

La reconstrucción anatómica bifascicular del LCA con único túnel tibial

A. Maestro¹, A. Álvarez², M. del Valle³, L. Rodríguez⁴, P. García⁴, J. Fernández Lombardía¹

¹ FREMAP. Dirección Regional Cantábrica. Gijón. ² Centro de Medicina Deportiva. San Sebastián.

³ Departamento de Biología Funcional. Universidad de Oviedo. ⁴ Hospital de Cabueñes. Gijón

Correspondencia:

Antonio Maestro

FREMAP. Mutualidad de Accidentes Laborales

Av. Juan Carlos I, 1

33212 Gijón

Correo electrónico: antonio_maestro_fernandez@fremap.es

Objetivo: Valorar una nueva técnica que permita reproducir ambos fascículos del LCA.

Material y métodos: Se realizó un seguimiento de un total de 113 (N) pacientes (76 hombres y 37 mujeres), con una edad media de $23,5 \pm 6,5$ años (máx.: 55; mín.: 17), una talla de $177,61 \pm 7,48$ cm (198-160) y un peso de $74,18 \pm 10,66$ (104-56). La técnica utilizada ha consistido en un doble túnel paralelo a nivel femoral con tendones autólogos de isquiotibiales. La valoración pre- y posoperatoria se realizó según la escala IKDC habitual.

Resultados: La máxima diferencia manual fue de $8,11 \pm 1,58$ mm preoperatoriamente, y $2,30 \pm 1,21$ mm posoperatoriamente. En el 85% de los casos fueron registrados en el grupo A y B, y la medición del desplazamiento del pivote mostró una similitud a la otra rodilla posoperatoriamente en 101 (89,4%) pacientes (grupo A). El tamaño de los túneles fue del 69% de 7 mm para el túnel AM y del 84% entre 5 y 6 mm para el PL.

Conclusiones: La realización de técnicas de doble fascículo no presentan mayor morbilidad que las convencionales, permitiendo el añadir un fascículo PL para reproducir el LCA original.

Palabras clave: Doble fascículo. LCA. Reconstrucción anatómica.

INTRODUCCIÓN

A pesar de los buenos resultados que muestran las técnicas habituales de reconstrucción del LCA, la demostración y puesta de manifiesto de

The anatomical ACL double bundle reconstruction across an unique tibial tunnel

Objective: To evaluate a new technique that allows to reproduce both fascicles of the ACL with two parallel femoral tunnels across an unique tibial tunnel.

Materials and methods: We performed a follow-up to a total of 113 (N) patients (76 males and 37 females) with an average age of 23.5 ± 6.5 (Max: 55; Min: 17), a height of 177.61 ± 7.48 cm (198-160) and a weight of 74.18 ± 10.66 (104-56). The technique has been made, by mean of a parallel double femoral tunnel with gracilis and semitendinous autologous tendons. The pre and postoperative evaluation was performed according to the usual IKDC scale.

Results: The maximum manual difference was of 8.11 ± 1.58 mm preoperatively, and 2.30 ± 1.21 mm postoperatively. 85% of the cases were included on the A and B group and the measurement of Pivot Shift showed a similarity to the other knee postoperatively in 101 (89.4%) patients (group A). The tunnel size shed a 69% of 7 mm for AM tunnel and 84% between 5 and 6 mm for PL.

Conclusions: The double bundle technique has not showed more morbidity than conventional techniques, allowing the addition of a PL bundle in order to reproduce the original ACL.

Key words: Double bundle. ACL. Anatomic reconstruction.

forma repetida de que el LCA está compuesto por dos fascículos con una clara diferenciación mecánica y asimismo funcional es un hecho, a pesar de que en ocasiones ambos fascículos están tan íntimamente unidos que es difícil su di-

ferenciación, motivo por el cual determinados autores⁽¹⁻³⁾ sólo diferencian un fascículo.

La ausencia de estabilidad rotacional se asocia con fracasos de la plastia, por lo que la limitación de esta inestabilidad rotacional mediante el uso de un segundo fascículo PL representa un clásico beneficio a las técnicas habituales.

