

# Técnica de doble banda: reconstrucción anatómica del ligamento cruzado anterior

Stephan Lorenz, Hermann Anetzberger, Jeffrey T. Spang y Andreas B. Imhoff<sup>a</sup>

## Resumen

### Objetivo

Mejorar la estabilidad rotacional de la rodilla mediante la reconstrucción anatómica del ligamento cruzado anterior usando la técnica de doble banda con injertos anteromedial y posterolateral del semitendinoso y gracilis. Los injertos se fijan con tornillos re-absorbibles utilizando una fijación de apertura.

### Indicaciones

Ruptura completa del ligamento cruzado anterior con signo de Lachman y pivot shift positivo.

### Contraindicaciones

Fisis abiertas.

Artrosis superior al grado 1 según Jäger & Wirth.

Edad  $\geq$  50 años con actividad deportiva baja (contraindicación relativa).

### Técnica quirúrgica

Obtención del injerto de los tendones del semitendinoso y gracilis a través de una incisión cutánea horizontal de 3 cm paralela a la pata de ganso. Preparación de los tendones en doble lazada. Artroscopia, resección del muñón del ligamento cruzado anterior, y limpieza de su inserción y origen. Posicionamiento del túnel con la ayuda del instrumental específico en este orden: posterolateral tibial, anteromedial tibial, anteromedial femoral (transtibial o a través del portal anteromedial a 120° de flexión), posterolateral femoral (a través de un portal adicional medial). Las bandas anteromedial (tendón del semitendinoso) y posterolateral (tendón gracilis) se deslizan por los túneles y se fijan en el lado femoral. La fijación tibial del injerto se realiza con un

tornillo interferencial re-absorbible con la rodilla a 45° de flexión (anteromedial) y a 10° (posterolateral).

### Tratamiento postoperatorio

Según el grado de inflamación, rehabilitación con carga parcial durante 14 días y movilidad completa. Vuelta al deporte tras 6 meses, no deportes de contacto hasta los 9 meses.

### Resultados

Entre mayo del 2004 y junio del 2005, se ha realizado en 19 pacientes (13 varones, 6 féminas, edad media 31 años [18-48]) con ruptura aislada del ligamento cruzado anterior sin lesiones asociadas la reconstrucción anatómica con doble banda. El seguimiento clínico se realizó tras 21,3 meses como término medio (16-30) del postoperatorio. La escala de Lysholm mejoró de media de 65,2 a 94,5 puntos (75-100 puntos). La escala IKDC (International Knee Documentation Committee) obtuvo nueve muy buen resultados y 10 buenos resultados en los subgrupos de movilidad, derrame y estabilidad ligamentosa. La traslación anteroposterior medida con el instrumental KT-1000 a 134 N reveló un incremento de 1,8 mm (-2 a 5 mm) comparado con la rodilla contralateral.

### Palabras clave

Rodilla. Ligamento cruzado anterior. Técnica de doble banda. Reconstrucción anatómica. Fijación de apertura.

Operat Orthop Traumatol 2007;19:473-88

---

<sup>a</sup>Abteilung Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Alemania.

### Notas preliminares

A principios del siglo XIX, los hermanos Weber describieron dos bandas funcionales diferentes del ligamento cruzado anterior, denominadas banda anteromedial y banda posterolateral<sup>28</sup>. Hay otros autores que también han descrito estas bandas<sup>5,8,9,22,26</sup>. Existe alguna evidencia biomecánica que muestra que la reconstrucción con doble banda es superior a la técnica de una banda en cuanto a la traslación tanto anterior como a la traslación anterior en rotación interna<sup>31</sup>, por ello la técnica con doble banda empieza a ser más utilizada y más recomendable<sup>1,10,20,23,30,32</sup>.

En un estudio clínico, Yagi et al fueron capaces de demostrar también una mejora en la estabilidad rotatoria

con la técnica con doble banda<sup>29</sup>. Jarvela demostró una mejora significativa en la prueba del pivot shift con la técnica con doble banda<sup>14</sup>.

La primera reconstrucción anatómica con la técnica con doble banda fue descrita en 1983 por Mott<sup>19</sup>. Anteriormente se habían publicado técnicas en relación con el sistema de fijación lejos de la articulación con Endobutton, tornillos de esponjosa, u otros sistemas de fijación<sup>2-4,6,7,16,18,27,30,33,34</sup>. Puesto que el ensanchamiento del túnel no puede evitarse ni con la reconstrucción anatómica del ligamento cruzado anterior<sup>24</sup>, consideramos que la opción más óptima para la fijación del injerto es la que se halla más cerca de la articulación.

### Principios quirúrgicos y objetivos

Se reconstruye el ligamento cruzado anterior lesionado mediante injerto autólogo de semitendinoso y gracilis. Cada injerto se dobla para crear dos extremos. Puesto que los túneles tibial y femoral han de brocar-

se para cada una de las bandas, los injertos pueden fijarse independientemente el uno del otro a diferentes grados de flexión de la rodilla. Se usan tornillos biodegradables para la fijación de apertura en el fémur y la tibia.

