

ORIGINAL

Valoración de la apertura del túnel tibial tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior empleando isquiotibiales autógenos: Estudio comparativo entre la técnica de portal anteromedial y la técnica transtibial convencional



J. Silberberg Muiño^{a,*}, A. Nilo Fulvi^b, G. Vera^b, J.L. Gutiérrez García^b,
M. Giménez Salvay^c, M. Maroa Salvucci^b y A. Ruiz Ollero^d

^a Clínica Universidad de Navarra, Madrid, España

^b IMDOR-Instituto de Medicina del Deporte y Ortopedia, España

^c IMDOR-Instituto de Medicina del Deporte y Ortopedia, Argentina

^d Hospital Universitario de Torrejón, Madrid, España

Recibido el 30 de abril de 2017; aceptado el 26 de noviembre de 2017

Disponible en Internet el 21 de marzo de 2018

PALABRAS CLAVE

Reconstrucción del
ligamento cruzado
anterior;
Isquiotibiales;
Ensanchamiento del
túnel;
Túnel tibial;
Túnel femoral;
Autoinjerto

Resumen

Objetivo: Evaluar el diámetro de la emergencia del túnel tibial con relación a la técnica de reconstrucción del ligamento cruzado anterior, empleando isquiotibiales autógenos, y comparar las técnicas a través del portal anteromedial (PAM) y la convencional transtibial (TT).

Métodos: Estudio prospectivo, aleatorizado y comparativo de 36 pacientes diagnosticados con insuficiencia del ligamento cruzado anterior, intervenidos en forma sucesiva mediante reconstrucción primaria, con las técnicas de reconstrucción a través de PAM (16 pacientes) y la TT convencional (20 pacientes) con isquiotibiales autógenos. Todos los pacientes fueron evaluados radiológicamente, con valoración del diámetro de emergencia tibial en los planos anteroposterior y lateral a las 6 semanas y a los 12 meses del procedimiento quirúrgico respecto al tamaño de la plastia utilizada en la cirugía. Se realizó un análisis estadístico comparando ambos grupos mediante la t de Student con un valor de significación de 0,05.

Resultados: El diámetro de la emergencia tibial con relación al tamaño de la plastia utilizada, obtenido a las 6 semanas en la proyección anteroposterior, manifestó un incremento del $8,1\% \pm 2,9$ con la técnica PAM y del $21,20\% \pm 11,87$ con la técnica TT, mientras que en la proyección lateral fue de $71\% \pm 4,72$ y del $17,64\% \pm 11,48$, respectivamente. Las diferencias fueron estadísticamente significativas tanto en el plano anteroposterior como en el lateral.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jsilberberg@unav.es (J. Silberberg Muiño).

Conclusiones: El diámetro de la apertura tibial mostró ser significativamente mayor con la técnica TT a las 6 semanas y a los 12 meses de seguimiento radiológico tanto en la proyección anteroposterior como en la lateral.

© 2017 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Anterior cruciate ligament reconstruction;
Hamstrings;
Tunnel widening;
Femoral tunnel;
Tibial tunnel;
Autografts

Tibial tunnel widening associated with anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous hamstrings: A comparison between antero-medial portal and transtibial techniques

Abstract

Objective: Evaluate the enlargement effect of the tibial tunnel emergence of 2 different of anterior cruciate ligament reconstruction techniques: antero-medial portal (AMP) vs. transtibial (TT) technique.

Methods: A prospective, randomized controlled study was performed in 36 consecutive patients who underwent anterior cruciate ligament reconstruction with autologous hamstring tendon grafts employing the AMP and conventional TT techniques. Lateral and antero-posterior radiographs were obtained for each patient at 6 weeks and 12 months postoperatively. The sclerotic margins of the tibial tunnels were measured at the widest dimension of the tunnel as well as the diameter of the tibial emergence and were compared with the initially drilled tunnel size after correction for radiographic magnification. Statistical analysis was performed to compare the 2 groups by use of the independent-samples *t* test, with significance set at .05.

Results: The mean percentage increase in the diameter of tibial tunnel emergence at 6 weeks after surgery was $8.1\% \pm 2.9$ for the PAM technique and $21.20\% \pm 11.87$ for the TT technique on the anteroposterior x-ray view. However, the mean percentage increase in the diameter of the tibial tunnel emergence on the lateral view was $7.1\% \pm 4.72$ for the medial portal technique and $17.64\% \pm 11.48$ for the transtibial technique. This difference was statistically significant on both anteroposterior and lateral views.

