

ACTUALIZACIÓN

Reconstrucción del ligamento cruzado anterior

Bases para la elección del injerto

ENRIQUE MOYA

CIC S.A. (Centro Integral Clínicas), Buenos Aires

En los últimos treinta años se ha producido un cambio en nuestro conocimiento sobre la anatomía, la biomecánica y el examen clínico de las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) que, sumado a los nuevos métodos de diagnóstico por imágenes y al desarrollo de técnicas quirúrgicas más modernas hacen posible la reinserción de los pacientes a su actividad habitual deportiva, recreacional o laboral en un alto porcentaje de los casos.

Estas técnicas exigen el uso de injertos, habitualmente donados por el mismo paciente, lo que trae aparejada la aparición de complicaciones propias.

El injerto ideal debería estar libre de provocar complicaciones en la zona de su extracción, restaurar la anatomía del ligamento, permitir una fijación inicial segura y mantener sus propiedades biomecánicas a lo largo del tiempo para posibilitar la recuperación de la estabilidad articular.

Entre los injertos autólogos el tendón rotuliano es el más utilizado.^{3,2} A partir de la presentación de Jones en 1963³² y con la fijación mediante tornillos de interferencia⁴⁴ se convirtió en el "patrón de oro", ya que brinda una fijación segura de un injerto resistente y con buenos resultados a largo plazo.

La aparición de complicaciones vinculadas con la extracción del tendón rotuliano (TR) motivó que se comenzaran a utilizar los tendones isquiotibiales, semitendinoso cuádruple o junto al recto interno doblados en dos como injerto libre intraarticular (el primer informe del uso del semitendinoso libre intraarticular corresponde a Zariznyc, en 1983).²¹

El uso de aloinjertos no es una indicación habitual en nuestro medio; aunque se han publicado trabajos que

muestran resultados evolutivos comparables a largo plazo y a pesar de los nuevos métodos mixtos para la preparación con bajas dosis de radiación y congelación, la posibilidad de tener complicaciones propias (infecciosas, autoinmunes, etc.),²⁷ los períodos de integración más prolongados²⁴ y su alto costo relativo, junto con la legislación vigente que restringe la importación de injertos cadavéricos limita su indicación a revisiones, reconstrucciones múltiples y en aquellos pacientes que se niegan a la extracción de un tendón propio para evitar las complicaciones de la zona dadora.

La utilización de injertos sintéticos ha tenido históricamente un alto índice de fracasos,^{16,18} ya sea aumentando injertos autólogos o como único reemplazo (fibras de carbono, polietileno, Gore Tex). Si bien han aparecido nuevos compuestos (PVC) que prometen mayor grado de integración a largo plazo faltan estudios de control de seguimiento para recomendar su uso; la única indicación aparente en la actualidad es la reconstrucción de lesiones en deportistas de alta competencia que exigen un rápido regreso a la actividad y están dispuestos a ser reoperados en el período de receso deportivo.

El objetivo de esta presentación es evaluar las ventajas y desventajas comparativas de los dos autoinjertos más utilizados y sobre esta base tener fundamentos a la hora de decidir cuál es la técnica que mejor se adecua a las necesidades de cada paciente.

Anatomía y biomecánica del LCA

El LCA normal es un estabilizador primario de las fuerzas que se producen sobre la rodilla en dirección anterior y secundario principalmente para la rotación interna y, en menor medida, para la rotación externa y el varo-valgo, sobre todo durante la carga del peso corporal.^{5,12}

El área de sección es de 44 mm², la resistencia a las cargas de tensión es de 2160 N, la resistencia a la elongación es de 242 N/mm y sufre una deformación del 20% antes de su rotura.^{16,47}

Recibido el 27-12-2005.

