



Monográfico de ligamento cruzado anterior

Límites de la osteotomía en la ligamentoplastia de cruzado anterior

D. Popescu¹, M. V. Pomenta²

¹Unidad de Rodilla. Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Clínic. Barcelona

²Unidad de Cirugía Artroscópica. Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Universitari General de Catalunya

Correspondencia:

Dr. Dragos Popescu

Correo electrónico: popescu@clinic.cat

Recibido el 3 de junio de 2019

Aceptado el 20 de mayo de 2020

Disponible en Internet: octubre de 2020

RESUMEN

La osteotomía tibial alta (OTA) de valguzación es un procedimiento utilizado con frecuencia para tratar la artrosis moderada del compartimento medial en pacientes jóvenes y activos. Su asociación a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA) en un solo tiempo es un procedimiento quirúrgico complejo. En pacientes con alineación en varo que presentan artrosis del compartimento medial (Ahlback I-III), inestabilidades del LCA o fallos de la RLCA, la cirugía concomitante de OTA y RLCA puede estar indicada. Con respecto a la OTA, la osteotomía de cierre lateral o de apertura medial son las que se realizan con más frecuencia; sin embargo, no hay evidencia que apoye la superioridad de un procedimiento sobre el otro. Por otra parte, se ha descrito que un aumento de la pendiente tibial posterior (PTP) mayor de 12° constituye un factor de riesgo para el fallo de la RLCA. Para disminuir la PTP, la osteotomía de deflexión es la más frecuentemente realizada.

Pocos estudios existen sobre la cirugía combinada de OTA y RLCA. Sin embargo, la mayoría de estos estudios informaron buenos resultados, con tasas de complicaciones similares a las de OTA o RLCA aisladas o en 2 tiempos.

Palabras clave: Osteotomía. Reconstrucción ligamento cruzado anterior. Ligamentoplastia. Inestabilidad rodilla. Genu varo. Pendiente tibial posterior.

ABSTRACT

Limits of the osteotomy in the anterior cruciate ligamentoplasty

High tibial osteotomy (HTO) is a procedure frequently used to treat a moderate medial compartment osteoarthritis in young and active patients. Simultaneous HTO surgery and anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) is a complex procedure. It is indicated in patients with varus associated with medial compartment osteoarthritis (Ahlback I-III), ACL rupture with symptomatic instability or ACLR failures. Regarding the HTO, the lateral closure or medial opening osteotomy are those that are performed more frequently, but there is no evidence to support the superiority of one procedure over the other. On the other hand, an increased posterior tibial slope (PTS) greater than 12° is a risk factor for the ACLR failure. To diminish the PTS, the deflection osteotomy is the most frequently performed. Only a few studies exist about simultaneous HTO and ACLR. However, most of these studies report good results, with complication rates similar to those of HTO or ACLR simultaneous or in stages.

Key words: Osteotomy. Anterior cruciate ligament reconstruction. Ligamentoplasty. Knee instability. Varus knee. Posterior tibial slope.



<https://doi.org/10.24129/j.reaca.27369.fs1906025>

© 2020 Fundación Española de Artroscopia. Publicado por Imaidea Interactiva en FONDOSCIENCE® (www.fondoscience.com). Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Introducción

La cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA) tiene una incidencia en aumento^(1,2), con una estimación de 200.000 RLCA anuales en los Estados Unidos⁽²⁾. En general, es un procedimiento fiable, ya que alrededor del 90% de los pacientes presentan una mejoría en la función después de la cirugía^(3,4). De la misma manera, el número de revisiones también ha ido en aumento, claramente determinado por el creciente número de lesiones e intervenciones. Varios factores han sido descritos como factores predisponentes para el fallo de una RLCA; entre ellos, las desalineaciones en el plano frontal y sagital de la rodilla.

Desalineación en el plano frontal

La desalineación en el plano frontal, en particular el varo de la rodilla, ha sido descrita como una causa potencial para el aumento de la tensión del LCA^(5,6). La desalineación en varo se define tradicionalmente como más de 3° de varo entre los ejes mecánicos del fémur y de la tibia⁽⁷⁾, o como un eje de carga que pasa medial al centro de la rodilla⁽⁸⁾. Los estudios en cadáver han demostrado que existen fuerzas de tensión mayores en el LCA cuando se aplica varo a una rodilla en extensión^(6,9-11). Además, varios estudios han identificado que aquellos pacientes con un *varus-thrust* que han sido sometidos a una RLCA tienen mayor probabilidad de fallos si la alineación en varo no se corrige en el momento de la reconstrucción^(5,6,12-14). Las roturas crónicas del LCA con alineación en varo también han sido descritas como un factor de riesgo para la progresión de las lesiones condrales y meniscales⁽¹⁵⁻¹⁷⁾.

