



## Monográfico de ligamento cruzado anterior

# Retorno al deporte tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior

J. A. Guerrero Molina<sup>1</sup>, J. Espregueira Mendes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Rodilla. Hospital Universitario de Cruces. Bizkaia

<sup>2</sup>Clínica do Dragão-Espregueira-Mendes Sports Centre. FIFA Medical Centre of Excellence. FC Porto Stadium. Porto, Portugal

### Correspondencia:

Dr. José Antonio Guerrero Molina

Correo electrónico: jaguerrero1@me.com

Recibido el 30 de junio de 2019

Aceptado el 17 de junio de 2020

Disponible en Internet: octubre de 2020

### RESUMEN

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) cobra especial importancia en el deportista tanto por lo que supone la interrupción de su actividad competitiva como por el riesgo de una nueva rotura, pero también por no perder el nivel de competición previo a la lesión.

En la recuperación de la reconstrucción de este ligamento influyen diversos factores médicos, como son la técnica quirúrgica, la elección del injerto, el proceso rehabilitador y la elección del momento adecuado para reincorporarse a su actividad deportiva. Pero también otros factores, como son el estado psicológico del paciente, los condicionantes sociales que le rodean y otros no modificables como la edad y el sexo.

Así pues, el tratamiento debe ser multidisciplinario, en el que cobran la misma importancia el cirujano, el médico rehabilitador y en ocasiones se hace necesario un apoyo psicológico que devuelva la confianza al deportista.

En las últimas décadas los esfuerzos se han centrado en todo aquello que concierne a la técnica quirúrgica, mientras que llama la atención el escaso número de pacientes que sigue un tratamiento rehabilitador adecuado siguiendo guías terapéuticas basadas en la evidencia, así como la falta de un consenso en lo relativo a los criterios que deben cumplirse para garantizar el retorno seguro a la competición.

### ABSTRACT

#### Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction

The injury of the anterior cruciate ligament (ACL) is specially remarkable in sport players, not only because it means a temporal interruption of its activity in competitions, but also due to the risk of a re-injury, considering that the goal is to recover the competitive level acquired before the injury.

During the process of recovery and reconstruction of this ligament, diverse medical facts have an influence on it, such as the surgery technique, the election of the implant, the rehab technique and the choice of the most favorable moment to return to the sport activity. Nevertheless, some other factors like the psychological situation of the patient, the social environment and other non-adjustable factors such as the age and sex of the person do also have a role. Considering the above mentioned, the treatment of the injury needs to be multidisciplinary, in which both the surgeon and the rehab doctor play a significant role, and in some cases it is even relevant to add psychological support to return the self-confidence to the athletic. Throughout the last decades, most of the efforts have been focused on the surgery technique, whilst it is noticeable the scarce number of patients that follow the adequate rehab process following therapeutic guidelines lead by evidence, as well as lack of agreement in



<https://doi.org/10.24129/j.reaca.27369.fs1906029>

© 2020 Fundación Española de Artroscopia. Publicado por Imaidea Interactiva en FONDOSCIENCE® ([www.fondoscience.com](http://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/](http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)).

**Palabras clave:** Retorno al deporte. Reconstrucción LCA. Rehabilitación LCA.

### Introducción

Una de las lesiones más frecuentes en el deporte es la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA). Cada año el 3% de los deportistas *amateur* padecen esta lesión y el porcentaje se eleva al 15% en deportistas de élite<sup>(1)</sup>.

La reparación de esta lesión en la población normal está encaminada a recuperar la estabilidad de la rodilla, pero también a la prevención de otras lesiones como son las del cartílago o los meniscos. Además, en el deportista el objetivo final es la reincorporación del paciente a la actividad deportiva al mismo nivel que tenía antes de lesionarse y con la seguridad de que no va a tener una nueva lesión. Pero no todos los atletas vuelven al nivel competitivo. En un metaanálisis realizado por Arden se muestra que solo 2 de cada 3 atletas vuelven a competir y menos de la mitad al mismo nivel que antes de lesionarse<sup>(2)</sup>. Además, hay que tener en cuenta que existe no solo un mayor riesgo de rotura del injerto, sino también del LCA de la rodilla contralateral sano, en comparación con el paciente sano<sup>(3)</sup>.