Correspondencia:

Dr. ENRIQUE MOYA
Gurruchaga 1130
(1414) - Buenos Aires
enriquemoya@ciudad.com.ar

La deformación depende de las propiedades viscoelásticas ya que, a diferencia de una estructura elástica que se deforma de manera lineal ante la aplicación de la carga, el LCA se deforma de acuerdo con la cantidad de carga, el tiempo durante el cual esa carga se aplica y la repetición de los ciclos de carga. Así, ante los primeros ciclos de carga el ligamento sufrirá una rápida elongación (que depende de la rectificación de las fibras de colágeno) y luego ante la aplicación de la misma carga en forma cíclica la longitud se mantendrá estable.³⁹ La aplicación práctica de este concepto determina el pretensado del injerto.

Las fuerzas que se producen con la actividad de la vida diaria rondan los 100 N en la extensión pasiva, 400 N al caminar y 1700 N en el freno y giro.^{30,47} Para exceder los límites de resistencia del ligamento se deben ejecutar movimientos articulares inusuales.⁴⁷

Complicaciones de la extracción de los injertos

Las incisiones utilizadas con mayor frecuencia para la extracción del tendón rotuliano ponen en riesgo la rama infrapatelar del safeno interno, con la consiguiente hipostesia o anestesia de la cara anterolateral de la pierna. En ocasiones, y con mayor implicancia funcional, se produce un neuroma de amputación que dificulta que el paciente se ponga de rodillas o camine sobre sus rodillas, factor que deberá ser tenido en cuenta por expectativas laborales, deportivas o religiosas. Para evitar esta complicación se proponen incisiones dobles longitudinales o transversales que disminuyen las posibilidades de lesionarla. Técnicamente son más demandantes y a pesar de las ventajas teóricas su uso no se ha generalizado.

Las otras complicaciones locales consisten en la fractura de rótula o lesión del tendón rotuliano, que suele ocurrir pocas semanas después de la cirugía. La colocación de injerto óseo en el lecho de la extracción del taco rotuliano no incide sobre la posibilidad de fracturas o entesopatía. Personalmente extraigo un taco rotuliano de 9 x 20 mm para evitar esta complicación.

Otras complicaciones informadas son: pseudoartrosis, rotura del tendón rotuliano,⁶ hernia de la grasa de Hoffa y osteofito rotuliano inferior.

En cuanto a los isquiotibiales, la incisión más utilizada es la longitudinal 3 cm por dentro de la TAT (a la altura del portal interno). Con esta incisión puede lesionarse (con menor frecuencia que con el tendón rotuliano) la rama del safeno interno, pero el neuroma de amputación no suele presentar como complicación la dificultad para caminar sobre las rodillas porque queda fuera de la zona de apoyo.¹³

En ocasiones, el sartorio tiene una inserción tendinosa que puede confundirse con el recto interno. Para evitar extraerlo, lo más recomendable es reparar los tendones de distal a proximal una vez que se ha incidido la fascia del sartorio.

El ligamento lateral interno se encuentra por debajo de la inserción de la pata de ganso y la dirección vertical de sus fibras lo hace inconfundible para no lesionarlo.

En el proceso de liberación de los tendones hay que recordar seccionar las adherencias del semitendinoso que se presentan aproximadamente a los 7 cm de la inserción para evitar su amputación al profundizar el extractor.

Resistencia estructural

En los últimos veinte años han aparecido diversas publicaciones con los resultados de la resistencia a fuerzas de tensión y carga cíclica de variantes de los injertos que nos ocupan comparando en diferentes condiciones la biomecánica de cada construcción. Es importante tener en cuenta qué se está comparando exactamente en cada caso para sacar conclusiones válidas. Por ejemplo, en el caso de los isquiotibiales someter a prueba a los tendones por separado o con una tensión uniforme en una construcción cuádruple arroja resultados de resistencia muy diferentes.

Las comparaciones que nos permiten sacar conclusiones entre ambos injertos son aquellas en las que el método de evaluación no tiene fijación por medio de implantes sino que la fuerza de tracción se ejerce directamente sobre los injertos por mecanismos similares.