La mayoría de los autores apoyan que la existencia de los dos fascículos coinciden en que entre 0 y 45° de flexión de la rodilla el fascículo PL es el que está más tenso –siendo la máxima tensión hacia los 15°–, y en flexión de 90° soporta todavía el 35% de la carga⁽⁴⁻⁵⁾. Por su parte, el fascículo AM soporta el 30% de la carga del LCA en extensión y el 45% en flexión, y entre 60 y 90° de flexión es cuando soporta la máxima tensión.

Existen muchas técnicas quirúrgicas para realizar la reparación de un LCA lesionado y se ha visto que una reconstrucción anatómica con la reproducción de ambos fascículos hace que sea más funcional y resistente⁽⁶⁾.

El motivo del presente trabajo es presentar una nueva técnica quirúrgica que puede ser utilizada en todo tipo de pacientes y realizar una reconstrucción anatómica con la intención de mejorar la estabilidad rotacional.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se inició la implantación de la técnica quirúrgica del doble fascículo el 20 de abril de 2005. Considerando todos aquellos casos con un seguimiento mayor de 9 meses, se han incluido un total de 113, de un total de 152 pacientes presentes en nuestra base de datos. Se descartaron los casos con fisitis abiertas, aquellos en que se utilizó esta técnica de doble fascículo como consecuencia de una cirugía de revisión ligamentosa o en aquellos en que se utilizó la técnica con tendones procedentes del banco de tejidos (bien tendón de Aquiles o tendón rotuliano). Se excluyeron dos pacientes por presentar una rotura bilateral, cuatro por presentar lesiones condrales mayores de un grado II del ICRS y otros dos a los que fue imposible localizar.

De estos 113 (N) pacientes (76 hombres y 37 mujeres), en 68 casos fue la rodilla derecha la intervenida y en 45 la izquierda, con una edad media de $23,5 \pm 6,5$ años (máx.: 55; mín.:17). La talla media fue de $177,61 \pm 7,48$

cm (198-160), y el peso, de $74,18 \pm 10,66$ kg (104-56) kg.

Teniendo en cuenta, y considerando aquellos casos con más de 3 meses desde la lesión hasta la intervención quirúrgica como grupo que fue denominado como *crónicos* –y que, dadas que las características clínicas del tipo de pacientes incluidos en el estudio, exigen tratamiento quirúrgico y resolución rápida–, el 78,7% de los pacientes (89) fueron intervenidos antes de los tres meses desde el gesto traumático que ocasionó la lesión, con un tiempo medio de espera a la cirugía de $25,17 \pm 12,8$ días (máx.: 54; mín.: 5). Todos los pacientes firmaron el correspondiente consentimiento informado.

La indicación siempre vino determinada bajo el diagnóstico de sospecha clínica de rotura del LCA, y la confirmación, mediante estudio de imagen con RM. El 9,7% (11 pacientes) habían sufrido una cirugía artroscópica previa, 9 por patología meniscal para meniscectomías y en dos casos para liberación del alerón rotuliano externo como gesto aislado. Ninguno de los pacientes tuvo lesiones asociadas mayores a un grado II del ICRS.

No hubo ninguna diferencia respecto a la técnica quirúrgica o protocolo posoperatorio realizado, habiendo sido todas las intervenciones efectuadas por los mismos dos cirujanos, y registrándose como las únicas diferencias que en un grupo se dejó un redón de drenaje posoperatorio y en el otro no, y que la introducción de las ópticas de visión artroscópica se llevó a cabo a través de un portal rotuliano central transtendíneo en un grupo, y en el otro, a través del clásico portal anterolateral.

La técnica utilizada ha sido en la totalidad de los casos incluidos mediante tendones autólogos de isquiotibiales (recto interno y semitendinoso) con un instrumental específico diseñado para la técnica de doble fascículo con túneles paralelos (como se explica a continuación). La fijación en la totalidad de los casos ha sido mediante el sistema transfixiante femoral habitual o estándar y un tornillo interferencial a nivel tibial.