### Ventajas

- Mejora la estabilidad de la articulación de la rodilla, sobre todo la rotación de la tibia.
- Menor pérdida ósea debido al menor tamaño de los túneles.
- Fijación abierta para prevenir el ensanchamiento del túnel.

### Desventajas

- Alta exigencia quirúrgica y técnica para el cirujano.
- Tiempo quirúrgico más largo (aproximadamente 10 min).
- Incremento del coste de los implantes al utilizar 4 tornillos biodegradables.
- Cirugía de revisión posiblemente más compleja.

### Indicaciones

- Inestabilidad sintomática tras la ruptura del ligamento cruzado anterior.

- Persistencia de la inestabilidad tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

### Contraindicaciones

- Fisis abiertas.
- Signos radiológicos de artrosis superior al grado 1 según Jäger y Wirth<sup>13</sup> (tabla 1).
- Contraindicación relativa para los pacientes con edad  $\geq 50$  años con actividad deportiva baja.

### Información al paciente

- Riesgos comunes a la cirugía, tales como sangrado, trombosis, embolismo e infección, así como su prevención.
- Entumecimiento temporal o permanente debido al torniquete.
- Riesgos generales de la cirugía artroscópica:
  - Fallos de la instrumentación.

**Tabla 1**Tipos de artrosis radiológica según Jäger y Wirth<sup>13</sup>.

Grado 1	Afectación de la eminencia intercondilar y del polo rotuliano del lado articular
Grado 2	Afectación de las superficies tibiales, disminución del espacio articular, leve deformación de los cóndilos femorales, esclerosis subcondral moderada
Grado 3	Disminución a la mitad del espacio articular, deformidad aparente del cóndilo femoral, osteofitos en los márgenes de la superficie tibial, eminencia intercondilar y en el lado articular del polo rotuliano
Grado 4	Desaparición del espacio articular, cambios quísticos en el fémur, tibia y rótula incluyendo destrucción ósea, subluxación del fémur respecto a tibia

– Seguir con cirugía abierta debido a complicaciones.  
 – Lesión del cartilago articular durante la introducción de los instrumentos.

– Extravasación importante del líquido de irrigación en los tejidos blandos de la pierna.

• Riesgos específicos de este procedimiento quirúrgico:

– Rotura del injerto tendinoso durante su obtención requiriendo otros autoinjertos o aloinjertos.

– Lesión de los vasos poplíteos o del nervio, o del nervio peroneal por la penetración de los instrumentos o de la lazada de alambre.

– Destrucción de la pared posterior del túnel anteromedial precisando otro sistema de fijación (por ejemplo, Endobutton).

– Elongación o migración del injerto provocando una inestabilidad recurrente.

– Déficit de extensión y flexión debido a la mala posición de los túneles o a la fijación en mala posición.

– Derrame recurrente de la articulación debido a la reacción a los implantes biodegradables.

### Planificación preoperatoria

• Proyecciones radiológicas estándares anteroposterior y lateral, si es posible proyección de Rosenberg.

• Resonancia Magnética Nuclear para evaluar lesiones concomitantes (meniscales, cartilaginosas).

• Examen preoperatorio del estado neurovascular.

• Examen clínico (prueba de Lachman y pivot shift), repetir bajo anestesia.

### Instrumentación quirúrgica e implantes

• Óptica de 4 mm con ángulo de 30° de visión.

• Instrumental de artroscopia: pinzas, fórceps, pinzas de sutura, pico de pato (fig. 1a, izquierda).

• Broca canulada en punta o broca flexible de 5/6/7/8 mm (fig. 1b).

• Destornillador para tornillos interferenciales biodegradables y para tornillos de tenodesis, escariador artroscópico, guía femoral con offset de 4/5/6 mm para las bandas posterolateral y anteromedial (Arthrex, Naples, FL, EE. UU.; fig. 1c).

• Guía tibial de ángulo ajustable (Arthrex, fig. 1d).

• Fresa con aspiración (fig. 1e).

• Aguja de Kirschner de 2,4 mm con ojal, y 2 agujas de Kirschner de 2 mm.

• Suturas de dos colores, por ejemplo FiberWire/TigerWire (Arthrex).

• Tornillos de tenodesis biodegradables de 5,5 × 15 mm, tornillos interferenciales biodegradables de poli-(L)-lactido (PLLA) de 7/8 × 23 mm y 9 × 28 mm (Arthrex).

• Llave para tornillos de interferencia biorresorbable (Arthrex).

• Aguja de nitinol (Arthrex).

• Tensiómetro escalado 0-100 N.

• Stripper tendinoso.

• Gancho afilado, separador de Langenbeck, lima ósea.

### Anestesia y colocación del paciente

• Anestesia general o espinal.

• Colocación en supino con la extremidad afecta sujeta lo más proximal posible con un soporte de extremidad que permita una flexión de rodilla de 120°. La extremidad contralateral se coloca a 90° de flexión.

• Desinfección de la piel de la pierna con una solución yodada.

• Ropaje estéril con tallas de extremidad, botina y venda elástica para la parte inferior de la pierna.