El *varus-thrust* se refiere a una desalineación dinámica típicamente observada en las rodillas en varo, caracterizado por un empeoramiento abrupto del varo existente durante la fase de apoyo de la marcha y con un retorno a la alineación en varo inicial durante la fase de despegue de la marcha⁽¹⁸⁾. Van de Pol *et al.*⁽⁶⁾ realizaron un estudio con piezas cadavéricas y describieron los efectos del varo sobre la tensión del LCA y la apertura del compartimiento lateral en condiciones de carga axial. Los investigadores observaron que una rodilla con un varo importante (más de

10°), particularmente cuando se asociaba con un *varus-thrust*, producía tensiones en el LCA significativamente mayores en extensión y flexión de 10°. Los autores concluyeron que, bajo estas condiciones, se genera suficiente tensión en un injerto de LCA para provocar el fallo del mismo en una RLCA. En función de esto, aconsejaban realizar una osteotomía tibial alta (OTA) en pacientes con deficiencia del LCA y con alineación en varo y *varus-thrust* asociado. Noyes *et al.*⁽¹³⁾, en un estudio de 41 pacientes adultos jóvenes sometidos a RLCA, demostraron la eficacia de la OTA de valguización en pacientes con roturas crónicas de LCA y genu varo asociado. Los investigadores recomendaron la OTA para pacientes sintomáticos con inestabilidad y artrosis medial que deseaban volver a un nivel más alto de actividad. Los pacientes que se sometieron al procedimiento tuvieron una mejoría sintomática estadísticamente significativa y presentaron un alto nivel de satisfacción general (88%).

En un estudio realizado por Bonin *et al.*⁽¹⁹⁾, con 12 años de seguimiento, el 83% de los pacientes (25/30) que se habían sometido a una RLCA combinada con una OTA valguizante volvieron a niveles moderados, intensos o muy intensos de actividad deportiva. Además, radiológicamente observaron una baja tasa de progresión de la artrosis (17%) en estos pacientes.

En pacientes con una rodilla vara evidente, la evaluación preoperatoria debe incluir una exploración clínica de la marcha para determinar si está presente un *varus-thrust* o una hiperextensión. Como estudios radiológicos, deben realizarse: una telemetría para evaluar la alineación de las extremidades inferiores y una radiografía de tipo Schuss para evaluar el deterioro del compartimento femorotibial medial. Si bien los artículos iniciales sobre los resultados de la cirugía combinada han identificado una alta tasa de complicaciones^(13,20), los estudios más recientes han encontrado que los procedimientos simultáneos son eficaces y producen resultados satisfactorios en rodillas de doble varo con lesión asociada del LCA⁽²¹⁻²³⁾. Li *et al.*⁽²¹⁾, en una revisión sistemática sobre los resultados funcionales de la cirugía combinada, encontraron que un 85% de los pacientes tuvieron buenos resultados funcionales, con un retorno al deporte de entre el 35 y el 50%. En esta revisión, la complicación más frecuente señalada fue la trombosis venosa profunda.

Por lo tanto, las indicaciones para la OTA en rodillas con roturas de LCA y alineación en varo son la presencia de artrosis del compartimento medial o el *varus-thrust* asociado^(12,20,24). Esto generalmente ocurre en casos de lesiones crónicas del LCA o fallos en la reconstrucción primaria. El procedimiento no solo mejora los resultados clínicos, sino que la evidencia biomecánica sugiere que reduce el estrés en el injerto de LCA y disminuye la progresión de la artrosis.

Un aspecto que hay que tener en cuenta a la hora de realizar la osteotomía valguzante de tibia es la pendiente tibial posterior (PTP). Una PTP acentuada tiene una repercusión negativa sobre la tensión del injerto de LCA; por tanto, debemos evitar aumentar la PTP con la realización de la OTA⁽²⁵⁻²⁷⁾. Recientemente, en un estudio en cadáver, se ha demostrado que la OTA de cierre lateral tiene la ventaja de una corrección de la PTP más fiable que la OTA de apertura medial, además de determinar una traslación tibial anterior significativamente menor⁽²⁸⁾. Los autores sugieren que la OTA de cierre lateral mejora la cinemática y protege la plastia de LCA, recomendando este tipo de osteotomía para la cirugía combinada con RLCA. Otros autores muestran que la OTA de apertura medial tiende a aumentar la PTP⁽²⁹⁻³¹⁾. Finalmente, si se opta por realizar una OTA de apertura, Ducat *et al.*⁽²⁹⁾ recomiendan romper completamente la cortical posterior y realizar la apertura de la osteotomía a ese nivel, evitando así el aumento de la PTP.

Técnica quirúrgica

La cirugía tiene un tiempo inicial artroscópico que

permite tratar las lesiones meniscales y de cartílago, así como realizar el túnel femoral. Este tiempo artroscópico se puede efectuar según la técnica habitual de cada cirujano. El túnel tibial se realiza también bajo control artroscópico, pero después de la osteotomía.