La valoración pre y posoperatoria se realizó según la escala IKDC habitual, conociendo la inestabilidad manual diferencial máxima medida de forma objetiva mediante el sistema KT-1000® (Medmetric, San Diego) de la forma habitual aplicando la máxima tensión manual con la rodilla en 20° de flexión.

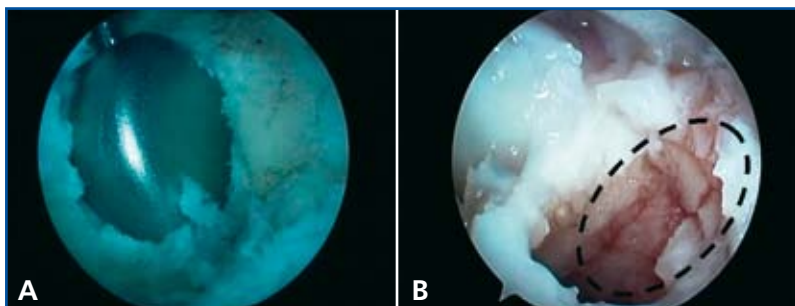


Figura 1. A) Dilatación ovalada o elíptica con dilatadores específicos. B) Obtención del correspondiente orificio elíptico en la entrada articular de la tibia.

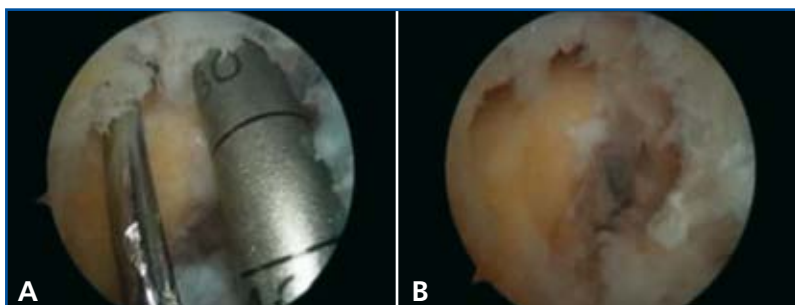


Figura 2. A) Fresado del fascículo AM hasta 30 mm, manteniendo la segunda aguja de Kirschner en el PL. B) Visión intraarticular de los orificios y correspondientes túneles realizados con el mantenimiento del intertúnel.

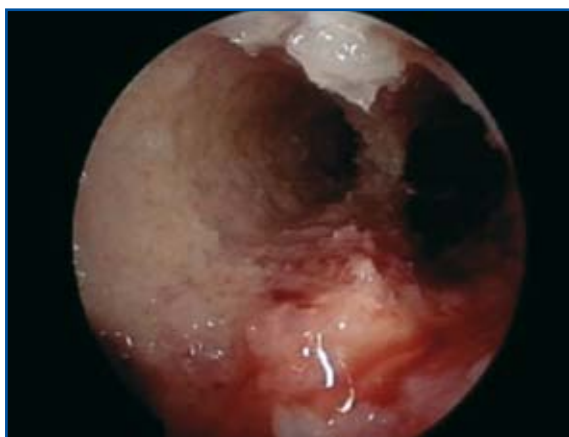


Figura 3. Visualización y comprobación del paralelismo entre los túneles y del mantenimiento de la distancia intertúnel.

Técnica quirúrgica

La técnica quirúrgica fue en todos los casos la realización de la sistemática artroscópica habitual, utilizando los portales transrotuliano o anterolateral y anteromedial habituales. Una

vez confirmada la lesión completa del LCA, es decir, la rotura de sus dos fascículos de forma completa, se procede a la extracción –según técnica estandarizada– de los tendones del recto interno y del semitendinoso, y limpieza del muñón restante y de la zona de inserción tibial de restos de partes blandas adyacentes. Valorado el espacio intercondíleo de la escotadura, se realiza la ampliación de la misma si fuese necesario, con el objetivo de ver de forma satisfactoria el borde posterior del cóndilo femoral externo para poder adaptar correctamente la guía en una disposición lo suficientemente posterior que evite el roce o atrapamiento futuro de la plastia en esta zona intercondílea.