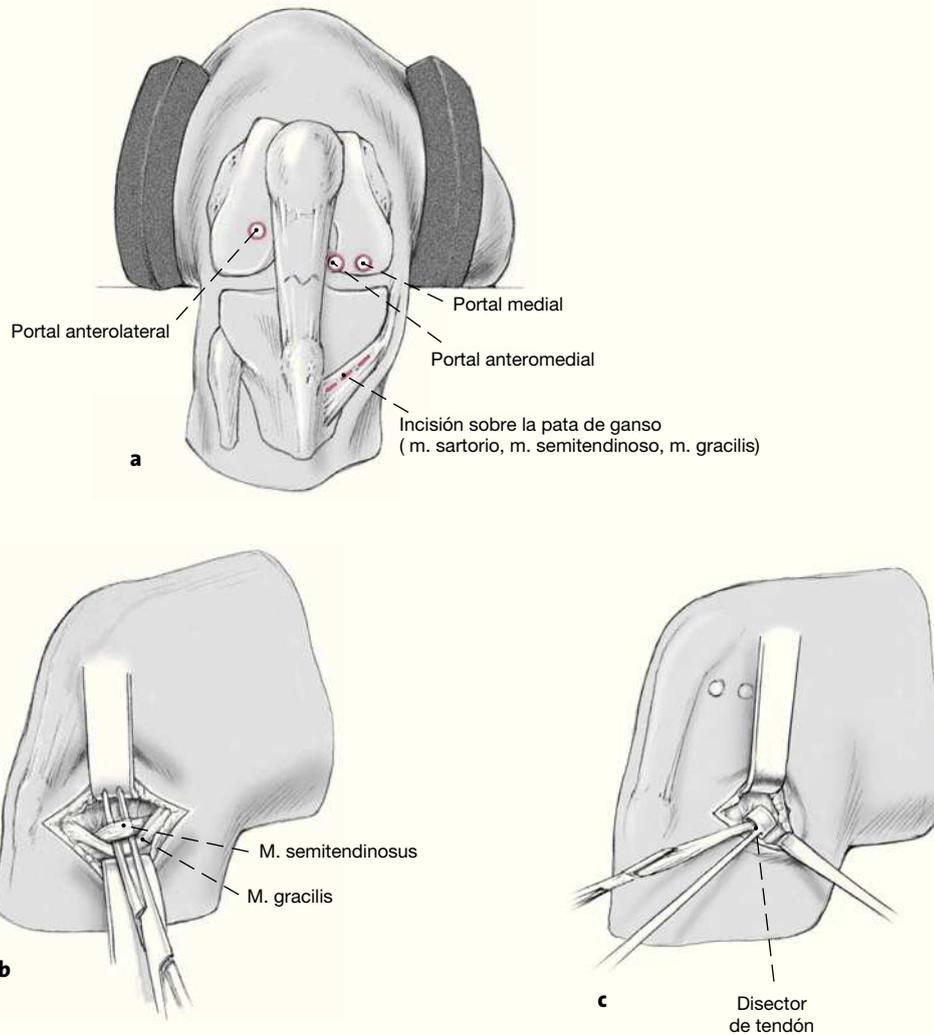
• Torniquete quirúrgico a 150-200 mmHg por encima de la presión sanguínea sistólica.