Así pues, el éxito del tratamiento se basará en 3 pilares: el paciente, el cirujano y el médico rehabilitador. Por ello, se hace necesaria una estrecha colaboración entre los 3 y evitar llegar a situaciones tan alarmantes como las que H. Grindem comunica en un editorial del *British Journal of Sports Medicine* en abril de 2018. En este artículo revela que solo el 5% de los deportistas que no son de élite reciben un tratamiento rehabilitador adecuado siguiendo guías terapéuticas basadas en la evidencia (más de 6 meses de tratamiento rehabilitador, donde se incluyen ejercicios de agilidad y salto, así como un control estrecho en la incorporación al deporte)<sup>(4)</sup>.

### Factores dependientes del paciente

Existen factores no modificables y factores sobre los que se puede actuar para obtener un mejor resultado en el tratamiento.

what it is related to criteria that must be accomplished to ensure a safe return to competition to the athletic.

**Key words:** Return to sport. Return to play. ACL reconstruction. ACL rehabilitation.

El primero de ellos es la edad. Se observa que la lesión es más frecuente en adolescentes que en adultos, pero también lo es el riesgo de rotura, que viene a ser de 2 a 3 veces superior<sup>(5,6)</sup>, así como el del LCA contralateral sano<sup>(7)</sup>. Es decir, que el 25-35% de los adolescentes que compiten en deportes donde es necesario el pivotaje sufrirán una nueva lesión bien de la plastia o del LCA contralateral<sup>(7)</sup>. Esto contrasta con los adultos, donde el riesgo es del 5%<sup>(5,8)</sup>. Y esta rotura se producirá en la mayoría de los casos durante los 2 primeros años tras la cirugía<sup>(9)</sup>.

Otro factor no modificable que interviene en el resultado de la reconstrucción es el sexo. Este tipo de lesiones son de 2 a 8 veces más frecuentes en mujeres, probablemente porque a partir de la pubertad difieren los patrones neuromusculares en ambos sexos<sup>(10,11)</sup>.

Para algunos autores como Paterno, existen otros factores intrínsecos al paciente que pudieran favorecer el fracaso de la plastia, como son el genu valgo, el aumento de la rotación de la cadera y el valgo dinámico que se detecta en el salto vertical<sup>(12)</sup>. Y esto es importante porque mejorando tanto el control neuromuscular de la cadera como el de la rodilla se podrían evitar lesiones en pacientes sanos y también a los sometidos a una intervención del LCA en esa rodilla o en la contralateral.

Todo trauma físico tiene también una respuesta o daño psicológico y la gran mayoría de los atletas con lesiones experimentarán emociones negativas y falta de confianza debido a una reducción en su habilidad física. También el miedo a una nueva lesión puede frustrar el efecto del tratamiento de reconstrucción y rehabilitación<sup>(13)</sup>. Por otro lado, los pacientes que no vuelven a sus actividades anteriores a la lesión muestran síntomas persistentes en la rodilla, especialmente dolor, como factor contributivo y solo una minoría de los pacientes mencionan el trabajo y la familia como elementos que les condicionan a mantener su nivel competitivo<sup>(14)</sup>.

Los términos psicológicos más comúnmente mencionados en el contexto de la preparación para la vuelta a la actividad deportiva después de un tratamiento de lesión en el LCA son el miedo a la reanudación de dicha actividad y la buena disposición psicológica. La disposición psicológica para la vuelta a la actividad deportiva abarca 3 ámbitos: la confianza para volver a practicar el deporte, las expectativas realistas sobre la habilidad deportiva y la motivación para recuperar los estándares previos a la lesión. Los hombres y pacientes jóvenes, que practican frecuentemente el deporte anterior a la lesión del LCA muestran una mayor resistencia psicológica. Considerando que los factores psicológicos son potencialmente alterables, esta investigación indica que cualquier intervención futura deberá centrarse sobre todo en mujeres y en aquellos deportistas con índices funcionales personales más bajos y menor motivación<sup>(15)</sup>.