Una vez localizado el punto de entrada tibial en la articulación –con la referencia de 7 mm anterior al ligamento cruzado posterior o ligeramente posterior a la inserción del cuerno anterior del menisco externo, y un poco medial respecto al centro de la meseta y espina tibial–, con la guía tibial de angulación a 50° se perfora con una aguja de Kirschner para, una vez considerado aceptable el punto de entrada, perforar con una broca canulada de 8 mm. Posteriormente, se limpian los bordes del túnel y se realiza una ligera orientación con una raspa retrógrada para intentar angular el eje anteroposterior del futuro óvalo desde posterior a anterior y de interno a externo. Con dos tipos de “dilatadores” ovalados de 8 × 10 y 8 × 12 mm, respectivamente, se introducen a través del túnel tibial con la orientación exigida, realizándose finalmente un orificio ovalado con la orientación anteriormente citada (Figura 1). Finalmente, la denominada *guía máster* permitirá introducir posteriormente dos agujas de Kirschner paralelas que servirán de guías.

La localización de los puntos de entrada se realiza mediante la selección inicial del punto de inserción del fascículo AM –ya que, al ser los túneles paralelos y siempre con la misma

distancia, el PL vendrá determinado siempre en relación al AM-, en una localización posterior del cóndilo (según técnica monofascicular habitual), a unos 5 mm del margen posterior del mismo y con una angulación horaria hacia las 11:30 en la rodilla derecha y a las 12:30 en la izquierda. La primera aguja de Kirschner en la disposición AM atraviesa la articulación en una disposición cercana al LCP (al cual tensa finalmente la plastia), para posteriormente introducir la segunda en la disposición paralela, que obliga o dirige la guía de introducción y que mantiene una distancia constante de entrada del fascículo PL. Una vez considerados como satisfactorios los puntos de entrada de ambos túneles, se perfora con una broca de 5 mm (Figura 2).

De esta manera se mantiene siempre constante un espacio correcto de muro intertúneles y posteriormente con el uso de dilatadores independientes del tamaño determinado de forma individual para cada fascículo dependiendo del grosor correspondiente (6 mm, 7 mm, 8 mm). Con la ayuda de unos dilatadores dobles –o “paralelos”– se pueden ampliar o compactar ambos túneles manteniendo la misma dirección, es decir, procurando el paralelismo entre los mismos y comprobando los orificios (Figura 3).

Con una pieza acoplada al arco habitual del sistema de fijación transfixiante –que únicamente se diferencia en que, intraarticularmente, en vez de ser para un único orificio femoral como en la técnica monotúnel, es para dos orificios o túneles paralelos–, se introduce en los orificios femorales para permitir el paso del perforador, desde la cara externa de la rodilla, del sistema de fijación transfixiante habitual.

Retirado el arco, y manteniendo las cánulas del sistema de fijación en el cóndilo externo del fémur, se realiza una comprobación de la fiabilidad del sistema viendo, mediante la introducción de la óptica a través del túnel tibial, cómo unas agujas de Kirschner atraviesan transver-

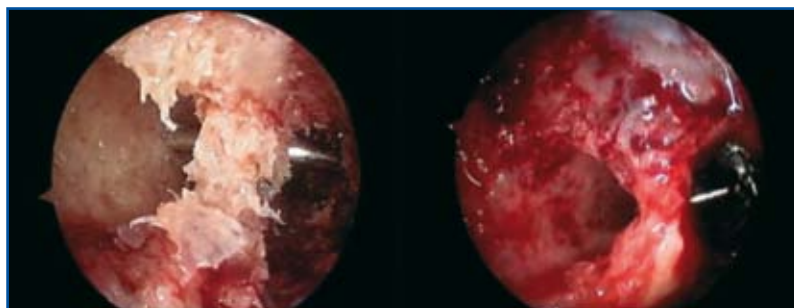


Figura 4. Tuneloscopia a través del orificio tibial para realizar la comprobación de la fiabilidad del sistema de fijación; se puede apreciar cómo las agujas-guía de la fijación atraviesan ambos túneles.