**Figuras 1a a 1e**  
Instrumental. Ver texto para detalles.

## Técnica quirúrgica

Figuras 2 a 6

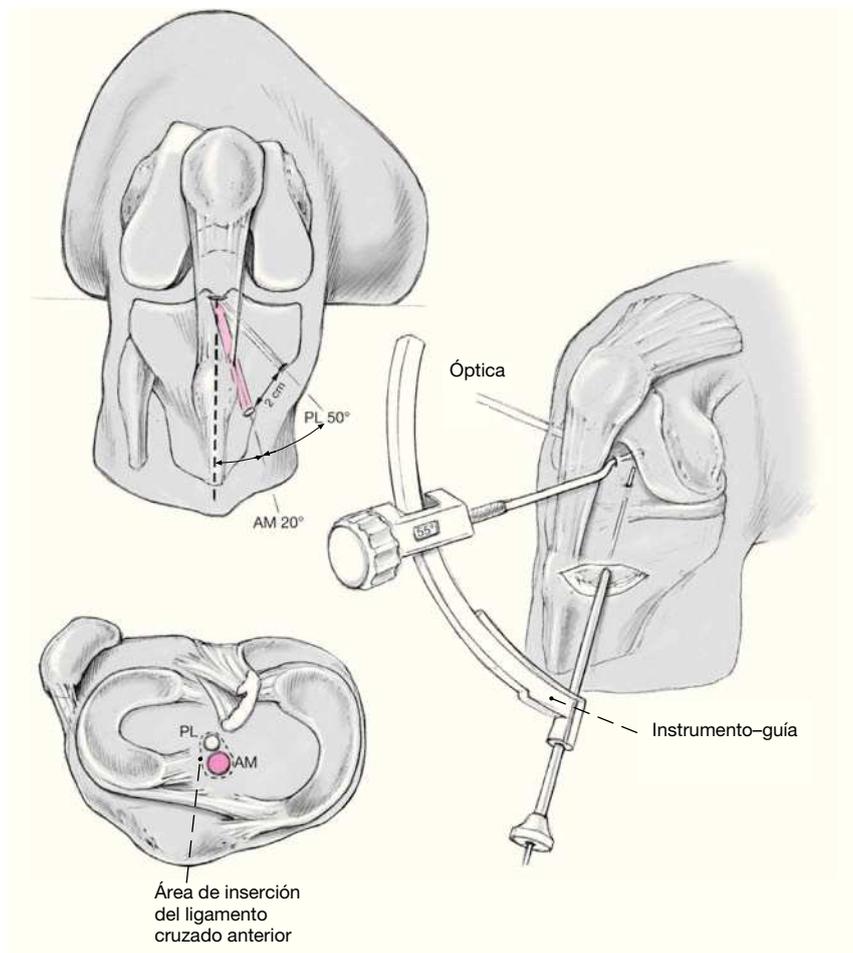


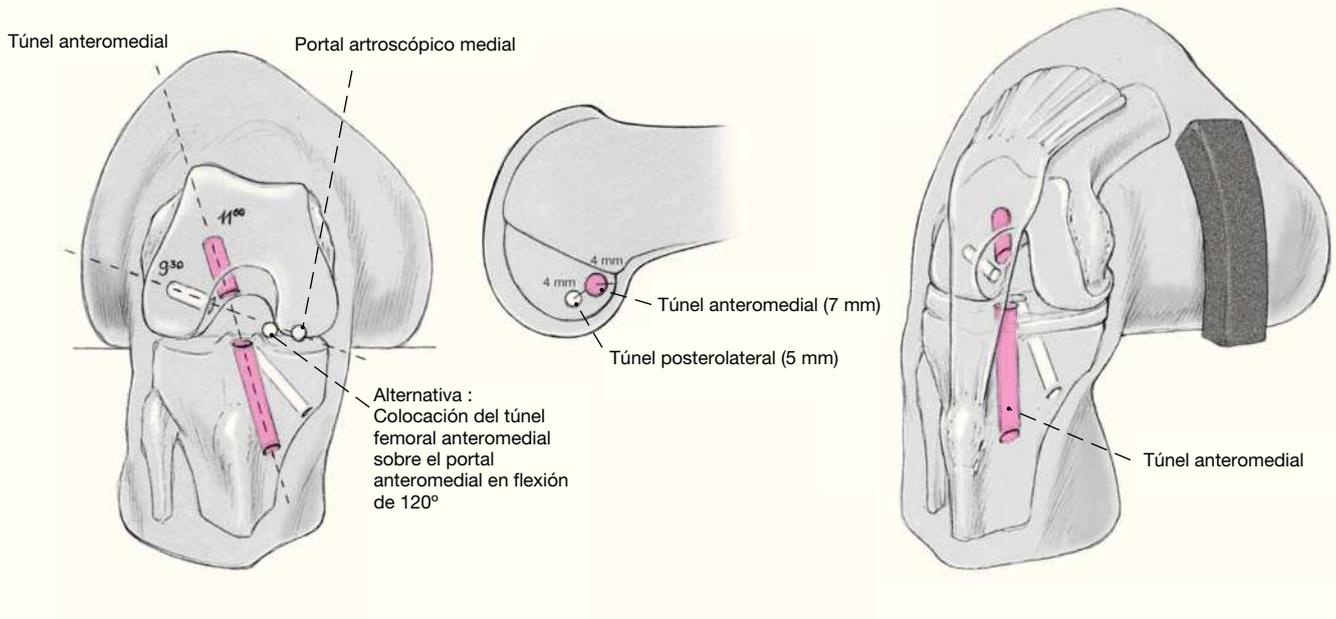
### Figuras 2a a 2c

La colocación de las tallas debe permitir la movilidad intraoperatoria, incisión cutánea horizontal de aproximadamente 3 cm de longitud a nivel de la pata de ganso (a 2 cm de la tuberosidad tibial). *a)* Se secciona la fascia y las fibras superficiales de la pata de ganso juntamente con las fibras del músculo sartorio por encima del tendón y en la dirección de las fibras. Identificación de los tendones a unos 3 cm de sus orígenes (*b*) y sujeción de los mismos en lazadas. El tendón del gracilis está por encima del tendón del semitendinoso. Disección de la pata de ganso y liberación de los tendones. Antes de su obtención es fundamental seccionar los vínculos de fascia adheridos al tendón a nivel o por encima de la línea articular. Se mantiene el tendón bajo tracción y se desliza el stripper en la dirección del tendón (*c*). Se retiran los restos de tejido muscular de los tendones y se usan suturas del 2 (FiberWire™, Arthrex) para sujetar los extremos de los tendones. Se marca el tendón por su mitad y a 25 mm (banda anteromedial: tendón del semitendinoso) y a 15 mm (banda posteromedial: tendón del gracilis). La doble lazada del injerto del tendón del semitendinoso como mínimo debe medir 7 mm de diámetro; la doble lazada del tendón del gracilis, 5 mm. Si los diámetros son inferiores, el tendón debe doblarse 3 veces. La longitud mínima aceptable para ambos tendones es de 8 cm.