En general, en los trabajos en los que se compara el tendón rotuliano de 10 mm de ancho con el semitendinoso cuádruple el grado de resistencia a la rotura es similar, mayor que el LCA normal (1725 a 2160 N) y con ventaja para los tendones de la pata de ganso (4123 N de carga promedio para la falla).^{18,20,33,36,41}

El otro factor mecánico para tener en cuenta es la resistencia a la elongación que se mide en N/mm. Para el LCA sano es de 182 a 306 N/mm;^{42,47} para el TR de 10 mm, de 455 N/mm²⁰ y para el semitendinoso cuádruple, de 776 a 954 N/mm.^{20,44}

Las actividades de la vida diaria someten al injerto a una fuerza de alrededor de 500 N.^{29,47}

Por lo tanto, en el momento de su extracción ambos injertos tienen la resistencia estructural suficiente para reemplazar al LCA y la falla mecánica se produce en la interfaz entre el injerto y el túnel óseo. Mientras transcurre el período de unión entre el injerto y la pared del túnel ésta seguirá siendo el área crítica.

En el caso del tendón rotuliano la consolidación del taco óseo se produce entre la tercera semana (en la que la falla se producirá en la interfaz hueso-tendón)⁴⁰ y la sexta semana (cuando la falla se produce por fractura del taco),¹⁹ lo cual es una ventaja comparativa con respecto a la oseointegración de los isquiotibiales que ocurrirá alrededor de la semana 12.

La unión de los tendones de los isquiotibiales a las paredes del túnel óseo es entonces un proceso más complejo que demandará un período más prolongado que la consolidación taco óseo-túnel.

En este proceso se describieron dos formas de unión:

1) Las fibras de Sharpey⁴⁶ que consisten en puentes fibrosos entre el injerto y el túnel que anclan a éste al hueso.

2) Para las fijaciones anatómicas la unión de cuatro fases del tendón al hueso (tendón-fibrocartilago-cartilago calcificado-hueso) que ocurre más tardíamente, alrededor de la semana 24.^{5,46}

Esto hace indispensable contar con una sólida fijación del injerto al hueso en el caso de uniones tendón-túnel que deberá ser proporcionada por el implante por un período prolongado.

Como sabemos, la preparación del injerto no vascularizado llevará a la necrosis de las células que lo componen, con el transcurso del tiempo células nuevas provenientes de la membrana sinovial y los túneles óseos invadirán la matriz de colágeno, lo que permite revitalizar el injerto y aumentar progresivamente su resistencia. En este proceso, el uso de los tendones flexores cuenta con la ventaja de que tiene un área de sección 1,6 veces mayor que la del TR¹⁸ y, por lo tanto, una mayor cantidad de matriz de colágeno para mantener una resistencia adecuada.

El grado de resistencia aumenta progresivamente, pero no está comprobado que alcance los niveles iniciales en ambos injertos.^{16,33,38}

Métodos de fijación

Para las construcciones de implantes-injerto las variantes de fijación son muy diversas, lo que dificulta comparar los resultados.

En general, en el caso del tendón rotuliano el método de fijación más utilizado es el tornillo de interferencia y los trabajos comparativos se basan en este tipo de fijación.

Algunos trabajos, como el de Brown,⁸ nos permiten sacar conclusiones sobre la resistencia de diferentes construcciones en huesos cadavéricos de ambos injertos a nivel femoral. En cuanto a la movilidad injerto-túnel no encontraron diferencias significativas entre fijaciones femorales transversales, suspendidas o con tornillos de interferencia más semitendinoso recto interno (STRI) doble comparadas con TR más tornillo de interferencia, siendo inestable la muestra de TR más sutura suspendida en un botón cortical con un desplazamiento significativamente superior. Esto se explica por el deslizamiento del nudo de la sutura cuando es sometido a la tensión en los primeros ciclos.