Figura 5. Colocación de las agujas de Kirschner en disposición anterior y lateral respectivamente para la salida en el muslo, con el objeto de facilitar el pasaje correcto de los fascículos.

salmente los dos túneles realizados (Figura 4), técnica denominada *tuneloscopia*.

Tras la introducción de las agujas de Kirschner, inicialmente la del PL –para así mantenerla en una situación posterior del túnel tibial– y, en segundo lugar, la del AM –para así mantenerlo en una localización anterior (Figura 5)–, se procede al pasaje o introducción de las plastias; del mismo modo, debe iniciarse por el fascículo PL y seguir por el AM, para así evitar el “enrollamiento” o atasco de las mismas.

Finalmente, dependiendo de la disposición de cada fascículo de forma intraarticular desde la parte externa del túnel tibial se puede realizar el giro de los fascículos, para así colocarlos en la posición que consideremos más correcta intraarticularmente y proceder a la fijación tibial mediante la compresión con tornillo interferencial, manteniéndolos en la posición adecuada seleccionada bajo visión artroscópica directa (Figura 6).

Se seleccionó siempre el tendón semitendinoso para el fascículo AM y el recto interno, o *Gracilis*, para el PL.

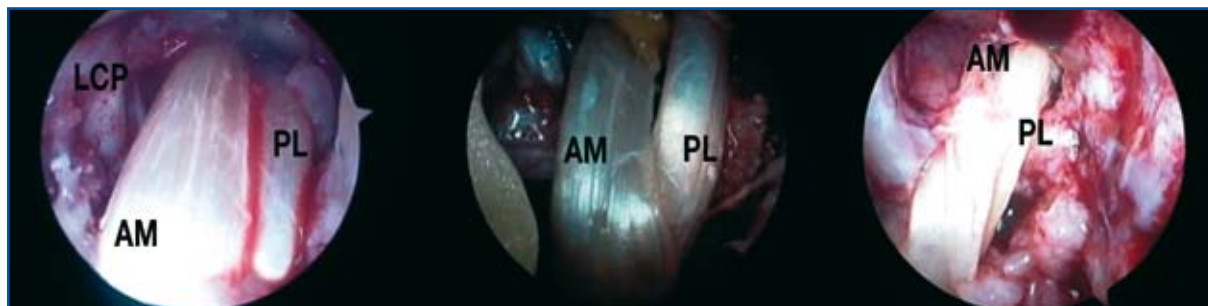


Figura 6. Comprobación de las plastias en su correcta posición tras la realización del giro de los fascículos "a la demanda".

Tabla 1				
VALORACIÓN OBJETIVA SEGÚN ESCALA IKDC				
	A	B	C	D
PRE-		8	44	61
POS-	51	45	17	

Tabla 2				
TAMAÑO DE LOS TÚNELES				
	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm
AM	2	27	78	6
PL	31	64	16	2

Tabla 3				
PÍVOT SHIFT PRE- Y POSOPERATORIO				
	A	B	C	D
Preoperatorio		12	42	59
Posoperatorio	101	9	3	

RESULTADOS

El tiempo medio de isquemia ha sido de 82'10" ± 11'58" minutos, y el protocolo posoperatorio fue con carga parcial y asistida inmediata –siempre con protección con una ortesis en extensión durante tres semanas–. Se permitió, asimismo, movilidad de 0-30° de forma inmediata la primera semana; de 0°-60° entre la segunda y la tercera; después de ésta, movilidad libre y ejercicios en cadena cinética cerrada; bicicleta a las seis semanas; y carrera recta y en terreno llano a los doce semanas.

La valoración subjetiva de los pacientes fue de 41,07 ± 7,3 preoperatoriamente, frente a 82,04 ± 8,8 posoperatoriamente. La valoración objetiva se refleja en la **Tabla 3**.