Conclusions: The diameter of the tibial tunnel emergence for hamstring autologous anterior cruciate ligament reconstructions was significantly lower for the medial portal technique when compared with the conventional TT technique.

© 2017 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Son numerosos los estudios que avalan la eficacia de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) en restablecer la cinemática y función articular normal de la rodilla¹⁻³.

Aun así, la reconstrucción monofascicular transtibial parece no restablecer completamente la estabilidad articular, ya que generaría una estabilidad en el plano sagital (anteroposterior), pero no permitiría conseguir la estabilidad rotacional^{4,5}.

Con la finalidad de reproducir la anatomía y restablecer la estabilidad del componente rotacional de la rodilla, surgen las técnicas de reconstrucción anatómicas a través de un portal independiente, como la del portal anteromedial (PAM). A pesar de los numerosos estudios que demuestran las ventajas de una reconstrucción empleando un portal independiente^{6,7}, existen publicaciones que evalúan los resultados clínicos entre las técnicas del PAM y transtibial (TT) convencional y demuestran que no se evidencia una diferencia significativa entre ellas^{8,9}.

En la actualidad, aún existe controversia en cuanto a la técnica de reconstrucción y el método de fijación. Cuando se

emplean injertos de partes blandas, la fijación próxima a la interlínea articular parece presentar una mayor rigidez y una reducción en la incidencia de la expansión de los túneles¹⁰⁻¹².

Las causas del ensanchamiento de los túneles óseos tras la reconstrucción del LCA son multifactoriales, con los factores mecánicos y biológicos como los más implicados. El ensanchamiento de los túneles ocurre en el período postoperatorio inmediato, seguido por un gradual incremento con el paso de las semanas o meses^{13,14}. A pesar de ello, no hay una correlación entre el grado de ensanchamiento del túnel tibial y los resultados clínicos tras la reconstrucción del LCA¹⁵⁻¹⁸.

Sin embargo, el ensanchamiento de los túneles genera una cirugía de revisión más demandante, lo que implica que, en los casos de ensanchamientos severos, la reconstrucción deba realizarse en 2 etapas.

El objetivo de este trabajo es evaluar el incremento del diámetro en la emergencia del túnel tibial tras la reconstrucción con isquiotibiales del LCA, con la técnica de PAM y la técnica TT convencional, con relación al diámetro de la plastia empleada en el procedimiento quirúrgico en el postoperatorio inmediato a las 6 semanas y a los 12 meses de seguimiento.

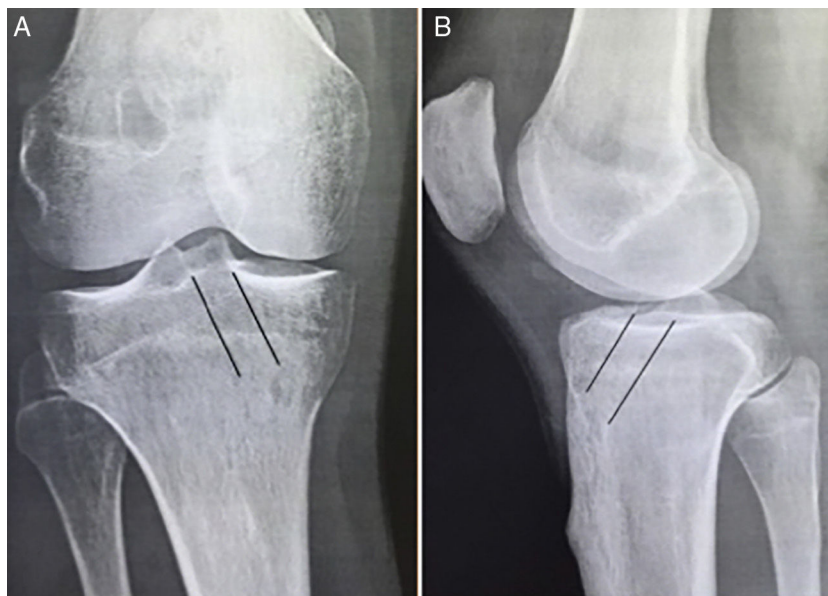


Figura 1 Medición de los márgenes escleróticos del túnel tibial. A) En el plano anteroposterior. B) En el plano lateral.