**Figura 3**

Los restos de ligamento se resecan y se limpia su origen e inserción. A continuación, se coloca una aguja guía de 2 mm, 5 mm por delante del ligamento cruzado posterior, en el centro de la eminencia intercondilar. El ángulo de la guía debe colocarse entre 55 y 50 grados de inclinación en el plano frontal (túnel verde). El ángulo de la guía se cambia a 45° (inclinación de 20° en el plano frontal, túnel rojo), y se introduce la aguja guía para el túnel anteromedial (AM), 3 mm por delante de la aguja posterolateral (PL), en el centro de la inserción del ligamento cruzado anterior. La separación mínima entre las dos agujas a nivel de la cortical de la tibia debe ser de 2 cm. Seguidamente, se extiende la rodilla para evaluar la posible fricción troclear revisando la posición de las agujas en relación con el techo intercondilar. El túnel posterolateral se realiza con una broca de 5 mm, y luego el anteromedial con una broca de 7 mm. Para evitar que las agujas migren dentro de la articulación se utiliza una cuchara afilada como tope. Se eliminan los restos de tejido y se redondean los márgenes de los túneles.

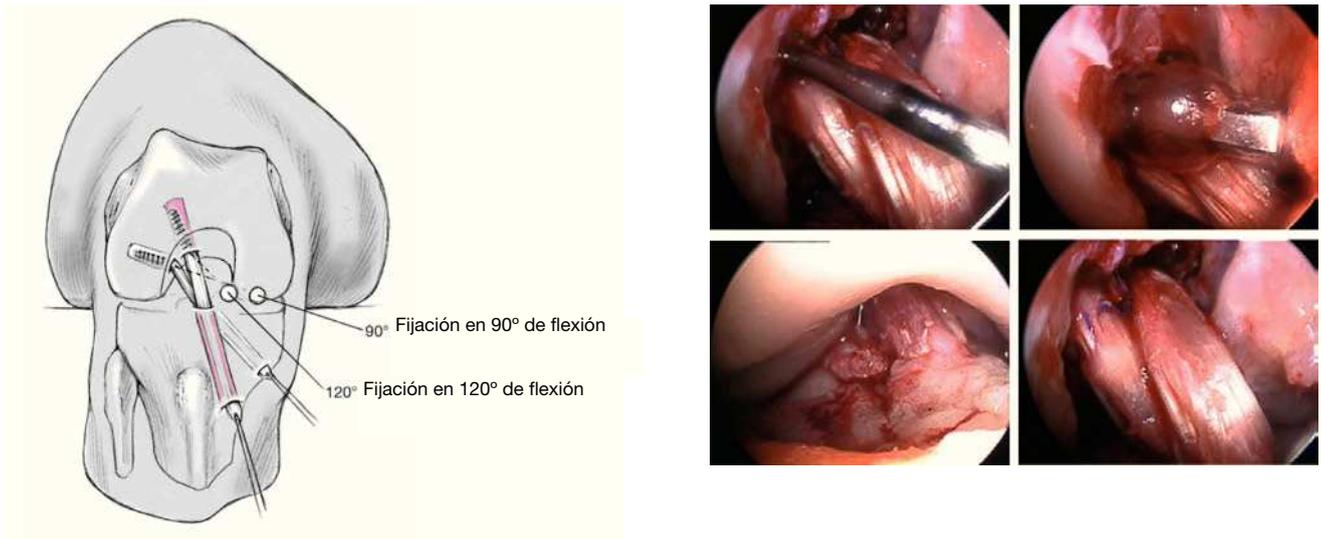




**Figura 4**

A 90° de flexión en el plano frontal, el túnel anteromedial debe estar a las 11 h (rodilla derecha) contiguo a la unión posterior hueso-cartilago. La guía femoral con un offset de 4 mm (gancho para medir la distancia) se inserta a través de la tibia por el túnel anteromedial y se fija en el borde posterior de la tróclea a las 11 h. Es importante asegurarse de que la rodilla esté a 90°

de flexión puesto que el lugar de inserción cambia según los grados de flexión. Si la tróclea es estrecha, puede flexionarse la rodilla a 120°. La guía femoral con un offset de 4 mm se introduce por el portal anteromedial. Se introduce a través de la guía femoral una aguja guía de 2,4 mm que atravesará la piel lateralmente, se sujetará con un mango de chuck. Manteniendo la rodilla en flexión, se realiza el túnel anteromedial de 25 mm de profundidad con una broca de 7 mm. Se eliminan las partículas óseas y se corrobora la integridad de la cortical posterior. Se introduce una sutura FiberWire doble, que servirá para pasar la plastia, como una lazada por los túneles tibial y femoral a medida que se retira la aguja guía. Se realiza un portal adicional, ligeramente medial al portal anteromedial, introduciendo una aguja espinal. A través de este portal debería ser fácil alcanzar el punto de inserción femoral que se desea, a las 9 h justo al lado del túnel anteromedial, sin que la aguja espinal se doblara debido al cóndilo femoral. Realización del segundo portal anteromedial, introducción de la guía femoral para la banda posterolateral con un offset de 4 mm, fijando el gancho de la guía en el margen anterior del túnel anteromedial. La aguja guía deberá colocarse a las 9.30 h (rodilla derecha), con la rodilla a 90° de flexión, y saldrá por el lateral de la pierna. Es importante que la aguja pase anterior al músculo bíceps femoral. Se realiza el túnel de 15 mm de profundidad con una broca de 5 mm. Se retira la aguja hacia arriba y se introduce una lazada de TigerWire por el túnel posterolateral tibial que saldrá por el lateral del muslo. Se eliminan los restos de tejido y se limpian los túneles.

