36. Sanchis-Alfonso V, Martínez-Sanjuan V, Gastaldi-Orquin E: The value of MRI in the evaluation of the ACL deficient knee and in the post-operative evaluation after ACL reconstruction. *Eur J Radiol.* 1993; 16(2): 126-30.
37. Agneskirchner JD, Galla M, Landwehr P, Lobenhoffer HP: Simplified MRI sequences for postoperative control of hamstring anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2004; 124(4): 215-20.
38. Ayala JD, Buendía F: Anterior cruciate ligament reconstruction. A CT-scan study. 1a Conferencia Anual Internacional Sicot-Sirot. París; 2001: 505.
39. Jackson DW, Gasser SI: Tibial tunnel placement in ACL reconstruction. *Arthroscopy.* 1994; 10(2): 124-31.
40. Ikeda H, Muneta T, Niga S, Hoshino A, Asahina S, Yamamoto H: The long term effects of tibial drill hole position on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 1999; 15(3): 287-91.
41. Ayala-Mejías JD: Estudio de los túneles femoral y tibial para la ligamentoplastia de LCA mediante TAC y su repercusión clínica a largo plazo [tesis doctoral]. Alcalá de Henares, Madrid, España; 2009.
42. Romano VM, Graf BK, Keene JS, Lange RH: Anterior cruciate ligament reconstruction. The effect of tibial tunnel placement on range of motion. *Am J Sports Med.* 1993; 21(3): 415-8.
43. Takeda Y, Iwame T, et al: Comparison of tunnel orientation between transtibial and anteromedial portal techniques for anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using 3-dimensional computed tomography. *Arthroscopy.* 2013; 29(2): 195-204.
44. Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM: Definitive landmarks for reproducible tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 1995; 11(3): 275-88.
45. Friedman RL, Feagin JA Jr: Topographical anatomy of the intercondylar roof: a pilot study. *Clin Orthop Relat Res.* 1994; (306): 163-70.
46. Yaru NC, Daniel DM, Penner D: The effect of tibial attachment site on graft impingement in an anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1992; 20(2): 217-20.
47. Topliss C, Webb J: An audit of tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee.* 2001; 8(1): 59-63.
48. Ekdahl M, Nozaki M, Ferretti M, Tsai A, Smolinski P, Fu FH: The effect of tunnel placement on bone-tendon healing in anterior cruciate ligament reconstruction in a goat model. *Am J Sports Med.* 2009; 37(8): 1522-30.
49. Ho JY, Gardiner A, Shah V, Steiner ME: Equal kinematics between central anatomic single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy.* 2009; 25(5): 464-72.
50. Ferretti A, Monaco E, Labianca L, De Carli A, Maestri B, Conteduca F: Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive kinematic study using navigation. *Am J Sports Med.* 2009; 37(8): 1548-53.
51. Tompkins M, Milewski MD, et al: Femoral tunnel length in primary anterior cruciate ligament reconstruction using an accessory medial portal. *Arthroscopy.* 2013; 29(2): 238-43.