Por otro lado, McPherson, en un publicación actual, recomienda que una calificación de menos de 77 puntos en la escala ACL-RSI (Anterior Cruciate Ligament-Return to Sport after Injury) en los pacientes jóvenes (menores de 20 años), dado que tienen un mayor riesgo de sufrir una rerotura del LCA, deberían beneficiarse de una preparación y una terapia psicológica adicionales antes de volver a la actividad deportiva<sup>(16)</sup>.

## Factores dependientes del cirujano

La precisa localización de los túneles es un elemento clave en la supervivencia de la plastia. Actualmente, la tendencia es a realizar portales anatómicos que permiten un mayor control de la inestabilidad rotatoria y parecen mejorar los resultados funcionales<sup>(17)</sup>.

En cuanto al tipo de injerto, existe unanimidad en considerar como superior el autólogo<sup>(18)</sup>. Sin embargo, dentro de estos no existen evidencias de superioridad del injerto con hueso-tendón-hueso (HTH) respecto al de isquiotibiales. En un estudio prospectivo y aleatorizado de Wipfler, no encuentra a largo plazo diferencias entre uno y otro<sup>(19)</sup>.

Pese a ello, hay autores que siguen viendo ventajas en el HTH y lo recomiendan en:

- Atletas profesionales, por su mayor resistencia y una más rápida incorporación del injerto<sup>(20)</sup>,

lo que permite una rehabilitación más precoz y agresiva<sup>(21)</sup>.

- En rodillas con *genu recurvatum* las plastias con isquiotibiales tienen mayor tendencia a cierta elongación, por lo que se pierde eficacia en la construcción<sup>(22)</sup>.

- Para algunos deportes donde se necesita un mayor trabajo de los estabilizadores medibles, como futbolistas o esquiadores, parece más adecuado no sacrificar los isquiotibiales, aunque esto es muy discutido.

- Para aquellos casos donde con isquiotibiales no se consiga una plastia superior a 8 mm de diámetro, algo que no es raro en pacientes más jóvenes, por el riesgo de rotura<sup>(23)</sup>.

No obstante, sea cual sea el injerto elegido, parece existir un consenso en que no se recomienda la reincorporación al deporte antes de los 6 meses tras la cirugía por el riesgo de rotura, independientemente del trabajo rehabilitador realizado, y que este riesgo va disminuyendo progresivamente a medida que nos acercamos a los 9 meses<sup>(24)</sup>.

La rotura del injerto es una complicación temida tras una reconstrucción del LCA y las revisiones quirúrgicas suelen tener peor resultado, una laxitud incrementada con mayor *pivot shift* y un aumento en las tasas de artrosis tibiofemoral<sup>(25)</sup>. Samuelsen *et al.* llevaron a cabo un metaanálisis con 47.613 pacientes, comparando el uso de injertos de isquiotibiales con HTH para la reconstrucción del LCA (39.768 HTH y 7.845 músculos isquiotibiales). Tras el seguimiento a corto y medio plazo de la reconstrucción del LCA, resultó en una tasa mayor de fracaso en los autoinjertos de isquiotibiales que en aquellos constituidos por autoinjertos HTH. Sin embargo, la tasa de fracaso en ambos grupos era baja (el número de pacientes tratados con HTH respecto a isquiotibiales debería ser de 235 para prevenir una rotura de la plastia) y escasas diferencias fueron observadas entre ambos tipos de injertos en términos de laxitud<sup>(26)</sup>.

En una más reciente revisión sistemática, se muestra que la tasa de fracaso general era de un 15%, pero exponencialmente mayor cuando se consideraba en pacientes jóvenes (menores de 25 años) que retomaban el deporte (23% de fracaso)<sup>(3)</sup>.

Realizar la reconstrucción del LCA asociada a tenodesis extraarticular lateral se recomienda en pacientes menores de 20 años. También se reco-

mienda en la revisión de casos y cuando exista una excesiva inestabilidad rotatoria. Las indicación podría extenderse a deportes que soliciten la rotación de la rodilla y en mujeres adolescentes. También en *genu recurvatum* mayor de 10°, meniscectomías amplias, laxitud de ligamentos generalizada o *slop* tibial pronunciado. La tenodesis extraarticular asociada a la reconstrucción del LCA protege al injerto de la tensión rotatoria. En un estudio previo, Engebretsen *et al.* mostraron que, al añadir una tenodesis de banda ilirotibial, se reducía la fuerza que actúa sobre el LCA en un 43%<sup>(27)</sup>.