Materiales y métodos

Este estudio prospectivo, aleatorizado y comparativo está fundamentado en 36 pacientes diagnosticados de insuficiencia del LCA, quienes han sido tratados en forma consecutiva mediante reconstrucción primaria del LCA con autoinjerto de isquiotibiales. Los pacientes fueron intervenidos en el período comprendido entre julio del 2012 y julio del 2013. Todos los procedimientos quirúrgicos fueron realizados por el mismo cirujano (JS). Se recopilaron los siguientes datos: mecanismo lesional e, intraoperatoriamente, se incluyeron: diámetro del injerto empleado, diámetro del fresado del túnel tibial, tipo de fijación femoral como así también, el tornillo de interferencia tibial empleado.

Diseño del estudio

Los pacientes que fueron intervenidos mediante reconstrucción primaria de LCA con técnica de isquiotibiales autógenos participaron en este estudio con un seguimiento mínimo de 2 años.

Como criterios de inclusión, solo fueron incluidos pacientes con lesión de LCA intervenidos mediante plastia con autoinjerto de isquiotibiales. Los criterios de exclusión fueron: 1) Pacientes con evidencia de artrosis radiológica a la hora de la reconstrucción del LCA. 2) Pacientes con historia previa de reconstrucción de LCA. 3) Lesiones ligamentarias asociadas (LCL, LCM o LCP) al momento de la reconstrucción y 4) presencia de genu recurvatum (por considerarlo como un criterio de hiperlaxitud).

Los pacientes fueron distribuidos en forma aleatoria y divididos en 2 grupos según la técnica quirúrgica empleada. El primer grupo estuvo constituido por 16 pacientes, a los que se les realizó la reconstrucción anatómica del LCA empleando la técnica PAM y fijación femoral cortical. Los del segundo grupo, constituido por 20 pacientes, fueron

intervenidos mediante la técnica convencional TT con fijación transversal femoral.

El mismo protocolo de rehabilitación fue empleado en ambos grupos. Una rodillera graduada fue utilizada en las 6 semanas posteriores al procedimiento quirúrgico en todos los pacientes. A partir del séptimo día de postoperatorio se puso énfasis en lograr una extensión completa y en hacer ejercicios isométricos de cuádriceps, mientras que la flexión fue progresiva, hasta completar los 90° a las 4 semanas. A partir de este momento, hubo un incremento progresivo hasta el retiro de la rodillera. El apoyo se inició gradualmente asistido con muletas a partir de la segunda semana, mientras que la marcha independiente se inició a partir de la 6.ª semana. Ejercicios de propiocepción, tono cuadriceps y restablecimiento de la marcha se iniciaron a partir de la 8.ª semana. La actividad deportiva recreacional se inició a partir del 4.º mes, mientras que la actividad deportiva competitiva se autorizó a partir del 8.º mes.

Valoración radiológica

Todos los pacientes fueron valorados mediante una radiografía en proyección anteroposterior (AP) tomada en máxima extensión, donde la rótula estuviese localizada en el centro del extremo distal del fémur y la cabeza del peroné estuviese parcialmente oculta por el extremo proximal tibial¹⁹, y otra en proyección lateral (Lat), con la rodilla flexionada aproximadamente a 30°, apreciando la superposición de los cóndilos femorales.

En ambas proyecciones, las líneas escleróticas del túnel tibial fueron demarcadas, al igual que el diámetro de emergencia tibial. Ambas marcaciones fueron realizadas por un médico radiólogo (ARO) y por un cirujano de rodilla (JS). El método de evaluación radiográfica del diámetro de emergencia del túnel tibial se realizó mediante la radiología digital (fig. 1).