En cuanto a la carga que provoca la falla del sistema, la construcción más débil es STRI doble más tornillo de interferencia reabsorbible, mientras los métodos con fijaciones transversales o suspendidas mostraron valores de falla sin diferencias significativas con respecto al TR.

Es interesante destacar de esta misma presentación las causas de falla del sistema. En el caso de la fijación con

tornillo de interferencia reabsorbible y STRI doble se produjo un desplazamiento del injerto sobre el túnel quedando el implante en su posición, en el caso de los *endobutton* la falla se produjo en la lazada de sutura, el *Link HT* en el ojal, el *bone mulch* por la flexión de la punta del implante en su unión con la base roscada, el Transfix por hundimiento en el hueso esponjoso, y el TR por fractura del taco,¹⁹ avulsión del tendón o el corte de la sutura al taco si éste se suspende de un botón en la cortical.

A nivel tibial la fijación más habitual del STRI doble es el tornillo de interferencia reabsorbible o de titanio con espiras romas. Si bien algunas publicaciones hablan de las ventajas de la fijación próxima a la articulación, el sitio más seguro biomecánicamente es el hueso cortical en la entrada del túnel tibial³⁷ con un tornillo del mismo diámetro o 1 mm más ancho que el túnel. El agregado de injerto de hueso esponjoso también aumenta la resistencia a la tensión; de cualquier forma para aumentar la resistencia al deslizamiento suelen agregarse fijaciones con grapas o tornillos poste en la cortical anterointerna de la tibia. Otros tipos de fijación (tornillo más arandela con púas, Intrafix, tornillos bloqueados, etc.) intentan evitar el uso de implantes sobre la cortical para no tener que extraerlos por su frecuente intolerancia debido al decúbito de los tegumentos.

Por lo tanto, en el momento de seleccionar un implante para fijar el injerto se deben tener en cuenta los procesos de oseointegración ya analizados. En el caso del TR los tornillos de interferencia reabsorbibles o de titanio demuestran tener una fijación suficiente para tolerar las fuerzas que se producen hasta la consolidación del taco a la pared del túnel.

En el caso de los isquiotibiales el proceso de integración es más prolongado, por consiguiente los tornillos de interferencia pueden ser insuficientes para lograr la oseointegración, sobre todo en el túnel tibial, en el que la densidad del hueso esponjoso es menor.⁷ También debe considerarse que las fijaciones suspendidas con suturas tienen como complicación frecuente el estiramiento del nudo de la sutura, lo que provoca la elongación del sistema con los primeros ciclos de movimiento. Por lo tanto, deberían dejarse a un lado por otras fijaciones más seguras, como las transversales, que han mejorado notablemente la seguridad de la fijación a nivel femoral. Para la fijación de los tendones a nivel tibial las alternativas son variadas, pero en general la recomendación más adecuada consiste en la colocación de un tornillo de interferencia que no se profundice más allá de la cortical aumentado con una fijación extracortical.

Otra complicación descrita al principio para los aloinjertos y observada luego en los homoinjertos es el ensanchamiento de los túneles tibial y femoral.^{10,23,25,27,28,33,41,49} Las teorías de producción de esta complicación incluyen, entre los factores biológicos por reacción, los productos tóxicos,¹⁸ los mediadores inflamatorios y la necrosis producida por el fresado²⁷ y entre los factores mecánicos, la

protección del estrés, la rehabilitación agresiva, la posición no anatómica del injerto, las fijaciones a distancia y el deslizamiento del injerto dentro del túnel en sentido longitudinal o transversal, estas últimas conocidas como efecto *bungee* y limpiaparabrisas respectivamente.²³

En general, el uso de STRI se vincula más frecuentemente a esta complicación, si bien puede verse también con el TR.¹⁰

Los resultados funcionales no parecen afectarse, pero si el paciente precisa una revisión de la reconstrucción la presencia de un ensanchamiento del túnel es una complicación que obligará en algunos casos a una cirugía en dos tiempos para la colocación de injerto óseo.