### Factores dependientes del médico rehabilitador

El médico rehabilitador, sin duda, va a ser la figura clave para determinar el momento en el que el deportista está listo para reincorporarse al deporte. La mayoría de los deportistas se reincorporan al deporte entre los 6 y los 12 meses, pero aquellos que no han seguido un tratamiento rehabilitador adecuado generalmente no consiguen en este periodo de tiempo recuperar ni la fuerza ni la función neuromuscular, por lo que no llegan a recuperar su nivel deportivo y además son más propensos a una nueva lesión<sup>(24)</sup>.

Actualmente, no existen unas guías consensuadas en el tratamiento rehabilitador ni unos test que permitan determinar el momento exacto en el que el jugador está en condiciones de retomar la competición, sin riesgo a una nueva lesión.

A partir de los años ochenta se mejoraron mucho los protocolos de rehabilitación, pero sobre todo en las fases tempranas, con el objeto de una reincorporación a la actividad deportiva más temprana. Así, se llegó a la recomendación de no volver a la competición antes de los 6 meses después de la cirugía<sup>(28)</sup>, salvo en adolescentes, donde se aconseja prolongar este periodo de rehabilitación por la mayor tendencia de este grupo a la rotura de la plastia<sup>(29)</sup>.

Una rehabilitación satisfactoria es de suma importancia para devolver al deportista lo más rápido y en las mejores condiciones posibles a la competición deportiva con un nivel similar al previo a la lesión y para prevenir futuras lesiones y secuelas a largo plazo. El programa de rehabilitación debe ser gradual e individualizado, basado

en un criterio de progresión, que debe revisarse para asegurar la progresión del paciente en las diferentes fases basándose en hechos objetivos y permitir la vuelta a la actividad deportiva con un menor riesgo de recaídas en la lesión. Es extremadamente importante conseguir niveles de bienestar y puesta en forma para promover el mejor y más seguro retorno a la actividad deportiva.

El tratamiento rehabilitador debe basarse en la recuperación del rango de movilidad, la fuerza y la recuperación del estado neuromuscular previo a la lesión, y en la mayoría de los protocolos se pueden diferenciar 3 fases, tal como describe en su protocolo Grindem<sup>(30)</sup>.

### Fase postoperatoria inmediata

Se centrará en disminuir el dolor y la inflamación, y recuperar el rango de movilidad.

### Fase de rehabilitación

El objetivo es recuperar el control neuromuscular en carga, con la rodilla en extensión, y una fuerza de cuádriceps en isocinéticos > 80% y test de salto. Este periodo, a su vez, está dividido en distintas fases y el paso de una a otra vendrá determinado por la superación de determinados test.

### Fase de retorno al deporte

El ideal es conseguir una fuerza en el cuádriceps > 90% y test de salto en sus distintas modalidades. Pero también una estrecha vigilancia del deportista en los entrenamientos hasta alcanzar el nivel de juego deseado.

### Consideraciones en cuanto al tratamiento rehabilitador

Para muchos autores es clave empezar el tratamiento rehabilitador inmediatamente tras la lesión y antes de la cirugía (pre-rehabilitación) encaminado sobre todo a recuperar el rango de movilidad, factor determinante para evitar la rigidez articular y la artrofibrosis, siendo el rango de movilidad preparatorio el mejor predictor del

arco de movilidad final<sup>(31)</sup>. Además, la rehabilitación preoperatoria está encaminada a evitar la atrofia muscular y mejorar en control neuromuscular de ambas rodillas, esenciales para la recuperación postoperatoria.

Deben tomarse precauciones con el uso de fármacos antiinflamatorios no esteroideos, dado que, aunque no causan daño, pueden ralentizar el proceso de curación/integración del tejido<sup>(32)</sup>.

La aplicación de frío durante más de una semana tras la cirugía es efectiva para la disminución del dolor, pero no parece tener efecto en el control del derrame o en la mejora del rango de movilidad<sup>(33)</sup>.

En cuanto a los ejercicios isométricos, se recomienda comenzarlos inmediatamente tras la cirugía<sup>(34)</sup>.