Se marca sobre la piel la línea de incisión de 4-6 cm en la cara medial de la tibia proximal, aproximadamente 1,5 a 2 cm por debajo de la interlínea articular (**Figura 1A**). Una de las ventajas de esta osteotomía es que no precisa disecar e inestabilizar el ligamento colateral medial (LCM). El corte se realiza entre las dos inserciones del

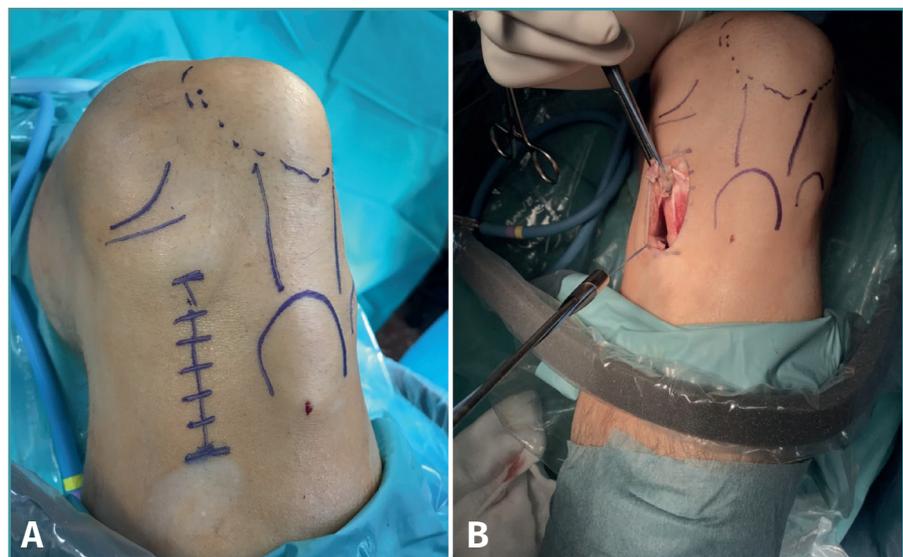


Figura 1. A: colocación del paciente con rodilla a 90° de flexión. Se marca la incisión de aproximadamente 4-6 cm que servirá para la extracción de los isquiotibiales y la osteotomía tibial alta; B: extracción de isquiotibiales para realizar la plastia.

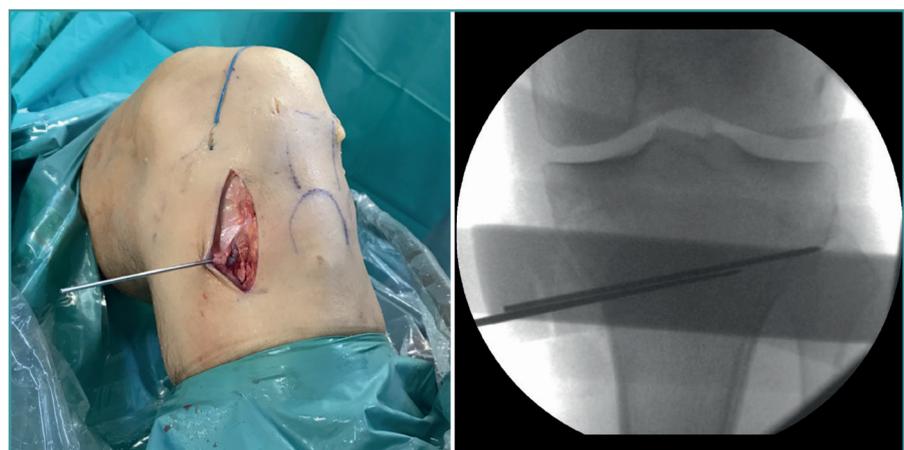


Figura 2. Colocación de aguja guía: punto de entrada en la unión metafisodiafisaria tibial dirigida hacia la cabeza del peroné.



Figura 3. Se marcan los cortes de la osteotomía biplanar con un ángulo de 120°.

LCM y la placa se coloca por encima de este ligamento. De esta manera, la rodilla sigue estable aunque se decida realizar una retirada de la placa una vez consolidada la osteotomía.

Una vez disecado el plano subcutáneo, se identifica la pata de ganso y se extraen los isquiotibiales según la técnica habitual de cada cirujano (Figura 1B). Bajo control radioscópico, se coloca la aguja guía aproximadamente medio centímetro por encima de la pata de ganso orientada hacia la cabeza del peroné, según la técnica clásica de osteotomía biplanar (Figura 2). Se marcan los cortes de la osteotomía biplanar y se realiza primero el corte vertical por encima de la tuberosidad tibial, con una inclinación de aproximadamente 120° respecto a la osteotomía de apertura llegando hasta la cortical lateral (Figura 3).