Tras la valoración del tamaño de los túneles, fue en el 69% de los casos el tendón y su correspondiente túnel AM de 7 mm; y en el 56,7% de los casos, de 6 mm de tendón y túnel en el PL (**Tabla 4**).

La amplitud articular mostró: 1) un déficit de **extensión** de 5° (grupo B) en 5 casos, y de 10° en 3 casos (grupo C); y 2) una pérdida de **flexión** de 10° (grupo B) en 4 casos, y de entre 15°-20° en 2 casos (grupo C).

Como lesiones asociadas se encontraron un 23% de lesiones meniscales, procediéndose como gestos asociados a una meniscectomía aislada menor de 1/3 de ambos meniscos en 14 casos (8 del externo, y en 6 del interno), en 8 casos mayor de 1/3 (2 del externo y 6 del interno) y en 4 ocasiones una sutura (3 del externo y 1 del interno). En 7 casos se encontraron lesiones condrales mayores de 1,5 cm, realizándose la técnica de microfracturas y limpieza-regularización mediante radiofrecuencia térmica.

Las complicaciones presentadas en esta serie de técnica bifascicular fueron: limitaciones de 90° que requirieron manipulación bajo anestesia en 3 casos, 1 síndrome del cílope que se solucionó mediante resección del cílope, ampliación de la escotadura y limpieza articular artroscópica. En dos casos, artritis con cultivo negativo, resueltas con lavado articular y antibioterapia profiláctica; un caso de derrames de repetición (asociado a lesión condral de grado II de ICRS) y rodilla estable con plastia HIntegra® en RM a tratamiento en la actualidad; y en 5 ocasiones se produjo una fractura-arrancamiento del resto o margen de la espina ti-

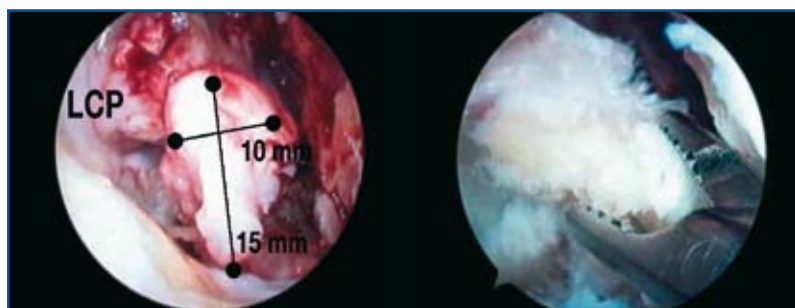


Figura 7. Fragmento marginal de espina tibial y su extracción.

bial (de aproximadamente, 1 cm) al introducir los dilatadores tibiales, por lo que se procedió a la extracción del fragmento desprendido (Figura 7).

Un caso presentó una rerrotura de la plastia como consecuencia de un nuevo traumatismo, a los 5 meses de la intervención, que precisó una nueva ligamentoplastia mediante tendón de Aquiles utilizando los túneles previos, y cuyo caso fue excluido de la valoración final.

En 3 casos –de los primeros y atribuido a la consiguiente curva de aprendizaje–, tras la comprobación del interior del túnel femoral fue necesario modificar la dirección de las agujas-guía de las fijaciones transversales femorales en el interior de dicho túnel femoral, bajo visión directa desde el túnel tibial (tuneloscopia).

La laxitud ligamentosa medida mediante el KT-1000 de forma máxima diferencial respecto a la otra extremidad fue de $8,11 \pm 1,58$ mm de forma preoperatoria, y de $2,30 \pm 1,21$ mm posoperatoriamente. En 34 casos se registró una medición de entre 3-5 mm (30%) del grupo B o cerca de la normalidad, y de más de 5 mm de diferencia en dos casos (1,76%) en la medición estándar, siendo por tanto un grupo A en el 68,14% (77 casos).