En lo que se refiere a la carga, Tyler describe desde hace tiempo que, lejos de tener efectos perjudiciales para la laxitud de la plastia, obtiene mejoría en el dolor anterior de rodilla. Pero se debe realizar siempre que no exista dolor ni derrame ni calor, y un patrón de marcha normal aunque sea con muletas<sup>(35)</sup>.

Los ejercicios excéntricos en cadena cinética cerrada (CCC) es seguro empezarlos a partir de la 3.ª semana tras la cirugía y han demostrado mejor recuperación de la fuerza del cuádriceps que los concéntricos<sup>(36,37)</sup>.

En una revisión sistemática que realiza Glass se determina que se deben evitar los ejercicios de cadena cinética abierta (CCA) en las primeras 6 semanas tras la cirugía<sup>(38)</sup>, aunque Fukuda y otros autores permiten realizar este tipo de ejercicios a partir de la cuarta semana pero en un rango de movilidad entre 45 y 90°<sup>(39)</sup>. En este caso, hay que diferenciar el tipo de plastia: con HTH se pueden realizar con resistencia, pero en caso de isquiotibiales esta resistencia no se debe aplicar hasta las 12 semanas para prevenir la elongación de la plastia<sup>(40)</sup>.

Pero tan importantes como los ejercicios encaminados a recuperar la fuerza del cuádriceps son los relacionados con la función neuromuscular<sup>(36,37)</sup>, pues debemos entender que la lesión del LCA no es solo un problema musculoesquelético, sino que se acompaña de una disfunción neurofisiológica que produce una serie de alteraciones funcionales que deberán recuperarse, sobre todo para evitar una nueva lesión, tanto en la rodilla operada como en la contralateral<sup>(41)</sup>.

En lo referente a la electroestimulación, solo se ha logrado demostrar sus efectos en la recuperación del cuádriceps en los 2 primeros meses<sup>(42)</sup>, además de contribuir a una pronta disminución del dolor postoperatorio<sup>(43)</sup>.

## Retorno al deporte

El objetivo tras el tratamiento de la lesión del LCA es que el deportista vuelva a disputar un partido al mismo nivel que tenía antes de lesionarse y con un riesgo de rerrotura de la plastia o del LCA contralateral similar al mismo grupo de población con el ligamento íntegro.

Volver a participar en eventos deportivos es un dato favorable cuando se evalúa el éxito del procedimiento quirúrgico de reconstrucción del LCA. Se ha mostrado que el 81% de los atletas vuelven a realizar algún tipo de actividad deportiva tras ser operados, un 65% vuelve al nivel deportivo previo a la operación y un 55% vuelve a participar en competiciones deportivas. Los pacientes en edad temprana tienen un factor favorable a la hora de volver al nivel previo a la lesión en su actividad deportiva. Los hombres consiguen volver a practicar deporte mejor que las mujeres y los deportistas de élite son más propensos a volver a la actividad deportiva que los que no pertenecen a categorías de élite<sup>(44)</sup>.

Hay diversos factores que contribuyen a la vuelta satisfactoria a la actividad deportiva. Marcar criterios de evaluación objetivos es útil para decidir si el atleta está preparado para volver a dicha actividad. Un reciente análisis exhaustivo ha demostrado que el 85% de los estudios utilizan el tiempo como único criterio para la vuelta del deportista después de la reconstrucción del LCA. Para algunos autores, como Grindem, 9 meses sería el tiempo necesario para disminuir las rerroturas<sup>(24)</sup>, mientras que otros como Nagelli y Hewett establecen los 2 años como el momento más seguro para la plastia<sup>(45)</sup>. Esto es algo muy importante cuando tratamos deportistas profesionales, pues es un periodo de tiempo muy largo para estar fuera de la competición.

Otros aspectos son raramente tenidos en cuenta como criterio para volver a la actividad deportiva después de la reconstrucción del LCA, incluyendo la fuerza (41% de los estudios), criterios basados en el rendimiento físico (20% de los



estudios) y criterios basados en la confianza del paciente (12% de los estudios)<sup>(46)</sup>.