Posteriormente, bajo control radioscópico, se realiza la osteotomía apoyando la sierra por debajo de la aguja guía, llegando

hasta 1 cm de la cortical lateral. Se introducen los escoplos para abrir la osteotomía (Figura 4). El primer escoplo, el más ancho, se introduce primero para comprobar el corte completo de la cortical posterior. Seguidamente, se coloca el medidor del ángulo de apertura (Figura 5A) y, a continuación, se introduce el distractor en la parte posterior de la osteotomía, evitando así un aumento de la PTP (Figura 5B). En este momento, se puede introducir en la apertura de la osteotomía el aloinjerto o sustituto óseo. Los autores utilizan aloinjerto óseo cuando la apertura es mayor de 10°. Antes de colocar y fijar la placa de osteotomía, se realiza el túnel tibial utilizando las herramientas artroscópicas clásicas (Figuras 6A y 6B). Al realizar una osteotomía biplanar, el corte es suficientemente distal como para permitir brocar el túnel tibial de la RLCA sin dificultades.

Una vez hecho el túnel tibial, se introduce la plastia y se fija a nivel femoral y tibial (Figura 7). Si se utiliza una plastia de isquiotibiales, los autores recomiendan una fijación femoral cortical de suspensión regulable, dejando unos milímetros para el ajuste final después de la colocación de la placa de osteotomía. Una vez fijada la plastia, se procede a la colocación de la placa de osteotomía TomoFix® (Synthes, Oberdorf, Switzerland) para la tibia proximal medial (Figura 8). En la mayoría de los casos el tornillo más anterior coincide con el túnel tibial de RLCA, motivo por cual no se coloca (Figura 9).

Finalmente, se hace una comprobación artroscópica de la tensión de la plastia. En caso de ser necesario y si se utiliza la fijación femoral cortical de bucle ajustable, se puede retensar la plastia unos milímetros.



Figura 4. Colocación de escoplos de forma progresiva para realizar la apertura (una vez realizados los cortes con la sierra).

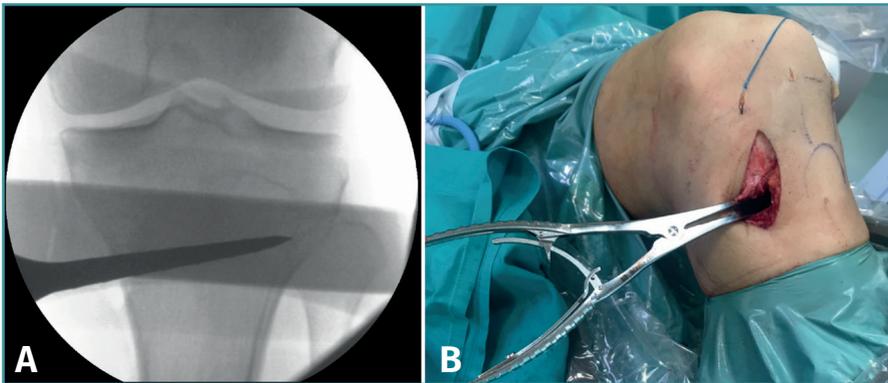


Figura 5. A: medición del ángulo de apertura de la osteotomía con el medidor; B: colocación del distractor en la parte posterior de la osteotomía, evitando así el aumento de la pendiente tibial posterior.

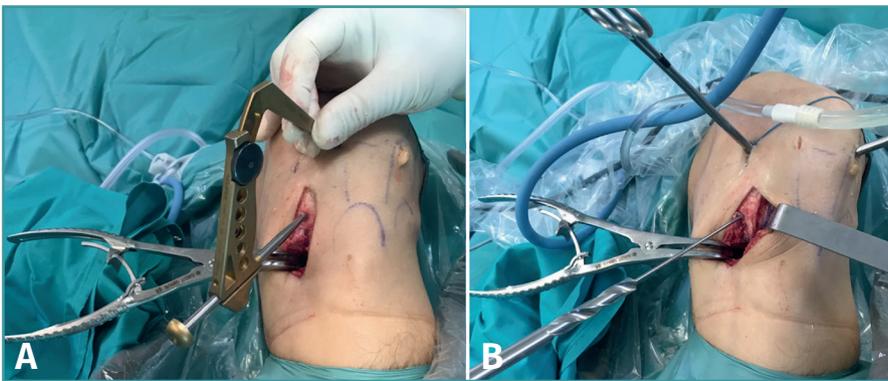


Figura 6. A: colocación de la aguja guía para realizar el túnel tibial; B: brocado del túnel tibial. Se observa el espacio metafisario suficiente para realizar el túnel tibial, sin interferencias con la osteotomía.



Figura 7. Introducción de la plastia a través del túnel tibial, manteniendo el distractor en posición.