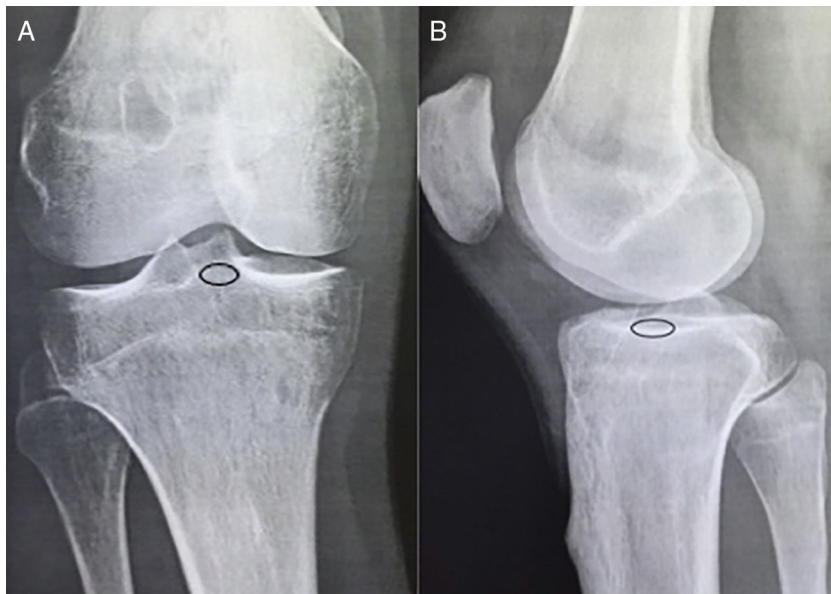


Figura 2 Evaluación de la expansión de la emergencia tibial: A - Radiografía en proyección antero-posterior; B - Proyección lateral. AP: radiografía anteroposterior; Lat.: radiografía lateral; TT: técnica transtibial.

Se realizaron controles radiológicos a las 6 semanas y a los 12 meses tras el procedimiento quirúrgico para evaluar el diámetro de emergencia del túnel tibial. El método de evaluación radiográfica del grado de emergencia del túnel tibial fue la radiología digital. El porcentaje promedio del ensanchamiento de la emergencia tibial surge de la relación del diámetro de la emergencia tibial obtenido a las 6 semanas y al año del procedimiento quirúrgico con el diámetro de la plastia reconstruida (fig. 2).

Injerto empleado

En todas las reconstrucciones se emplearon los tendones de isquiotibiales autógenos, con configuración en 4 fascículos con sus extremos independientes.

El diámetro de los injertos autógenos fue similar en ambos grupos ($p < 0,005$). En el grupo I (PAM), el diámetro promedio del injerto fue de 8,14 mm (rango 7-9) en los varones y 7,66 mm (rango 7-8) en las mujeres, mientras que en grupo II (TT) fue de 8,18 mm (rango 7-9) en varones y 7,22 mm (rango 7-8) en las mujeres.

Método estadístico

El diámetro de emergencia tibial en los planos anteroposterior y lateral fue comparado en ambos grupos mediante pruebas independientes con la *t* Student, teniendo con parámetro 0,05. A su vez, la variabilidad interobservador fue determinada mediante la escala de coeficiente de correlación entre mediciones.

Resultados

El estudio estuvo constituido por 18 pacientes de sexo masculino y 18 del sexo femenino. La edad media fue de 26,4 años (rango 14-49 años). El intervalo medio desde la

| Variables | AM ACL | TT ACL |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| No. Ptes | 16 | 20 |
| Seguimiento Clínico (m) | 26 (17-43) | 28 (19-48) |
| Edad (años) | 27.4 (14-48) | 28.1 (16-49) |
| Sexo | | |
| Hombre | 7 (43,75%) | 11 (55%) |
| Mujer | 9 (56,25%) | 9 (45%) |
| Lado | | |
| Derecha | 10 (62,5%) | 13 (65%) |
| Izquierda | 6 (37,5%) | 7 (35%) |
| Lesión | | |
| Aislada | 5 (31,25%) | 7 (35%) |
| Lesiones Asociadas | 11 (68,75%) | 13 (65%) |
| Diámetro del Injerto | | |
| Isquiotibiales Autólogos | | |
| Hombre | 8.14 (7-9) | 8.18 (7-9) |
| Mujer | 7.66 (7-8) | 7.22 (7-8) |

Figura 3 Distribución demográfica.

AM ACL: reconstrucción de ligamento cruzado anterior por el portal anteromedial; No. Ptes: número de pacientes; TT ACL: reconstrucción de ligamento cruzado anterior mediante técnica transtibial.

lesión hasta el procedimiento quirúrgico fue de 3,9 meses (rango 2-14 meses). El lado derecho estuvo involucrado en 23/36 casos (64%), mientras que las lesiones meniscales y condrales asociadas estuvieron presentes en 24/36 casos (67%). La distribución demográfica se resume en la figura 3.