Discusión

Si bien numerosos trabajos no demuestran diferencias significativas en la evaluación comparativa de la evolución clínica de ambos injertos a los 2,^{31,41} 3,^{22,36} 5,^{2,24,35} y 7 años, otros trabajos sí las hallaron. Ejerhed¹³ encontró una mayor habilidad para caminar de rodillas y permanecer arrodillado con el uso de los isquiotibiales, Shaieb⁴² notó menor amplitud de movimiento articular y mayor dolor patelofemoral con TR; Pinczewski,³⁸ mayor dificultad para caminar de rodillas, pinzamiento articular y cambios artrósicos; Corry,¹¹ mayor laxitud en mujeres con STRI y mayor dolor al arrodillarse con TR; O'Neill,³⁶ déficits en la movilidad en flexión con STRI y para la extensión con TR; Aune,⁹ menor fuerza para la flexión con STRI; Beynon,⁵ mayor laxitud anterior comparativa con el uso de semitendinoso doble frente al TR. Anderson⁴⁷ también halló mayor laxitud con STRI; Séller,¹⁵ mayor dolor con TR y menor índice de regreso al deporte con STRI y estudios de metanálisis de Freedman¹⁷ y Yunes,⁴⁸ mayor laxitud con STRI.

La evaluación de estos resultados debe hacerse principalmente sobre la base de las características de los injertos utilizados, el método de fijación y el tipo de rehabilitación. Otros parámetros también son importantes para tener en cuenta, como la edad de la población estudiada, el sexo, la exigencia deportiva y la presencia de lesiones asociadas.

Como datos preocupantes a la hora de decidir el injerto por utilizar aparecen para el tendón rotuliano las complicaciones de la zona dadora, la dificultad para caminar de rodillas y arrodillarse, el mayor grado de dolor posoperatorio, la limitación de la movilidad a la extensión completa, la presencia de artrosis y el síndrome de contractura infrapatelar.

En cuanto a los isquiotibiales la diferencia más alarmante es el mayor grado de laxitud articular informado por los distintos autores. En cada caso es posible sospechar el motivo de la inestabilidad residual por injertos insuficientes (semitendinoso doble⁵), métodos de fijación insuficientes (*endobutton* con sutura anudada) o baja den-

sidad ósea (mujeres con tornillos de interferencia tibial). Otras complicaciones se relacionan con la pérdida de fuerza para la flexión y la rotación interna y la limitación de la movilidad para la flexión activa.³⁴

Conclusiones

La reconstrucción ligamentaria tiene contraindicaciones absolutas y relativas que son comunes a ambos injertos. Para elegir el injerto que logre recuperar la actividad de cada paciente en el mayor grado posible deben tenerse en cuenta sus antecedentes personales y deportivos y la expectativa de recuperación de la exigencia deportiva.

Creemos que cualquier patología que involucre al aparato extensor debe considerarse una contraindicación relativa para el uso del tendón rotuliano, ya que la aparición de crepitación, dolor en la cara anterior de la rodilla,^{11,41,42} contractura en flexión^{11,35} y atrofia muscular se relaciona en forma significativa con el acortamiento del TR (síndrome de contractura infrapatelar).²⁶

Si bien se describieron alteraciones significativas del ángulo de Merchant en el posoperatorio de reconstrucciones con TR, éstas no se relacionan con el dolor patelofemoral y el desarrollo de artrosis femorotibial está más relacionado con las lesiones asociadas articulares que con el tipo de injerto;^{14,47} en cambio, la artrosis femororrotuliana está más relacionada con el uso de este injerto en las diferentes publicaciones.^{1,26,45} Por lo tanto, en los pacientes con antecedentes de tendinitis rotuliana, mala alineación de la rótula, fractura de la rótula, osteocondritis de inserción del TR, limitación de la extensión completa y en aquellos con hipotrofia acentuada del cuádriceps en los cuales el uso del TR podría empeorar la función de éste, la utilización de los isquiotibiales parece la mejor elección.