Desalineación en el plano sagital

Uno de los factores de riesgo para la lesión del LCA que ha recibido reciente atención en la literatura es el aumento relativo en la PTP, que es el ángulo formado entre una línea perpendicular al eje mecánico de la tibia y la inclinación superior de la meseta tibial en el plano sagital (Figura 10). Numerosos estudios radiológicos han establecido una asociación entre una PTP elevada y el aumento del riesgo de lesión del LCA en adultos y población pediátrica^(27,32,33). Dejour *et al.*⁽²⁷⁾ informaron que por cada aumento de 10° en la PTP se puede esperar un aumento de 6 mm adicionales de traslación tibial anterior, tanto para el LCA intacto como para la rodilla con LCA insuficiente. Durante la carga axial, a través de la articulación tibiofemoral, las fuerzas verticales de corte se convierten en fuerzas de traslación tibial dirigidas anteriormente.

El LCA actúa como el restrictor principal para la traslación anterior de la tibia⁽³⁴⁾, de modo que, a medida que aumenta la PTP, se aplica una mayor fuerza al LCA (o injerto de RLCA) durante la carga funcional⁽³⁵⁻³⁷⁾.

Poco se ha escrito sobre los efectos de la PTP en la RLCA o revisiones. En un estudio de casos y controles de 40 pacientes que se habían sometido a una RLCA, Li *et al.*⁽³⁸⁾ demostraron que 20 pacientes con reconstrucciones fallidas tenían unas PTP significativamente mayores que sus contrapartes que experimentaron reconstrucciones exitosas. Su estudio demostró que una PTP medial mayor de 5° determinó una probabilidad de fallo de la RLCA con una *odds ratio* (OR) de 6,8 ($p = 0,007$), mientras que para la PTP lateral mayor de 5°, la OR fue de 10,8 ($p = 0,000$).



Figura 8. Colocación de la placa TomoFix® para la tibia proximal medial una vez fijada la plastia de ligamento cruzado anterior a nivel femoral y tibial.

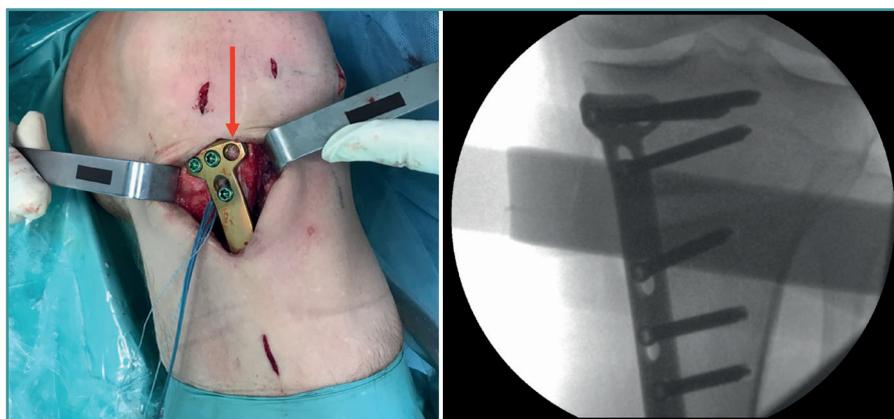


Figura 9. Fijación de la placa con tornillos. Se señala con la flecha la ausencia del tornillo más anterior, dada su coincidencia con el túnel tibial.



Figura 10. Radiografía de control a los 3 meses en proyecciones anteroposterior y lateral. En la proyección lateral se aprecia que no se modifica la pendiente tibial posterior tras la osteotomía tibial alta de apertura medial.

En una serie de 181 pacientes, Webb *et al.*⁽³⁹⁾ determinaron que los pacientes con una PTP mayor de 12° tenían una probabilidad 5 veces mayor de volver a sufrir una lesión después de la RLCA, con una tasa de lesión del 59% en su serie. Christensen *et al.*⁽⁴⁰⁾ validaron estos hallazgos en un estudio de casos y controles de 70 pacientes y encontraron que los pacientes con una PTP lateral mayor eran significativamente más propensos a tener fallos tempranos de RLCA.

La osteotomía de deflexión es un osteotomía de sustracción anterior a nivel de la tibia proximal con el propósito de disminuir la PTP. Dejour *et al.*⁽⁴¹⁾ evaluaron 9 pacientes que se sometieron a una segunda revisión de la cirugía del LCA combinada con osteotomía de deflexión tibial para corregir una PTP mayor de 12°; los pacientes mejoraron significativamente con un seguimiento mínimo de 2 años. Ningún paciente en su serie tuvo una rotura del injerto o inestabilidad recurrente; 7 de los 9 pacientes informaron una satisfacción buena o muy buena, con una mejoría significativa en las escalas funcionales.