No hubo diferencia significativa respecto a la edad media y distribución por sexo a la hora de comparar ambas técnicas quirúrgicas ($p < 0,51$ y $p < 0,530$, respectivamente).

En todos los casos, los márgenes esclerosos del túnel y su emergencia tibial (fig. 4) estuvieron presentes y bien definidos tanto en las proyecciones radiológicas anteroposteriores como lateral. El diámetro de emergencia fue significativamente menor en la técnica de reconstrucción a través del PAM presentando un incremento en el diámetro de la

| | Incremento en % | | Valor P |
|----------------------------|-----------------|----------------|---------|
| | AM | TT | |
| Diámetro de la Plastia | 7,7 mm | 7,9 mm | |
| Diámetro Emergencia Tibial | | | |
| AP 6 sem | 8.1% ± 2,9 | 21.20% ± 11,87 | .001 |
| AP 12 m | 8.3% ± 3,3 | 22.10% ± 12,61 | .001 |
| Lat 6 sem | 7.1% ± 4,72 | 17.64% ± 11,48 | .023 |
| Lat 12 m | 7.4% ± 5,25 | 18,09% ± 11,68 | .001 |

Figura 4 Obtención del diámetro de emergencia del túnel tibial mediante digitalización de la imagen. A) Diámetro obtenido en el plano anteroposterior. B) Diámetro obtenido en el plano lateral.

emergencia tibial en las proyecciones AP a las 6 semanas del 8.1% y a los 12 meses del 8.3%) y en la proyección lateral a las 6 semanas del 7.1% y a los 12 meses del 7.4, mientras que en la técnica TT en la proyección AP a las 6 semanas fue del 21.20% y a los 12 meses del 22.10%, mientras que en la proyección lateral fue del 17.54% a las 6 semanas y del 18.09% a los 12 meses (p 0,001 y p 0,001, respectivamente).

La variabilidad interobservador al valorar la emergencia del túnel tibial fue excelente, con un coeficiente de 0,77 y 0,80 para las proyecciones en anteroposterior y lateral, respectivamente.

Discusión

Nuestros resultados muestran que el incremento del diámetro de la apertura tibial es significativamente menor con la técnica anatómica a través de PAM tanto en el postoperatorio inmediato como al año del seguimiento en ambos planos, anteroposterior y lateral.

Con el objetivo de restablecer un mejor posicionamiento del túnel tibial y reproducción de la huella anatómica de la inserción femoral del LCA, han sido descritas nuevas modificaciones en la reconstrucción con técnica TT del LCA. Howell et al.²⁰ demostraron la importancia de la horizontalidad en el plano coronal del túnel tibial para lograr la adecuada oblicuidad del injerto. Por otro lado, Chhabra et al.²¹ analizaron el punto de inicio del túnel tibial para obtener la oblicuidad necesaria del túnel. En cuanto a la huella femoral con la técnica TT, Lee et al.²², en 2014, modificaron esta técnica mediante una maniobra que combina traslación anterior, varo y rotación externa tibial, con el objetivo de obtener un posicionamiento más inferior y posterior en la pared medial del cóndilo lateral.

Durante la técnica TT, con el afán de reproducir una orientación más anatómica de la tunelización femoral, se provoca un brocado excéntrico tibial generando un diámetro de emergencia tibial mayor al del tibial inicial. Este detalle técnico podría explicar la diferencia significativa encontrada en el aumento del diámetro del túnel tibial con la técnica TT (21,20 y 17,64% en proyección anteroposterior y lateral, respectivamente) en comparación con la técnica PAM (8,1 y 7,1% en proyección anteroposterior y lateral, respectivamente) a las 6 semanas de control radiográfico en este estudio. Consideramos que este hallazgo estuvo presente desde el postoperatorio inmediato con relación a los detalles técnicos propios de la técnica TT y

no con relación a la inestabilidad temprana. Bedi et al.²³ reportaron un aumento (38%) similar al encontrado en nuestro estudio en el diámetro anteroposterior del túnel tibial con la técnica TT en comparación con la técnica con PAM.