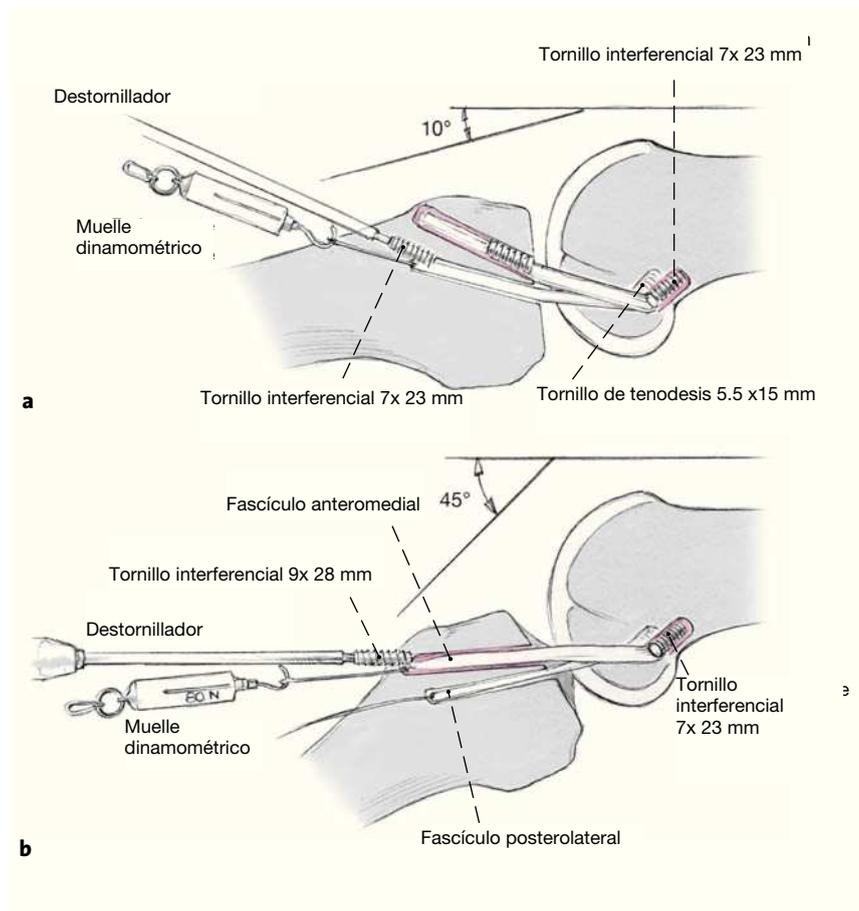


**Figura 5**

Se utiliza un instrumento para realizar una muesca en la parte anterosuperior de ambos túneles. La muesca facilita la introducción de la aguja guía de nitinol y asegura la correcta colocación de los tornillos. Se introduce el tendón del semitendinoso deslizándolo proximalmente mediante la lazada de FiberWire hasta una profundidad de 25 mm (longitud que se marca en el injerto). Se flexiona la rodilla al máximo, más allá de 120°, para que la colocación del tornillo sea paralela a la plastia. Se coloca una aguja guía de nitinol en el agujero de la tróclea y se introduce un tornillo interferencial reabsorbible de 7 x 23 mm. A continuación, se introduce la banda posterolateral (tendón del gracilis) hasta la marca realizada a 15 mm. Se introduce un tornillo reabsorbible de tenodesis de 5,5 x 15 mm por la aguja guía de nitinol a través del portal medial accesorio y a 90° de flexión. Se extiende y flexiona la rodilla 20 veces para ajustar la plastia.

**Figuras 6a y 6b**

Se tensa la banda posterolateral hasta 80 N utilizando un tensiómetro, y a 10° de flexión, se introduce un tornillo interferencial reabsorbible anterógrado de 7 x 23 mm (a). La banda anteromedial se tensa hasta 80 N de la misma manera, y a 45° de flexión, se introduce un tornillo interferencial reabsorbible anterógrado de 9 x 28 mm. Se comprueba por artroscopia la tensión del injerto mediante una sonda (b). Además, se revisa el platillo tibial para descartar la protusión intrarticular del tornillo. Cierre de la herida por planos de la incisión medial, procurar encarar la fascia profunda de la pierna. Se sutura la piel con material no reabsorbible con puntos verticales de colchonero. Se cierran los portales con sutura discontinua. No utilizamos de forma rutinaria drenajes.