La medición del desplazamiento del pivote (*pivot shift*) nos reveló una presencia del mismo de +++ o grande en 59 casos; en 42 ++ (grupo C); y en 12 + (grupo B) de forma preoperatoria, con ausencia o negatividad siendo similar a la rodilla contralateral de forma posoperatoria en 101 pacientes (grupo A), y en 9 casos (8%) una persistencia del deslizamiento de + (grupo B) y en 3 casos (2,6%) de tipo intenso o ++ (grupo C) (Tabla 6).

El test funcional del salto monopodal fue preoperatoriamente menor del 50% con respecto a la extremidad contralateral en 104 ca-

sos (grupo D) y en 11 entre el 50%-75% (grupo C), pasando posoperatoriamente al 98% de los casos (111) del grupo A y a un 2% del grupo B (2), en coincidencia con aquellos casos en los que se habían presentado lesiones condrales. El tiempo de isquemia en la presente técnica bifascicular o doble túnel ha sido de $82'1'' \pm 11'6''$.

DISCUSIÓN

La presencia de inestabilidades rotacionales asociadas a la lesión del LCA y la persistencia de dicha inestabilidad rotacional tras las reconstrucciones habituales monofasciculares han hecho posible la aparición de la técnica del doble túnel o doble fascículo, que es actualmente foco de controversia. Los diseños de técnicas que permitan realizar dichas reconstrucciones deberán ser tenidos en cuenta hoy día, bien como opción primaria o como alternativa a las clásicas técnicas de reconstrucción del LCA. Asimismo, se ha puesto de manifiesto el importante papel de control de la estabilidad –especialmente, de la rotacional– en la proximidades de la extensión completa y en la hiperextensión de la rodilla que proporciona la presencia de un segundo fascículo PL⁽⁷⁻⁹⁾.

La mayoría de las series publicadas realizan la técnica del doble fascículo a través de un doble túnel tibial, siendo muy pocos los trabajos que hablan de los beneficios del único túnel tibial; asimismo, se ha mostrado una comunicación intertúnel en la tibia en el 21% de los casos al año de la cirugía⁽¹⁰⁾.

Tras nuestros estudios en el cadáver, y en coincidencia con la mayoría de las publicaciones previas^(3,11-16) respecto a la amplia disposición de la huella de inserción tibial del LCA, al ser de una forma piriforme⁽¹⁷⁻²⁰⁾, en nuestra técnica no solamente defendemos la utilización de un único túnel a nivel tibial; también consideramos que este túnel deberá ser elíptico para, desde un punto de vista mecánico, permitir la introducción de todo el instrumental y, desde un punto de vista anatómico, permitir la colocación de los fascículos en su posición correcta en la elipse, es decir, uno en posición posterior y otro anterior.

Tras el diseño de los instrumentales específicos, y una vez conseguida la reproducibilidad tras las cirugías experimentales en el cadáver, nuestro diseño de dilatadores específicos canulados y de forma elíptica nos permitirá compactar el hueso y realizar el correspondiente túnel como un espacio elíptico para a través de dicho túnel introducir todo el instrumental para realizar los dos fascículos femorales.

El diseño de instrumentales específicos ha permitido esta reproducción del doble fascículo con ambos túneles en paralelo con la finalidad de mantener un espacio o distancia constante entre ambos túneles femorales y, así, mejorar la estabilidad rotacional^(2,13,29) al proporcionar un segundo fascículo a las técnicas monofasciculares habituales.

La técnica ha demostrado, por un lado, **seguridad** –inicialmente en el cadáver, y posterior-

mente en nuestra serie de 152 pacientes– sin mayor morbilidad que la de las técnicas habituales de tipo monofascicular y con buenos resultados (**Tabla 1**) tras la utilización de la escala IKDC; y, por el otro, la posibilidad de utilizar **idéntico sistema de fijación** que el de las técnicas convencionales. Así pues, consideramos que su presencia en el arsenal terapéutico de las reconstrucciones del LCA deberá ser tenida en cuenta, tanto en cirugía primaria –especialmente en aquellos casos de inestabilidad rotacional– como en revisión⁽²¹⁻²³⁾.

