



## Artículo de revisión

# Diagnóstico y manejo de la lesión del ligamento cruzado anterior en pacientes esqueléticamente inmaduros. Una revisión narrativa

A. Espejo Reina<sup>1,2</sup>, T. Roca Sánchez<sup>3</sup>, J. Dalla Rosa<sup>4</sup>, L. Trueba Sánchez<sup>5</sup>, T. Blázquez Martín<sup>6</sup>, L. Arbeloa<sup>7</sup>, J. L. Cabré Serres<sup>8</sup>, G. Hernández Fernández<sup>9</sup>, R. J. Corrales Merinero<sup>10</sup>, D. González-García<sup>11,12</sup>

<sup>1</sup> Clínica Espejo. Málaga

<sup>2</sup> Hospital Vithas Málaga

<sup>3</sup> Hospital Vithas Santa Catalina. Las Palmas de Gran Canaria

<sup>4</sup> Agencia Sanitaria Costa del Sol. Marbella, Málaga

<sup>5</sup> Hospital Universitario de Burgos

<sup>6</sup> Hospital Universitario del Sureste. Arganda del Rey, Madrid

<sup>7</sup> Hospital García Orcoyen. Estella, Navarra

<sup>8</sup> Hospital Universitario Mútua Terrassa. Barcelona

<sup>9</sup> Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla. Madrid

<sup>10</sup> Hospital Ochoa. Institut Margalet. Marbella

<sup>11</sup> Hospital Universitario de Guadalajara

<sup>12</sup> Complejo Hospitalario Quirón Juan Bravo. Madrid

## Correspondencia:

Dra. Deborah González-García

Correo electrónico: dra.gonzalezgarcia@gmail.com

Recibido el 3 de julio de 2020

Aceptado el 25 de enero de 2021

Disponible en Internet: abril de 2021

## RESUMEN

La incidencia de lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) en pacientes esqueléticamente inmaduros ha aumentado mucho en los últimos años, especialmente por el incremento en el nivel de exigencia a nivel deportivo cada vez a edades más tempranas, por la mayor incorporación de las mujeres al deporte de competición y por el aumento de la obesidad infantil; la presencia de hemartros se hace menos específica de lesión del LCA en comparación con la población adulta y la resonancia magnética es fundamental por su capacidad para valorar el estado madurativo de las fisis. Recientemente, han ganado importancia los programas de prevención, ya que han mostrado una importante reducción en la incidencia de rotura del LCA en esta población; también se ha demostrado que, cuando aparece la lesión, el tratamiento quirúrgico es la mejor opción para pacientes esqueléticamente inmaduros y se ha visto que su retraso incrementa las lesiones asociadas, como las meniscales y las condrales. El

## ABSTRACT

### Diagnosis and management of injuries of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. A narrative review

The incidence of anterior cruciate ligament (ACL) injuries in skeletally immature patients has increased greatly in recent years, especially due to growing sports demands at increasingly younger ages, an increased number of females involved in competition sports, and the rise in childhood obesity. In such cases the presence of hemarthrosis is less specific of ACL damage compared with the adult population, and magnetic resonance imaging (MRI) proves crucial for assessing physeal maturity. Prevention programs have recently gained importance, since they have been shown to result in an important decrease in the incidence of ACL rupture in this population. It has also been seen that when the lesion appears, surgery is the best management option for skeletally immature patients, and postponing such treatment has been



<https://doi.org/10.24129/j.reaca.28272.fs2007038>

© 2021 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/)).

factor determinante en el tratamiento quirúrgico es la presencia de las fisas en este grupo de pacientes; por esto, se expone un algoritmo de tratamiento quirúrgico donde se elige la técnica en función del estado madurativo del lesionado y se tienen en cuenta otras consideraciones, como el tipo de fijación de la plastia y la necesidad o no de plastia extraarticular. Por último, se muestran los principales aspectos sobre el postoperatorio, la rehabilitación y la vuelta al deporte, que es el objetivo final del tratamiento de estas lesiones en los pacientes esqueléticamente inmaduros, retrasando cada vez más la vuelta a la competición de alta demanda.