Sonnery-Cottet *et al.*⁽⁴²⁾ informaron mejorías similares en la estabilidad y los resultados funcionales en una serie de 5 pacientes con una PTP media de 13,6° (rango: 13-14°) que

se sometieron a osteotomías de cierre anterior para corregir la PTP en el momento de la revisión de una RLCA, logrando una PTP media postoperatoria de 9,2° (rango: 8-10°).

Estos resultados, aunque limitados a pequeñas series de pacientes, indican que se debe considerar una osteotomía de deflexión en el contexto de una revisión de RLCA cuando se identifica una PTP mayor o igual a 12°. Magnussen *et al.*⁽⁴³⁾ recomendaron osteotomías de deflexión solo para pacientes con una pendiente de esta magnitud que además presenten una laxitud anterior crónica significativa, como lo demuestra el aumento de la traslación anterior de al menos 10 mm en relación con la rodilla contralateral en las radiografías de tipo TELOS.

Cantin *et al.*⁽⁴⁴⁾ afirmaron que, si bien una PTP incrementada puede justificar la consideración de una osteotomía de deflexión tibial, este procedimiento no debería realizarse en todos los casos de PTP incrementada, particularmente cuando se puede identificar otra fuente de fallo del injerto.

Estudios previos han destacado la eficacia y la seguridad de la OTA y la RLCA simultáneas^(19,23,45-47). Los resultados recientes^(41,42) indican que la osteotomía de deflexión se puede realizar de manera segura durante la revisión del LCA. Esto reduce la morbilidad inherente asociada a 2 cirugías y aborda simultáneamente todas las características anatómicas alteradas que puedan comprometer la reconstrucción. De momento, no parece tener un papel en la RLCA primaria, pero la presencia de una PTP mayor de 12° claramente aumenta el riesgo de fallo de esta plastia.

Técnica quirúrgica

Se describe la técnica de osteotomía de deflexión tibial mediante la sustracción de una cuña ósea anterior a nivel de la tibia proximal.

Se realiza un tiempo artroscópico inicial para tratar las lesiones meniscales y de cartilago, y para realizar el túnel femoral de la RLCA. El túnel tibial se realiza después de la osteotomía.

Se utiliza una incisión longitudinal anterior centrada o levemente medial a la tuberosidad tibial anterior (TTA). Primero se realiza una osteotomía de la TTA con un bloque óseo de 6 cm que se rebate hacia lateral permitiendo el acceso libre a la parte proximal de la tibia. La osteotomía de deflexión se realiza de acuerdo con el cálculo preoperatorio. Bajo el control fluoroscópico, se insertan 1 o 2 agujas guía desde la cortical anterior a la posterior de la tibia para marcar el sitio de la osteotomía, comenzando aproximadamente 3-4 cm distal a la interlínea articular, en dirección de la inserción del ligamento cruzado posterior (LCP) (**Figura 11A**). Mantener un puente óseo posterior intacto es fundamental para proteger las estructuras poplíteas y limitar el riesgo de desplazamiento secundario o pseudoartrosis (**Figura 11B**). El objetivo es obtener una PTP de entre 0 y 10° según la gravedad de la deformidad y la inestabilidad de la rodilla. La osteotomía de cierre anterior se fija con 2 grapas o 2 placas de epifisiodesis de tipo 8 colocadas en la parte medial y lateral con respecto a la TTA. La tuberosidad se vuelve a repositionar desplazándola distalmente con una cantidad igual al grosor del fragmento



Figura 11. Escopía intraoperatoria de una osteotomía de deflexión. A: colocación de aguja guía paralela a la pendiente tibial; B: extracción de la cuña anterior una vez realizada la osteotomía preservando un puente óseo posterior; C: fijación de la osteotomía de cierre anterior con 2 placas de epifisiodesis y de la tuberosidad tibial con 2 tornillos corticales.

óseo eliminado, para evitar el cambio postoperatorio de la altura patelar, y se fija con 2 tornillos corticales anteroposteriores: uno superior y otro inferior a la osteotomía (Figura 11C).

El túnel tibial para la revisión de la RLCA se perfora de forma estándar, evitando un posible conflicto con el material de osteosíntesis de la osteotomía.

Conclusión

La cirugía combinada de OTA y RLCA, tanto en el plano frontal como en el sagital, ofrece buenos resultados funcionales con poca morbilidad. Tanto la indicación quirúrgica como la precisión de la intervención son fundamentales para obtener una rodilla estable. Actualmente, existe mayor evidencia científica sobre las indicaciones y los resultados funcionales de la OTA valguzante respecto a la osteotomía de deflexión⁽⁴⁸⁾. Sin embargo, otros estudios serán necesarios para esclarecer estos aspectos.

Responsabilidades éticas

Conflicto de interés. Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiación. Este trabajo no ha sido financiado.