**Consideraciones especiales**

- En los casos de inestabilidad rotacional residual tras una plastia de una sola banda colocada verticalmente, puede estar indicado el refuerzo con sólo la banda posterolateral. Es necesario asegurarse de que la rodilla es estable en el plano sagital y que la plastia primaria es suficientemente estable. La dificultad quirúrgica en este caso reside en realizar el túnel tibial sin lesionar el injerto primario. Se recomienda una disección cuidadosa, desde el lado lateral de la rodilla, y un fresado hasta lograr una visión clara de la inserción tibial. Es posible que la realización del nuevo túnel deba hacerse colo-

cando la aguja sin la ayuda de la guía, aunque pueda comprobarse con una guía de ligamento cruzado anterior.

- En los casos estándares de doble banda, una superficie de inserción del ligamento cruzado anterior ligeramente más amplia obliga a descartar el roce de la plastia a nivel intercondilar. La banda posterolateral se coloca más cerca del ligamento cruzado posterior que en la técnica de un solo túnel. La banda anteromedial debe ocupar cerca del 41% del diámetro máximo del platillo tibial más que el 43% propuesto por Stäubli y Rauschnig<sup>25</sup> porque la banda anteromedial, si se considera individualmente, está en una

posición ligeramente más anterior que la que registraron estos autores.

### Manejo postoperatorio

- Frío continuo con compresión (Cryocuff®).
- Programa de ejercicios de fisioterapia desde el primer día del postoperatorio incluyendo el tratamiento para reducir la inflamación y promover el movimiento. La rodilla puede flexionarse completamente y debería alcanzarse una flexión de 90° indolora en la primera semana del postoperatorio.
  - Carga parcial (20 kg durante 2 semanas), si no hay inflamación.
  - Profilaxis antitrombótica durante 2 semanas.
  - Si el patrón de la marcha es normal, se autoriza la marcha uniforme a las 8 semanas del postoperatorio.
  - Los deportes competitivos no están autorizados durante los 6 primeros meses del postoperatorio. La circunferencia de ambos muslos debería ser igual en este momento.
  - Los deportes de alto riesgo o de contacto no se recomiendan antes del 9.º mes del postoperatorio.

### Errores, riesgos, complicaciones

- Colapso de la pared posterior del túnel anteromedial femoral: si sólo está afectado el margen distal, puede realizarse la fijación planeada. Es posible introducir el tornillo más superiormente donde el hueso al cual fijarse está intacto. Si no se puede fijar firmemente el tornillo, debería utilizarse una técnica en suspensión (Endobutton).
- Lesión del paquete vasculo-nervioso posterior: si se sospecha una lesión por la posición de la aguja guía, debe soltarse el torniquete y confirmar la presencia de los pulsos de la arteria dorsalis pedis y de la tibialis posterior mediante ecoDoppler. Pueden ser necesarias la evaluación vascular y la angiografía.
- Pinzamiento intercondilar, limita la extensión debido al abultamiento de la plastia en el techo de la fosa intercondilar: si el túnel tibial se realizó demasiado anterior, es posible girar la banda anteromedial ligeramente hacia posterior mediante la extracción y recolocación del tornillo tibial hacia anterior para que la plastia se sitúe posterior al tornillo. La incorrecta posición de los túneles lateral y medial también pueden corregirse de esta manera. Otra opción a tener en cuenta en estos casos es la realización de una trocleoplastia elevando el techo troclear.

- Lesión del nervio perineal.
- Protusión intrarticular del tornillo tibial: se puede corregir este error retirando el tornillo bajo comprobación artroscópica.

### Resultados

Entre mayo del 2004 y junio del 2005, se ha tratado mediante la técnica presentada aquí a 19 pacientes (13 varones, 6 féminas) con ruptura aislada del ligamento cruzado anterior. Fue posible el seguimiento de todos los pacientes tras 21,3 meses como término medio (16-30) del postoperatorio. Edad media de los pacientes 31 años (18-48 años). En el seguimiento, la rodilla fue evaluada clínicamente con la escala de Lysholm<sup>17</sup>, la escala International Knee Documentation Committee<sup>11</sup> (IKDC), y con el KT-1000.

La puntuación preoperatoria de la escala de Lysholm mejoró de media de 65,2 (27-88) a 94,5 puntos (75-100 puntos). En el subgrupo de movilidad de la escala IKDC hubo 14 pacientes sin restricción de movimientos comparando con la extremidad contralateral y cinco pacientes con un déficit de extensión de 3 a 5° comparando con la hiperextensión del lado contralateral. En el subgrupo de estabilidad ligamentosa, 12 pacientes lograron muy buen resultado y 7 buen resultado, 2 de ellos con pivot shift positivo y 3 con Lachman a 25° de flexión > 3-5 mm.

El examen de estabilidad con el KT-1000 a 134 N reveló un incremento de 1,8 mm (-2 a 5 mm) comparado con la rodilla contralateral, y 1,9 mm (-2 a 6 mm) para el máximo manual. A 134 N de tensión, 3 pacientes presentaron una diferencia entre lados > 3-5 mm. El estudio con Resonancia Magnética no evidenció ni osteolisis ni ensanchamiento del túnel.