En cuanto a la edad del paciente, en los más jóvenes la extracción del taco tibial del TR pone en riesgo a la fisis a ese nivel y la consolidación del taco a las paredes de los túneles puede producir el arresto de la fisis. Las técnicas con túneles de 7 u 8 mm con fijaciones que no tomen contacto con el cartílago de crecimiento se consideran por lo general seguras. Por este motivo, los isquiotibiales son los preferidos para este grupo etario.

En los pacientes de edad más avanzada o en aquellos en los que se notan signos degenerativos del cartílago articular, así como en los pacientes obesos, el uso de isquiotibiales es más adecuado por la mayor predisposición a desarrollar artrosis con el TR.

En las personas jóvenes que practican deportes de contacto y en deportistas de alta competencia que requieren una rehabilitación precoz y agresiva el uso del TR todavía se considera más seguro por la gran experiencia de los resultados a largo plazo, la resistencia de la construcción inicial, la mayor velocidad en la integración a la pared del túnel óseo y la menor incidencia de ensanchamiento de

los túneles que se relaciona con la rehabilitación agresiva inicial en el caso del STRI.

Algunos autores teorizan sobre la acción de estabilización medial activa de los tendones de la pata de ganso y contraindican su uso en los casos de inestabilidad antero-medial, si bien no hay informes de fallas en estos casos.

La limitación de la movilidad para la flexión completa o la disminución de la fuerza flexora también pueden considerarse contraindicaciones relativas para el uso de STRI, ya que reducen en forma significativa la movilidad para la flexión completa³⁵ y la fuerza flexora^{4,5} y para la rotación interna⁴⁵ sobre todo cuando se los utiliza en conjunto.^{14,43}

A pesar de los informes de regeneración de los tendones¹⁴ con una calidad de tejido más alta que en el caso del TR y la hipertrofia compensadora del semimembranoso que es inversamente proporcional a la regeneración de los

tendones extraídos,¹⁴ los resultados funcionales de recuperación de la fuerza de flexión no son concluyentes para indicar su uso en el caso de falta de fuerza para la flexión articular preoperatoria o en el caso de los velocistas que exigen un alto grado de fuerza flexora con la rodilla en más de 90° de flexión.

En definitiva, a la hora de indicar la técnica quirúrgica de nuestra preferencia debemos recordar que la cirugía reduce la laxitud articular y el riesgo de una nueva lesión intraarticular, pero no garantiza la vuelta al mismo nivel de actividad ni previene el desarrollo de artrosis y, además, cada injerto de los dos más utilizados tiene sus propias complicaciones y, por lo tanto, se adapta a las condiciones de cada paciente en mayor o menor medida. Más que pensar en cuál es el mejor injerto deberíamos ver cuál es el mejor injerto para cada paciente y adaptar nuestra indicación al paciente y no nuestro paciente a la indicación.