Durante los controles radiográficos al año de seguimiento, encontramos un aumento progresivo en el diámetro de la apertura tibial en ambas técnicas, que fue significativamente mayor en la proyección lateral con la técnica TT que con la técnica de PAM. Ayala-Mejias et al.¹⁴ demostraron una progresión en la expansión del túnel tibial en su serie con seguimiento mínimo a 10 años, y encontraron una relación directa entre la verticalidad y la expansión progresiva del túnel tibial. El autor postula que un túnel tibial cerca de una posición de 90° en el plano coronal genera un mayor estrés de la plastia y un progresivo ensanchamiento del túnel tibial. Al igual que este autor, observamos que con la técnica TT la orientación del túnel tibial presentó una mayor verticalidad en el plano coronal, lo que podría explicar el aumento significativo del diámetro de la apertura del túnel tibial.

Por otro lado y a pesar de los numerosos estudios biomecánicos que han descrito la huella anatómica de la inserción formal del LCA, aún existe controversia en cuanto al posicionamiento ideal del túnel femoral y la incapacidad de realizar el túnel femoral independiente con la técnica TT. Un posicionamiento del túnel femoral vertical no restablece la estabilidad rotacional^{24,25}. Dargel et al.²⁶ reportaron un posicionamiento más anterior y vertical del túnel femoral al realizar su perforación desde el túnel tibial. En contraste, Miller et al.²⁷ reportaron un posicionamiento más posterior de la apertura del túnel femoral con la técnica de PAM, así como otros estudios^{6,23} han demostrado un adecuado posicionamiento en el centro de la huella nativa femoral de LCA a través de la técnica del PAM.

A pesar de este actual debate, no se ha demostrado relación significativa del ensanchamiento progresivo del túnel tibial con inestabilidad progresiva a 5 años de evolución²⁸. Sin embargo, cambios osteoartrosicos progresivos han sido relacionados con aumentos progresivos en el diámetro tanto del túnel tibial como del túnel femoral¹⁴, por lo que los esfuerzos de comprender y mejorar el posicionamiento ideal de los túneles tibial y femoral son necesarios para obtener mejores resultados a largo plazo.

Existen una serie de limitaciones en este estudio. 1) No fue evaluada la expansión del túnel tibial ni del femoral, ya que el objetivo de este estudio fue evaluar el diámetro de la emergencia del túnel tibial. 2) No se realizó un estudio radiológico tridimensional de la ubicación de los túneles óseos en la reconstrucción del LCA, sin embargo, el estudio en el plano anteroposterior y lateral es suficientemente útil para los cirujanos para realizar estudios intra- y postoperatorios de reconstrucción de LCA. 3) Otro punto débil es el método de medición de los túneles y emergencia tibial, por existir el factor subjetivo a la hora de colocar los parámetros de medición digital, aunque la variabilidad interobservador fue excelente, tras la determinación con el coeficiente de correlación entre mediciones. 4) Y, por último, aun siendo este un estudio meramente radiológico, los pacientes no fueron evaluados mediante escalas de valoración clínica objetivas ni en el pre- ni en el postoperatorio.

Conclusiones

El diámetro de la apertura tibial mostró ser significativamente mayor con la técnica TT a las 6 semanas y 12 meses de seguimiento radiológico, tanto en la proyección antero-posterior como lateral.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia I, estudio prospectivo, aleatorizado y comparativo.

Responsabilidades éticas

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.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses en relación con el artículo que se remite para publicación.