Los resultados iniciales de la técnica de doble banda son muy alentadores. La técnica de doble banda parece ser superior a la técnica de una banda ya en los resultados preliminares, en cuanto a estabilidad. También se ha obtenido evidencia de los beneficios de esta técnica en un estudio clínico<sup>29</sup>. No obstante, todavía se ha de confirmar que los resultados a largo plazo de la doble banda serán superiores a la de una banda<sup>12,15,21</sup>. Estudios comparativos a largo plazo pueden ser útiles para establecer los beneficios de la técnica de doble banda. Son necesarios más estudios de anatomía básica y biomecánica para el desarrollo de esta técnica, en concreto estudios sobre temas relacionados con la posición del túnel y con la tensión del injerto.

## Bibliografía

1. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Single- versus double-bundle multistranded ham-string tendons. *J Bone Joint Surg Br* 2004;86:515-20.
2. Aglietti P, Cuomo P, Giron F, et al. Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: surgical technique. *Oper Tech Orthop* 2005;15:111-5.
3. Aglietti P, Giron F, Cuomo P, et al. Single- and double-incision double-bundle ACL reconstruction. *Clin Orthop* 2007;454:108-13.
4. Ahn JH, Lee SH. Anterior cruciate ligament double-bundle reconstruction with hamstring tendon autografts. *Arthroscopy* 2007;23:109e1-4.
5. Amis AA, Dawkins GPC. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73:260-7.
6. Buoncristiani AM, Tjoumakaris FP, Starman JS, et al. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2006;22:1000-6.
7. Christel P, Franceschi JP, Sbihi A, et al. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: the French experience. *Oper Tech Orthop* 2005;15:103-10.
8. Dienst M, Burks RT, Greis PE. Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am* 2002;33:605-20, v.
9. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop* 1975;106:216-31.
10. Hamada M, Shino K, Horibe S, et al. Single- versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endobutton femoral fixation: a prospective study. *Arthroscopy* 2001;17:801-7.
11. Hefti F, Muller W, Jakob RP, et al. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993;1:226-34.
12. Jäger A, Kappler C, Welsch F. Vordere Kreuzbandplastik: Langzeitprognose. *Arthroscopie* 2005;18:53-9.
13. Jäger M, Wirth CJ. *Praxis der Orthopädie*. Stuttgart: Thieme, 1986.
14. Jarvela T. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:500-7.
15. Jomha NM, Borton DC, Clingeffer AJ, et al. Long term osteoarthritic changes in anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Clin Orthop* 1999;358:188-93.
16. Kim SJ, Jung KA, Song DH. Arthroscopic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous quadriceps tendon. *Arthroscopy* 2006;22:797e1-5.
17. Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 1982;10:150-4.
18. Marcacci M, Zaffagnini S, Marchesini L, et al. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction using the over-the-top passage of hamstring tendons. *Oper Tech Orthop* 2005;15:123-9.
19. Mott HW. Semitendinosus anatomic reconstruction for cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop* 1983;172:90-2.
20. Muneta T, Sekiya I, Yagishita K, et al. Two-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament using semitendinosus tendon with endobuttons: operative technique and preliminary results. *Arthroscopy* 1999;15:618-24.
21. Patel JV, Church JS, Hall AJ. Central third bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction: a 5-year follow-up. *Arthroscopy* 2000;16:67-70.
22. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop* 2007;454:35-47.
23. Shino K, Nakata K, Nakamura N, et al. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction using two double-looped hamstring tendon grafts via twin femoral and triple tibial tunnels. *Oper Tech Orthop* 2005;15:130-4.
24. Siebold R. Observations on bone tunnel enlargement after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2007;23:291-8.
25. Stäubli H, Rauschnig W. Tibial attachment area of the anterior cruciate ligament in the extended knee position. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994;2:138-46.
26. Steckel H, Starman JS, Baums MH, et al. Anatomy of the anterior cruciate ligament double bundle structure: a macroscopic evaluation. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:387-92.
27. Vidal AF, Brucker PU, Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using tibialis anterior tendon allografts. *Oper Tech Orthop* 2005;15:140-5.
28. Weber E, Weber W. *Mechanik der menschlichen Handwerkzeuge*. Göttingen: Dieterichsche Buchhandlung, 1836.
29. Yagi M, Kuroda R, Nagamune K, et al. Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability. *Clin Orthop* 2007;454:100-7.
30. Yagi M, Kuroda R, Yoshiya S, et al. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: the Japanese experience. *Oper Tech Orthop* 2005;15:116-22.
31. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, et al. Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2002;30:660-6.
32. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, et al. Surgical and biomechanical concepts of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Tech Orthop* 2005;15:96-102.
33. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, et al. Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy* 2006;22:240-51.
34. Zelle BA, Brucker PU, Feng MT, et al. Anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med* 2006;36:99-108.

## Correspondencia

Prof. Dr. Andreas B. Imhoff  
 Abteilung Sportorthopädie  
 Klinikum rechts der Isar  
 Technische Universität München  
 Connollystrasse 32  
 D-80809 München (Alemania)  
 Tel.: (+49/89) 289-24462; fax: -24484  
 Correo electrónico: a.imhoff@sportortho.de