Referencias bibliográficas

1. Aglietti P, Buzzi R, D'Andria S, et al. Patellofemoral problems after intraarticular anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop*; (288):195-204;1993.
2. Andersson C, Odensten M, Gillquist J. Knee function after surgical or nonsurgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament: a randomized study with a long-term follow-up period. *Clin Orthop*; (264):255-263;1991.
3. Arciero RA, Scoville CR, Snyder RJ, et al. Single versus two-incision arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*; 12(4):462-469;1996.
4. Aune AK, Holm I, Risberg MA, et al. Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized study with two-year follow-up. *Am J Sports Med*; 29(6):722-728; 2001.
5. Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC, et al. Anterior cruciate ligament replacement: comparison of bone-patellar tendon-bone grafts with two-strand hamstring grafts. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am*; 84-A(9):1503-1513;2002.
6. Bonamo JJ, Krinick RM, Sporn AA. Rupture of the patellar ligament after use of its central third for anterior cruciate reconstruction. A report of two cases. *J Bone Joint Surg Am*; 66(8):1294-1297;1984.
7. Brand JC Jr, Pienkowski D, Steenlage E, et al. Interference screw fixation strength of a quadrupled hamstring tendon graft is directly related to bone mineral density and insertion torque. *Am J Sports Med*; 28(5):705-710;2000.
8. Brown CH Jr, Wilson DR, Hecker M, et al. Graft-bone motion and tensile properties of hamstring and patellar tendon anterior cruciate ligament femoral graft fixation under cyclic loading. *Arthroscopy*; 20(9):922-935;2004.
9. Christen B, Jakob RP. Fractures associated with patellar ligament graft in cruciate ligament surgery. *J Bone Joint Surg Br*; 74(4):617-619;1992.
10. Clatworthy MG, Annear P, Bulow JU, et al. Tunnel widening in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective evaluation of hamstring and patella tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*; 7(3):138-145;1999.
11. Corry IS, Webb JM, Clingeleffer AJ, et al. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. A comparison of patellar tendon autograft and four-strand hamstring tendon autograft. *Am J Sports Med*; 27(4):444-454;1999.
12. Dienst M, Burks RT, Greis PE. Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am*; 33(4): 605-620;2002.
13. Ejerhed L, Kartus J, Sernert N, et al. Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction? A prospective randomized study with a two-year follow-up. *Am J Sports Med*; 31(1):19-25;2003.
14. Eriksson K, Hamberg P, Jansson E, et al. Semitendinosus muscle in anterior cruciate ligament surgery. Morphology and function. *Arthroscopy*; 17(8):808-817;2001.

15. **Feller JA, Webster KE.** A randomized comparison of patellar tendon and hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*;31(4):564-573;2003.
16. **Frank CB, Jackson DW.** The science of reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*;79(10):1556-1576;1997.
17. **Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, et al.** Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med*;31(1):2-11;2003.
18. **Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, et al.** Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med*;27(6):821-830;1999.
19. **Fumihisa T, Yasuda K, Mikami S, et al.** Comparisons of intraosseous graft healing between the doubled flexor tendon graft and the bone-patellar tendon-bone graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*;17(5):461-476;2001.
20. **Hamner DL, Brown CH Jr, Steiner ME, et al.** Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am*;81(4):549-557;1999.
21. **Harilainen A, Sandelin J, Jansson K.** Cross-pin femoral fixation versus metal interference screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons: results of a controlled prospective randomized study with 2-year follow-up. *Arthroscopy*;21(1):25-33;2005.
22. **Hillard-Sembell D, Daniel DM, Stone ML, et al.** Combined injuries of the anterior cruciate and medial collateral ligaments of the knee. Effect of treatment on stability and function of the joint. *J Bone Joint Surg Am*;78(2):169-176;1996.
23. **Höher J, Möller HD, Fu FH.** Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: Fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*;6(4):231-240;1998.
24. **Jackson DW, Corsetti J, Simon TM.** Biologic incorporation of allograft anterior cruciate ligament replacements. *Clin Orthop*; (324):126-33;1996.
25. **Jansson KA, Harilainen A, Sandelin J, et al.** Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with the hamstring autograft and EndoButton fixation technique. A clinical, radiographic and magnetic resonance imaging study with 2 years follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*;7(5):290-295;1999.
26. **Järvelä T, Paakkala T, Kannus P, et al.** The incidence of patellofemoral osteoarthritis and associated findings 7 years after anterior cruciate ligament reconstruction with a bone-patellar tendon-bone autograft. *Am J Sports Med*;29(1):18-24;2001.
27. **Klein JP, Lintner DM, Downs D, et al.** The incidence and significance of femoral tunnel widening after quadrupled hamstring anterior cruciate ligament reconstruction using femoral cross pin fixation. *Arthroscopy*;19(5):470-476;2003.
28. **L'Insalata JC, Klatt B, Fu FH, et al.** Tunnel expansion following ACL reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*;5(4):234-238;1997.
29. **Magen HE, Howell SM, Hull ML.** Structural properties of six tibial fixation methods for anterior cruciate ligament soft tissue grafts. *Am J Sports Med*;27(1):35-43;1999.
30. **Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, et al.** Biomechanical consequences of replacement of the anterior cruciate ligament with a patellar ligament allograft. Part II: forces in the graft compared with forces in the intact ligament. *J Bone Joint Surg Am*; 78(11):1728-1734;1996.
31. **Markolf KL, Wascher DC, Finerman GA.** Direct in vitro measurement of forces in the cruciate ligaments. Part II: the effect of section of the posterolateral structures. *J Bone Joint Surg Am*;75(3):387-394;1993.
32. **Miller SL, Gladstone JN.** Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop Clin North Am*;33(4):675-683; 2002.
33. **Nebelung W, Becker R, Merkel M, et al.** Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus tendon using EndoButton fixation on the femoral side. *Arthroscopy*;14(8):810-815;1998.
34. **Norimasa N, Horibe S, Sasaki S, et al.** Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy*;18(6):598-602;2002.
35. **O'Neill DB.** Arthroscopically assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. A follow-up report. *J Bone Joint Surg Am*;83-A(9):1329-1332;2001.
36. **O'Neill DB.** Arthroscopically assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective randomized analysis of three techniques. *J Bone Joint Surg Am*;78(6):803-813;1996.
37. **Phillips BB, Cain EL, Dlabach JA, et al.** Correlation of interference screw insertion torque with depth of placement in the tibial tunnel using a quadrupled semitendinosus-gracilis graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*; 20(10):1026-1029;2004.