Bibliografía

- Brophy RH, Voos JE, Shannon FJ, Granchi CC, Wickiewicz TL, Warren RF, et al. Changes in the length of virtual anterior cruciate ligament fibers during stability testing: A comparison of conventional single-bundle reconstruction and native anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2008;36:2196–203.
- Cha PS, Brucker PU, West RV, Zelle BA, Yagui M, Kurosaka M, et al. Arthroscopic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: An anatomic approach. *Arthroscopy.* 2005;21:1275.
- 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;32:1825–32.
- Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH, Woo SL-Y. Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2002;30:660–6.
- 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;31:75–9.
- Alentorn-Geli E, Samitier G, Alvarez P, Steinbacher G, Cugat R. Anteromedial portal versus transtibial drilling techniques in ACL reconstruction: A blinded cross-sectional study at two to five-year follow-up. *Int Orthop.* 2010;34:747–54.
- Wang H, Fleischli JE, Zheng NN. Transtibial versus anteromedial portal technique in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: Outcomes of knee joint kinematics during walking. *Am J Sports Med.* 2013;41:1847–56.
- Koutras G, Papadopoulos P, Terzidis IP, Gigis I, Pappas E. Short-term functional and clinical outcomes after ACL reconstruction with hamstring autograft: Transtibial versus anteromedial portal technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21:1904–9.
- Kim MK, Lee BC, Park JH. Anatomic single bundle anterior cruciate ligament reconstruction by the two anteromedial portal method: The comparison of trans-portal and transtibial techniques. *Knee Surg Relat Res.* 2011;23:213–9.
- Brown CH Jr, Wilson DR, Hecker AT, Ferragamo M. Graft-bone motion and tensile properties of hamstring and patellar tendon anterior cruciate ligament femoral graft fixation under cyclic loading. *Arthroscopy.* 2004;20:922–35.
- Benfield D, Otto DD, Bagnall KM, Raso VJ, Moussa W, Amirfazil A. Stiffness characteristics of hamstring tendon graft fixation methods at the femoral site. *Int Orthop.* 2005;29:35–8.
- Fauno P, Kaalund S. Tunnel widening after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction is influenced by the type of graft fixation used: A prospective randomized study. *Arthroscopy.* 2005;21:1337–41.
- Buck DC, Simonian PT, Larson RV, Borrow J, Nathanson DA. Timeline of tibial tunnel expansion after single-incision hamstring anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2004;20:34–6.
- Ayala-Mejias JD, Garcia-Gonzalez B, Alcocer-Perez-España L, Villafaña JH, Berjano P. Relationship between widening and position of the tunnels and clinical results of anterior cruciate ligament reconstruction to knee osteoarthritis: 30 patients at a minimum follow-up of 10 years. *J Knee Surg.* 2016;30:501–8.
- Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F, Sasso F. Anterior cruciate ligament reconstruction: Bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86:2143–55.
- Barber AF, Spurill B, Sheluga M. The effect of outlet fixation on tunnel widening. *Arthroscopy.* 2003;19:485–92.
- Buelow JU, Siebold R, Ellermann A. A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: Extracortical versus anatomical fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002;10:80–5.
- 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;7:138–45.
- Long BW, Raffert JA. *Orthopaedic radiography.* ed 1st Philadelphia: WB Saunders; 1995.
- Howell SM, Gittins ME, Gottlieb JE, Traina SM, Zoellner TM. The relationship between the angle of the tibial tunnel in the coronal plane and loss of flexion and anterior laxity after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2001;29:567–74.
- Chhabra A, Diduch DR, Blessey PB, Miller MD. Recreating an acceptable angle of the tibial tunnel in the coronal plane in anterior cruciate ligament reconstruction using external landmarks. *Arthroscopy.* 2004;20:328–30.
- Lee JK, Lee S, Seong SC, Lee MC. Anatomic single-bundle ACL reconstruction is possible with use of the modified transtibial technique: A comparison with the anteromedial transportal technique. *JBJS.* 2014;96:664–72.
- Bedi A, Musahl V, Steuber V, Kendoff D, Choi D, Allen AA, Altchek DV. Transtibial versus anteromedial portal reaming in anterior cruciate ligament reconstruction: An anatomic and biomechanical evaluation of surgical technique. *Arthroscopy.* 2011;27:380–90.
- Zampeli F, Ntoulia A, Giotis D, Tsiaras VA, Argyropoulou M, Pappas E, et al. Correlation between anterior cruciate ligament

- graft obliquity and tibial rotation during dynamic pivoting activities in patients with anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: An in vivo examination. *Arthroscopy*. 2012;28:234–46.
25. Lee MC, Seong SC, Lee S, Chang CB, Park YK, Jo H, et al. Vertical femoral tunnel placement results in rotational knee laxity after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2007;23:771–8.
 26. Dargel J, Schmidt-Wiethoff R, Fischer S, Mader K, Koebke J, Schneider T. Femoral bone tunnel placement using the transtibial tunnel or the anteromedial portal in ACL reconstruction: A radiographic evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy*. 2009;17:220–7.
 27. Miller CD, Gerdeman AC, Hart JM, Bennett CG, Golish SR, Gaskin C, et al. A comparison of 2 drilling techniques on the femoral tunnel for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2011;27:372–9.
 28. Nebelung S, Deitmer G, Gebing R, Reichwein F, Nebelung W. Improved outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction with quadrupled hamstring autografts and additional bone plug augmentation at five year follow-up. *Int Orthop*. 2013;37:399–405.