En conclusión, este procedimiento a través de un monotúnel tibial permite la realización de la técnica “anatómica” o bifascicular en el fémur, lo que –al igual que el resto de técnicas bifasciculares⁽²⁴⁻²⁹⁾– deberá tenerse en cuenta, especialmente en los casos de inestabilidad rotacional asociada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg* 1985; 67-A: 257-62.
2. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH y Woo S L-Y. Biomechanical analysis of an anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2002; 30: 660-6.
3. Welsh RP. Knee joint structure and function. *Clin Orth Relat Res* 1980; 147: 7-1.
4. Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orth Relat Res* 1983; 172: 19-25.
5. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res* 1975; 106: 216-31.
6. Reiman PR, Jackson DW. Anatomy of the anterior cruciate ligament. En: Jackson DW, Drez D (eds.). *The anterior cruciate deficient knee*. St. Louis, MO: Mosby; 1987. p. 17-26.
7. Friedrich N. Anatomie fonctionnelle du pivot central du genou. En: Landreau Ph, Christel P, Djian P (eds.). *Pathologie ligamentaire du genou*. Paris: Springer; 2004. p. 1-44.
8. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament: fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg* 1991; 73: 260-7.
9. Harner CD, Baeck GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi, Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy* 1999; 15: 741-9.
10. Sakane M, Fox RJ, Woo SL-Y, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res* 1997; 15: 285-93.
11. Bach BR Jr, Tradonsky S, Bojchuk J, Levy ME, Bush-Joseph CA, Khan NH. Arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft. Five- to nine-year follow-up evaluation. *Am J Sports Med* 1998A; 26: 20-9.
12. Zelle BA, Brucker PU, Feng MT, Fu FH. Anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med* 2006; 36: 99-108.
13. Christel P. Ligament croisé antérieur et stabilité rotatoire. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2005; 91 (S8): 18-22.
14. Petersen W, Tillmann B. Anatomy and function of the anterior cruciate ligament. *Orthopade* 2002; 31: 710-8.
15. Brucker PU, Zelle BA, Fu FH. Revision after anterior cruciate ligament reconstruction by restoration of the posterolateral bundle. *Operative Techniques in Orthopaedics* 2005; 15: 146-50.
16. Fuss F. The restraining function of the cruciate ligaments on hyperextension and hyperflexion in the human knee joint. *Anat Rec* 1991; 230: 283-9.
17. Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale

- for reconstruction. *J Bone Joint Surg* 1985; 67-A: 257-62.
18. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH y Woo S L-Y. Biomechanical analysis of an anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2002; 30: 660-6.
 19. Welsh RP. Knee joint structure and function. *Clin Orth Relat Res* 1980; 147: 7-1.
 20. Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res* 1983; 172: 19-25.
 21. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*, 1975; 106: 216-31.
 22. Reiman PR, Jackson DW. Anatomy of the anterior cruciate ligament. En: Jackson DW, Drez D (eds.). *The anterior cruciate deficient knee*. St. Louis, MO: Mosby; 1987. p 17-26.
 23. Friedrich N. Anatomie fonctionnelle du pivot central du genou. En: *Pathologie ligamentaire du genou*. Landreau Ph, Christel P, Djian P (eds.). París: Springer; 2004. p. 1-44.
 24. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament: fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg* 1991; 73: 260-7.
 25. Harner CD, Baeck GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi, Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy* 1999; 15: 741-9.
 26. Sakane M, Fox RJ, Woo SL-Y, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res* 1997; 15: 285-93.
 27. Bach BR Jr, Tradonsky S, Bojchuk J, Levy ME, Bush-Joseph CA, Khan NH. Arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft. Five- to nine-year follow-up evaluation. *Am J Sports Med* 1998; 26: 20-9.
 28. Zelle BA, Brucker PU, Feng MT, Fu FH. Anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med* 2006; 36: 99-108.
 29. Christel P. Ligament croisé antérieur et stabilité rotatoire. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2005; 91 (S8): 18-22.