38. **Pinczewski LA, Deehan DJ, Salmon LJ, et al.** A five-year comparison of patellar tendon versus four-strand hamstring tendon autograft for arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*;30(4):523-536;2002.
39. **Pioletti DP, Rakotomanana LR.** On the interdependence of time and strain effects in the stress relaxation of ligaments and tendons. *J Biomech*;33(12):1729-1732;2000.
40. **Rodeo SA, Arnoczky SP, Torzilli PA, et al.** Tendon-healing in a bone tunnel. A biomechanical and histological study in the dog. *J Bone Joint Surg Am*;75(12):1795-1803;1993.
41. **Roe J, Pinczewski LA, Russell VJ, et al.** A 7-year follow-up of patellar tendon and hamstring tendon grafts for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: differences and similarities. *Am J Sports Med*;33(9):1337-1345;2005.
42. **Shaieb MD, Kan DM, Chang SK, et al.** A prospective randomized comparison of patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*;30(2):214-220;2002.
43. **Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, et al.** Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction; a detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med*;31(4):522-529;2003.
44. **To JT, Howell SM, Hull ML.** Contributions of femoral fixation methods to the stiffness of anterior cruciate ligament replacements at implantation. *Arthroscopy*;15(4):379-387;1999.
45. **Viola RW, Sterett WI, Newfield D, et al.** Internal and external tibial rotation strength after anterior cruciate ligament reconstruction using ipsilateral semitendinosus and gracilis tendon autografts. *Am J Sports Med*;28(4):552-555;2000.
46. **Weiler A, Hoffmann RF, Bail HJ, et al.** Tendon healing in a bone tunnel. Part II: histologic analysis after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy*;18(2):124-135;2002.
47. **West RV, Harner CD.** Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg*;13(3):197-207; 2005.
48. **Yunes M, Richmond JC, Engels EA, et al.** Patellar versus hamstring tendons in anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis. *Arthroscopy*;17(3):248-257;2001.
49. **Zijl JA, Kleipool AE, Willems WJ.** Comparison of tibial tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft or allograft. *Am J Sports Med*;28(4):547-551;2000.