**Palabras clave:** Ligamento cruzado anterior. Rodilla. Paciente esqueléticamente inmaduro. Paciente pediátrico.

### Introducción

La población pediátrica es especialmente susceptible a las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA), por sus características intrínsecas: es un grupo de población con un gran nivel de actividad y presenta inmadurez en sus tejidos (mayor laxitud articular<sup>(1)</sup> y menor fuerza), así como también una menor sensación de peligro frente a situaciones de riesgo y menos adherencia al tratamiento.

En los últimos años se ha visto un incremento de las lesiones del LCA en pacientes pediátricos, suponiendo el 26-65% de los hemartros en los deportistas más jóvenes<sup>(2)</sup>. Este incremento (hasta un 2,3% anual en los últimos 20 años)<sup>(3)</sup> está relacionado principalmente con el aumento en el número de niños que practican deportes de pivote a un alto nivel competitivo y con una especialización deportiva temprana<sup>(4)</sup>.

El manejo de las lesiones del LCA en pacientes pediátricos ha sido muy controvertido. Muchos cirujanos temen las posibles alteraciones del crecimiento tras una reconstrucción del LCA, secundarias al daño de las fisas causado por el abordaje quirúrgico, el brocado de túneles o el sistema de fijación de las plastias<sup>(5)</sup>. Sin embargo, la demora en la cirugía aumenta las lesiones meniscales y condrales<sup>(6)</sup>.

Además, la rodilla esqueléticamente inmadura tiene unas características anatómicas que la diferencian del adulto: especialmente, la presencia de las fisas y el tamaño de la escotadura intercondílea, por lo que es fundamental conocer el estado madurativo en el tratamiento de las lesiones del LCA en estos pacientes.

El objetivo de este artículo es realizar una revisión para ayudar a entender mejor este tipo de lesiones en los pacientes más jóvenes y facilitar la toma de decisiones, así como para unificar conceptos y estrategias.

found to increase the associated lesions, such as meniscal and chondral damage. The determining factor in surgical treatment is the presence of the physes in this patient group. A surgical treatment algorithm therefore has been established in which the technique is chosen according to the maturity status of the patient, and other aspects are also taken into account, such as the type of plasty fixation and the need or not for extraarticular plasty. Lastly, a description is provided of the main aspects referred to the post-operative period, rehabilitation and the return to sports activities - this being the ultimate aim of the treatment of these lesions in skeletally immature patients, with increasingly longer postponement of the return to high-demand competition.

**Key words:** Anterior cruciate ligament. Knee. Skeletally immature patient. Pediatric patient.

### Diagnóstico

#### Epidemiología y anamnesis

La rodilla del niño está sometida a altas demandas de pivote y contacto sin estar estrictamente relacionadas con actividades deportivas. No obstante, es el deporte la causa más frecuente de lesión del LCA en niños<sup>(7)</sup>.

Ante una gonalgia postraumática en un niño, inicialmente, se debe realizar una historia clínica completa buscando el mecanismo lesional. La anamnesis y la exploración física suelen estar condicionadas por el estrés emocional del niño, lo cual puede condicionar el diagnóstico inicial<sup>(8)</sup>.

El sexo del paciente tiene gran importancia, ya que las niñas van a tener mayor laxitud<sup>(1)</sup>, mayor riesgo de rotura del LCA<sup>(4,9)</sup>, riesgo de lesiones asociadas<sup>(10)</sup> y dificultad para la vuelta al deporte<sup>(11)</sup>.