Kyritsis *et al.* mostraron que aquellos deportistas que no cumplieron determinados criterios antes de la vuelta a su actividad deportiva (evaluación isocinética de la fuerza a 60, 180 y 300°, test T de correr, saltar con una pierna, salto triple y evaluaciones con mezcla de 3 saltos) tenían 4 veces más riesgo de recaer en la lesión<sup>(47)</sup>. Sin embargo, el tiempo desde la intervención hasta comenzar la competición sigue siendo un factor a tener en cuenta; Grindem *et al.* mostraron que por cada mes que la vuelta a la actividad deportiva es retrasada (de 6 hasta 9 meses) la probabilidad de recaer en la lesión se ve reducida favorablemente hasta un 51%<sup>(24)</sup>. Por el contrario, todos los deportistas que volvieron a practicar deporte con menos de 5 meses tras la operación sufrieron una recaída en la lesión. Por lo tanto, está claro que tanto el tiempo como los criterios objetivos son necesarios a la hora de la reincorporación segura al deporte<sup>(4,48)</sup>.

También es cierto que, además del factor de la rehabilitación, influyen aspectos psicológicos favorecedores, como el grado de autoestima, y negativos como el miedo a una nueva lesión<sup>(14)</sup>. Sin olvidar la presión que pueda ejercer el entorno sobre el deportista (el entrenador, la familia, etc.) o el miedo a perder el puesto en el equipo.

Otros factores que pueden intervenir en el resultado final son el sexo (las mujeres se recuperan peor), la edad (mejores resultados en menores de 30 años), cirugía posterior a los 3 meses y otros como fumar, un índice de masa corporal (IMC) > 30 o un rango de movilidad previo a la cirugía disminuido<sup>(49)</sup>.

En las últimas décadas se ha avanzado mucho en la técnica quirúrgica, el tratamiento rehabilitador postoperatorio y también en la identificación de aquellos factores favorecedores de la rotura del injerto. Sin embargo, tanto la literatura reciente como la práctica clínica no han mostrado un descenso en el fracaso de la plastia o en el rendimiento deportivo tras el tratamiento quirúrgico<sup>(3)</sup>.

Por todo ello, se hace necesario mejorar las fases del tratamiento rehabilitador incorporando el entrenamiento neuromuscular y, sobre todo, establecer unos criterios objetivos que permitan identificar el momento en el que el deportista puede reincorporarse a la competición de forma segura, reduciendo así el riesgo de una segunda

rotura, y en ocasiones recomendar un cambio en el tipo de actividad deportiva.

En la actualidad, no existen unos test consensuados que determinen la seguridad para el retorno a la actividad deportiva. El más utilizado es el LSI (Limb Symmetry Index), aunque no está claro dónde se debería poner el corte para la reincorporación a la competición<sup>(4)</sup>. En función de los resultados, se ha establecido como valor de seguridad LSI > 90%, pero esta puntuación solo la consigue el 23% de los deportistas y menos del 10% consigue un LSI > 95% el primer año<sup>(50)</sup>.

Este test tiene sus limitaciones, pues toma como referencia la extremidad contralateral que, en mayor o menor medida, se ve afectada en su patrón neuromuscular por la lesión del LCA en la rodilla lesionada.

En cuanto a las pruebas radiológicas para comprobar la integración del injerto, estaría la resonancia magnética, pero plantea el inconveniente de que no se recupera la señal de maduración hasta pasados los 18-24 meses<sup>(51)</sup>.

## 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. Moses B, Orchard J, Orchard J. Systematic review: annual incidence of ACL injury and surgery in various populations. *Res Sports Med* 2012;20:157-79.
2. 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;45:596-606.

3. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016 Jul;44(7):1861-76.
4. Ebert JR, Edwards P, Yi L, Joss B, Ackland T, Carey-Smith R, et al. Strength and functional symmetry is associated with post-operative rehabilitation in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018 Aug;26(8):2353-61.
5. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, Huston LJ, Spindler KP; MOON Consortium. Risk factors and predictors of subsequent ACL injury in either knee after ACL reconstruction: prospective analysis of 2488 primary ACL reconstructions from the MOON Cohort. *Am J Sports Med.* 2015 Jul;43(7):1583-90.
6. Faunø P, Rahr-Wagner L, Lind M. Risk for revision after anterior cruciate ligament reconstruction is higher among adolescents: results from the Danish registry of knee ligament reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2014;2(10):2325967114552405.
7. Shelbourne KD, Gray T, Haro M. Incidence of subsequent injury to either knee within 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Am J Sports Med.* 2009 Feb;37(2):246-51.
8. 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 Jan;43(1):121-7.
9. Morgan MD, Salmon LJ, Waller A, Roe JP, Pinczewski LA. Fifteen-year survival of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction in patients aged 18 years and younger. *Am J Sports Med.* 2016;44(2):384-92.
10. Yoo JH, Lim BO, Ha M, Lee SW, Oh SJ, Lee YS, Kim JG. A meta-analysis on the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18:824-30.
11. Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, Hewett TE. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2013;41:203-15.
12. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, Hewett TE. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010;38(10):1968-78.
13. Kvist J, Ek A, Sporrstedt K, Good L. Fear of re-injury: a hindrance for returning to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005 Jul;13(5):393-7.
14. Flanigan DC, Everhart JS, Pedroza A, Smith T, Kaeding CC. Fear of reinjury (kinesiophobia) and persistent knee symptoms are common factors for lack of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2013;29(8):1322-9.
15. Webster KE, Nagelli CV, Hewett TE, Feller JA. Factors Associated With Psychological Readiness to Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery. *Am J Sports Med.* 2018;46(7):1545-50.
16. McPherson AL, Feller JA, Hewett TE, Webster KE. Psychological Readiness to Return to Sport Is Associated With Second Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Am J Sports Med.* 2019;47(4):857-62.
17. Kilinc BE, Kara A, Oc Y, Celik H, Camur S, Bilgin E, et al. Transtibial vs anatomical single bundle technique for anterior cruciate ligament reconstruction: a retrospective cohort study. *Int J Surg.* 2016 May;29:62-9.
18. Pallis M, Svoboda SJ, Cameron KL, Owens BD. Survival comparison of allograft and autograft anterior cruciate ligament reconstruction at the United States Military Academy. *Am J Sports Med.* 2012;40(6):1242-6.
19. Wipfler B, Donner S, Zechmann CM, Springer J, Siebold R, Paessler HH. Anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon: a prospective comparative study with 9-year follow-up. *Arthroscopy.* 2011;27(5):653-65.
20. Rodeo SA, Arnoczky SP, Torzilli PA, Hidaka C, Warren RF. Tendon-healing in a bone tunnel: a biomechanical and histological study in the dog. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75(12):1795-03.
21. Kraeutler MJ, Bravman JT, McCarty EC. Bone-patellar tendon-bone autograft versus allograft in outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis of 5182 patients. *Am J Sports Med.* 2013;41(10):2439-48.
22. Ghodadra NS, Mall NA, Grumet R, Sherman SL, Kirk S, Provencher MT, Bach BR Jr. Interval arthrometric comparison of anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone autograft versus allograft: do grafts attenuate within the first year postoperatively? *Am J Sports Med.* 2012 Jun;40(6):1347-54.
23. Magnussen RA, Lawrence JT, West RL, Toth AP, Taylor DC, Garrett WE. Graft size and patient age are predictors of early revision after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Arthroscopy.* 2012;28(4):526-31.

24. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.* 2016;50(13):804-8.
25. Grassi A, Ardern CL, Marcheggiani Muccioli GM, Neri MP, Marcacci M, Zaffagnini S. Does revision ACL reconstruction measure up to primary surgery? A meta-analysis comparing patient-reported and clinician-reported outcomes, and radiographic results. *Br J Sports Med.* 2016;50:716-24.
26. Samuelsen BT, Webster KE, Johnson NR, Hewett TE, Krych AJ. Hamstring Autograft versus Patellar Tendon Autograft for ACL Reconstruction: Is There a Difference in Graft Failure Rate? A Meta-analysis of 47,613 Patients. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(10):2459-68.
27. Engebretsen L, Lew WD, Lewis JL, Hunter RE. The effect of an iliotibial tenodesis on intraarticular graft forces and knee joint motion. *Am J Sports Med.* 1990;18(2):169-76.
28. Shelbourne KD, Sullivan AN, Bohard K, Gray T, Urch SE. Return to basketball and soccer after anterior cruciate ligament reconstruction in competitive schoolaged athletes. *Sports Health.* 2009 May;1(3):236-41.
29. Dekker TJ, Godin JA, Dale KM, Garrett WE, Taylor DC, Riboh JC. Return to Sport After Pediatric Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Its Effect on Subsequent Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(11):897-904.
30. Grindem H, Granan LP, Risberg MA, Engebretsen L, Snyder-Mackler L, Eitzen I. How does a combined preoperative and postoperative rehabilitation programme influence the outcome of ACL reconstruction 2 years after surgery? A comparison between patients in the Delaware-Oslo ACL Cohort and the Norwegian National Knee Ligament Registry. *Br J Sports Med.* 2015;49(6):385-9.
31. George MS, Dunn WR, Spindler KP. Current concepts review: revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2006;34(12):2026-37.
32. Warden SJ, Avin KG, Beck EM, DeWolf ME, Hagemeyer MA, Martin KM. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates and a nonsteroidal anti-inflammatory drug delays knee ligament healing. *Am J Sports Med.* 2006;34(7):1094-102.
33. Martimbianco AL, Gomes da Silva BN, de Carvalho AP, Silva V, Torloni MR, Peccin MS. Effectiveness and safety of cryotherapy after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. A systematic review of the literature. *Phys Ther Sport.* 2014;15(4):261-8.
34. Isberg J, Faxén E, Brandsson S, Eriksson BI, Kärrholm J, Karlsson J. Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(11):1108-15.
35. Tyler TF, McHugh MP, Gleim GW, Nicholas SJ. The effect of immediate weightbearing after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(357):141-8.
36. Gokeler A, Bisschop M, Benjaminse A, Myer GD, Eppinga P, Otten E. Quadriceps function following ACL reconstruction and rehabilitation: implications for optimisation of current practices. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(5):1163-74.
37. Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. A systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94:1737-48.
38. Glass R, Waddell J, Hoogenboom B. The Effects of Open versus Closed Kinetic Chain Exercises on Patients with ACL Deficient or Reconstructed Knees: a Systematic Review. *N Am J Sports Phys Ther.* 2010;5(2):74-84.
39. Fukuda TY, Fingerhut D, Moreira VC, Camarini PM, Scodeller NF, Duarte A Jr, et al. Open kinetic chain exercises in a restricted range of motion after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial. *Am J Sports Med.* 2013 Apr;41(4):788-94.
40. Heijne A, Werner S. Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:402-14.
41. Courtney CA, Rine RM. Central somatosensory changes associated with improved dynamic balance in subjects with anterior cruciate ligament deficiency. *Gait Posture.* 2006;24(2):190-5.
42. Feil S, Newell J, Minogue C, Paessler HH. The effectiveness of supplementing a standard rehabilitation program with superimposed neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, single-blind study. *Am J Sports Med.* 2011;39(6):1238-47.
43. Christanell F, Hoser C, Huber R, Fink C, Luomajoki H. The influence of electromyographic biofeedback therapy on knee extension following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2012;4(1):41.
44. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med.* 2014;48(21):1543-52.
45. Nagelli CV, Hewett TE. Should Return to Sport be Delayed Until 2 Years After Anterior Cruciate Ligament



- Reconstruction? Biological and Functional Considerations. *Sports Med.* 2017;47(2):221-32.
46. Burgi CR, Peters S, Ardern CL, Magill JR, Gomez CD, Sylvain J, Reiman MP. Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. *Br J Sports Med.* 2019 Sep;53(18):1154-61.
47. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med.* 2016;50(15):946-51.
48. Welling W, Benjaminse A, Seil R, Lemmink K, Zaffagnini S, Gokeler A. Low rates of patients meeting return to sport criteria 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective longitudinal study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(12):3636-44.
49. de Valk EJ, Moen MH, Winters M, Bakker EW, Tamminga R, van der Hoeven H. Preoperative patient and injury factors of successful rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction with single-bundle techniques. *Arthroscopy.* 2013;29(11):1879-95.
50. Thomeé R, Neeter C, Gustavsson A, Thomeé P, Augustsson J, Eriksson B, Karlsson J. Variability in leg muscle power and hop performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012 Jun;20(6):1143-51.
51. Recht MP, Kramer J. MR imaging of the postoperative knee: a pictorial essay. *Radiographics.* 2002;22(4):765-74.