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

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

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

Bibliografía

1. Andernord D, Desai N, Björnsson H, Ylander M, Karlsson J, Samuelsson K. Patient predictors of early revision surgery after anterior cruciate ligament reconstruction: a cohort study of 16,930 patients with 2-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2015;43(1):121-7.
2. Gottlob CA, Baker CL, Pellissier JM, Colvin L. Cost effectiveness of anterior cruciate ligament reconstruction in young adults. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(367):272-82.
3. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med.* 2011;45(7):596-606.
4. Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):2-11.
5. Naudie DDR, Amendola A, Fowler PJ. Opening wedge high tibial osteotomy for symptomatic hyperextension-varus thrust. *Am J Sports Med.* 2004;32(1):60-70.
6. Van de Pol GJ, Arnold MP, Verdonschot N, van Kampen A. Varus alignment leads to increased forces in the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2009;37(3):481-7.
7. Bellemans J, Colyn W, Vandenuecker H, Victor J. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(1):45-53.
8. Dugdale TW, Noyes FR, Styer D. Preoperative planning for high tibial osteotomy: the effect of lateral tibiofemoral separation and tibiofemoral length. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;(274):248-64.
9. Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slauterbeck JL. Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res.* 1995;13(6):930-5.
10. Markolf KL, Gorek JF, Kabo JM, Shapiro MS. Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament: an in vitro study performed with a new experimental technique. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72(4):557-67.
11. Miyasaka T, Matsumoto H, Suda Y, Otani T, Toyama Y. Coordination of the anterior and posterior cruciate ligaments in constraining the varus-valgus and internal-external rotatory instability of the knee. *J Orthop Sci.* 2002;7(3):348-53.
12. Kim SJ, Moon HK, Chun YM, Chang WH, Kim SG. Is correctional osteotomy crucial in primary varus knees undergoing anterior cruciate ligament reconstruction? *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(5):1421-6.
13. Noyes FR, Barber-Westin SD, Roberts CS. Use of allografts after failed treatment of rupture of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1994;76(7):1019-31.
14. Noyes FR, Schipplein OD, Andriacchi TP, Saddemi SR, Weise M. The anterior cruciate ligament-deficient knee with varus alignment: an analysis of gait adaptations and dynamic joint loadings. *Am J Sports Med.* 1992;20(6):707-16.

15. Gillquist J, Messner K. Anterior cruciate ligament reconstruction and the long-term incidence of gonarthrosis. *Sports Med.* 1999;27(3):143-56.
16. Keene GCR, Bickerstaff D, Rae PJ, Paterson RS. The natural history of meniscal tears in anterior cruciate ligament insufficiency. *Am J Sports Med.* 1993;21(5):672-9.
17. Tandogan RN, Taşer O, Kayaalp A, Taşkiran E, Pinar H, et al. Analysis of meniscal and chondral lesions accompanying anterior cruciate ligament tears: relationship with age, time from injury, and level of sport. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;12(4):262-70.
18. Chang A, Hayes K, Dunlop D, Hurwitz D, Song J, Cahue S, et al. Thrust during ambulation and the progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2004;50(12): 3897-903.
19. Bonin N, Ait Si Selmi T, Donell ST, Dejour H, Neyret P. Anterior cruciate reconstruction combined with valgus upper tibial osteotomy: 12 years follow-up. *Knee.* 2004;11(6):431-7.
20. Lattermann C, Jakob RP. High tibial osteotomy alone or combined with ligament reconstruction in anterior cruciate ligament-deficient knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996;4(1):32-8.
21. Li Y, Zhang H, Zhang J, Li X, Song G, Feng H. Clinical outcome of simultaneous high tibial osteotomy and anterior cruciate ligament reconstruction for medial compartment osteoarthritis in young patients with anterior cruciate ligament-deficient knees: a systematic review. *Arthroscopy.* 2015;31(3):507-19.
22. Savarese E, Bisicchia S, Romeo R, Amendola A. Role of high tibial osteotomy in chronic injuries of posterior cruciate ligament and posterolateral corner. *J Orthop Traumatol.* 2011;12(1):1-17.
23. Zaffagnini S, Bonanzinga T, Grassi A, Marcheggiani Muccioli GM, Musiani C, Raggi F, et al. Combined ACL reconstruction and closing-wedge HTO for varus angulated ACL-deficient knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(4):934-41.
24. Amendola A. Unicompartmental osteoarthritis in the active patient: the role of high tibial osteotomy. *Arthroscopy.* 2003;19(Suppl 1):109-16.
25. Dare DM, Fabricant PD, McCarthy MM, Rebolledo BJ, Green DW, Cordasco FA, Jones KJ. Increased lateral tibial slope is a risk factor for pediatric anterior cruciate ligament injury: an MRI-based case-control study of 152 patients. *Am J Sports Med.* 2015;43(7):1632-9.
26. Dejour D, Saffarini M, Demey G, Baverel L. Tibial slope correction combined with second revision ACL produces good knee stability and prevents graft rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(10):2846-52.
27. Dejour H, Bonnin M. Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture: two radiological tests compared. *Bone Joint J.* 1994;76-B(5):745-9.
28. Ranawat AS, Nwachukwu BU, Pearle AD, Zuiderbaan HA, Weeks KD, Khamaisy S. Comparison of lateral closing-wedge versus medial opening-wedge high tibial osteotomy on knee joint alignment and kinematics in the ACL-deficient knee. *Am J Sports Med.* 2016;44(12):3103-10.
29. Feucht MJ, Mauro CS, Brucker PU, Imhoff AB, Hinterwimmer S. The role of the tibial slope in sustaining and treating anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):134-45.
30. Marti CB, Gautier E, Wachtl SW, Jakob RP. Accuracy of frontal and sagittal plane correction in open-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy.* 2004;20(4):366-72.
31. Sterett WI, Miller BS, Joseph TA, Rich VJ, Bain EM. Posterior tibial slope after medial opening wedge high tibial osteotomy of the varus degenerative knee. *J Knee Surg.* 2009;22(1):13-6.
32. Brandon ML, Haynes PT, Bonamo JR, Flynn MI, Barrett GR, Sherman MF. The association between posterior-inferior tibial slope and anterior cruciate ligament insufficiency. *Arthroscopy.* 2006;22(8):894-9.
33. Sonnerly-Cottet B, Archbold P, Cucurulo T, Fayard JM, Bortolletto J, Thaunat M, et al. The influence of the tibial slope and the size of the intercondylar notch on rupture of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(11):1475-8.
34. Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee: a biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(2):259-70.
35. Marouane H, Shirazi-Adl A, Adouni M, Hashemi J. Steeper posterior tibial slope markedly increases ACL force in both active gait and passive knee joint under compression. *J Biomech.* 2014;47(6):1353-9.
36. Shao Q, MacLeod TD, Manal K, Buchanan TS. Estimation of ligament loading and anterior tibial translation in healthy and ACL-deficient knees during gait and the influence of increasing tibial slope using EMG-driven approach. *Ann Biomed Eng.* 2011;39(1):110-21.
37. Shelburne KB, Kim HJ, Sterett WI, Pandy MG. Effect of posterior tibial slope on knee biomechanics during functional activity. *J Orthop Res.* 2011;29(2):223-31.
38. Li Y, Hong L, Feng H, Wang Q, Zhang H, Song G. Are failures of anterior cruciate ligament reconstruction associated with steep posterior tibial slopes? A case control study. *Chin Med J (Engl).* 2014;127(14):2649-53.
39. Webb JM, Salmon LJ, Leclerc E, Pinczewski LA, Roe JP. Posterior tibial slope and further anterior cruciate lig-

- ament injuries in the anterior cruciate ligament-reconstructed patient. *Am J Sports Med.* 2013;41(12):2800-4.
40. Christensen JJ, Krych AJ, Engasser WM, Vanhees MK, Collins MS, Dahm DL. Lateral tibial posterior slope is increased in patients with early graft failure after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2015;43(10):2510-4.
 41. Dejour D, Saffarini M, Demey G, Baverel L. Tibial slope correction combined with second revision ACL produces good knee stability and prevents graft rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(10):2846-52.
 42. Sonnery-Cottet B, Mogos S, Thaunat M, Archbold P, Fayard JM, Freychet B, et al. Proximal tibial anterior closing wedge osteotomy in repeat revision of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2014;42(8):1873-80.
 43. Magnussen RA, Dahm DL, Neyret P. Osteotomy for slope correction following failed ACL reconstruction. En: Marx RG (ed.) *Revision ACL Reconstruction.* New York, NY: Springer; 2014. pp. 221-6.
 44. Cantin O, Magnussen RA, Corbi F, Servien E, Neyret P, Lustig S. The role of high tibial osteotomy in the treatment of knee laxity: a comprehensive review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(10):3026-37.
 45. Noyes FR, Barber SD, Simon R. High tibial osteotomy and ligament reconstruction in varus angulated, anterior cruciate ligament-deficient knees: a two-to-seven-year follow-up study. *Am J Sports Med.* 1993;21(1):2-12.
 46. Trojani C, Elhor H, Carles M, Boileau P. Anterior cruciate ligament reconstruction combined with valgus high tibial osteotomy allows return to sports. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(2):209-12.
 47. Imhoff FB, Mehl J, Comer BJ, Obopilwe E, Cote MP, Feucht MJ, et al. Slope-reducing tibial osteotomy decreases ACL-graft forces and anterior tibial translation under axial load. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019 Oct;27(10):3381-9.
 48. Cantivalli A, Rosso F, Bonasia DE, Rossi R. High Tibial Osteotomy and Anterior Cruciate Ligament Reconstruction/Revision. *Clin Sports Med.* 2019 Jul;38(3):417-33.