La edad también será crítica en la toma de decisiones; cuanto menor es la madurez articular (mayor laxitud<sup>(1)</sup> y ósea es mayor el riesgo de alteración del crecimiento por daño fisario. La mayor incidencia de lesiones del LCA se encuentra entre los 15 y los 18 años, mientras que la mayor tasa de cirugía de revisión se da en pacientes alrededor de los 14 años<sup>(12)</sup>. La madurez sexual (clasificación de Tanner)<sup>(13)</sup>, el estirón puberal o la comparación de la altura con hermanos y padres van a ser determinantes en la selección del tratamiento frente a estas lesiones.

La obesidad infantil, que en nuestro país alcanza cifras del 40%<sup>(14)</sup>, también favorece las lesiones del LCA<sup>(15)</sup> y un aumento de las lesiones asociadas<sup>(16)</sup>.

El tiempo desde la lesión hasta la cirugía es determinante, especialmente en relación con las lesiones asociadas: demorar la cirugía más de 12 semanas desde el accidente incrementa las lesiones meniscales y condrales<sup>(6,10)</sup>. Esta demora se ha asociado no solo con la toma de

decisiones del cirujano responsable, sino también con la situación socioeconómica de los pacientes<sup>(17-19)</sup>.

El mecanismo lesional más frecuente en pacientes jóvenes es el valgo y la rotación externa en un traumatismo indirecto sobre la rodilla durante la práctica deportiva<sup>(20)</sup>. Suele aparecer dolor, tumefacción y sensación de inestabilidad en determinados movimientos de la rodilla. En este punto, es importante hacer diferencia entre lesiones agudas y crónicas, ya que en las primeras prevalecerán el dolor y la inflamación, y en las segundas, la sensación de inestabilidad.

### Exploración física

El choque o peloteo rotuliano señala la existencia de hemartros. Sin embargo, en niños menores de 12 años, esta relación no es tan importante, ya que existe la misma probabilidad de aparición de lesiones meniscales aisladas que de lesiones del LCA (47%), a diferencia de los pacientes entre los 12 y los 18 años, en los cuales esta relación sí se asemeja al 65% de las lesiones del LCA<sup>(21)</sup>.

Los test específicos que se utilizan para la exploración de las lesiones del LCA en pacientes esqueléticamente inmaduros no difieren de los que se realizan en los adultos: las principales pruebas a realizar son el test de Lachman y el de *pivot shift*. Estas pruebas pueden disminuir su sensibilidad por el dolor y la limitación del balance articular iniciales. Se debería repetir la exploración tras 2-3 semanas, cuando cesen el dolor y la inflamación, y tras recobrar el balance articular completo. Además, esto debe repetirse siempre bajo anestesia en caso de cirugía, que es cuando la exploración física aumenta al máximo la sensibilidad: el test de *pivot shift* puede pasar de un 35% de sensibilidad en consulta a un 98% bajo anestesia<sup>(21)</sup>. En lesiones agudas, el signo de la palanca (*lever sign*) o test de Lelli (**Figura 1**) ha demostrado una mayor sensibilidad frente a las pruebas previamente descritas<sup>(22)</sup>.

Además del diagnóstico de la lesión del LCA, se deben buscar posibles lesiones concomitantes: hay que incluir las maniobras de provocación meniscal, así como palpar ambos cóndilos femorales para descartar posibles lesiones osteocondrales y valorar la competencia del aparato extensor.

Un tipo de lesión muy relacionada con las lesiones del LCA es la denominada lesión de la rampa meniscal del cuerno posterior del menisco medial (aunque han sido poco estudiadas en pacientes esqueléticamente inmaduros): aparecen en alrededor del 25% de los casos<sup>(23)</sup> en la población pediátrica con lesión del LCA. Para su correcto diagnóstico, es fundamental la realización de un portal posteromedial<sup>(23)</sup>. El signo de Finochietto (en consulta, bajo anestesia y artroscópico) puede ayudar en el diagnóstico de estas lesiones<sup>(24)</sup>.

La rodilla del niño es una articulación mucho más laxa comparada con la del adulto y esto no debe ser conside-



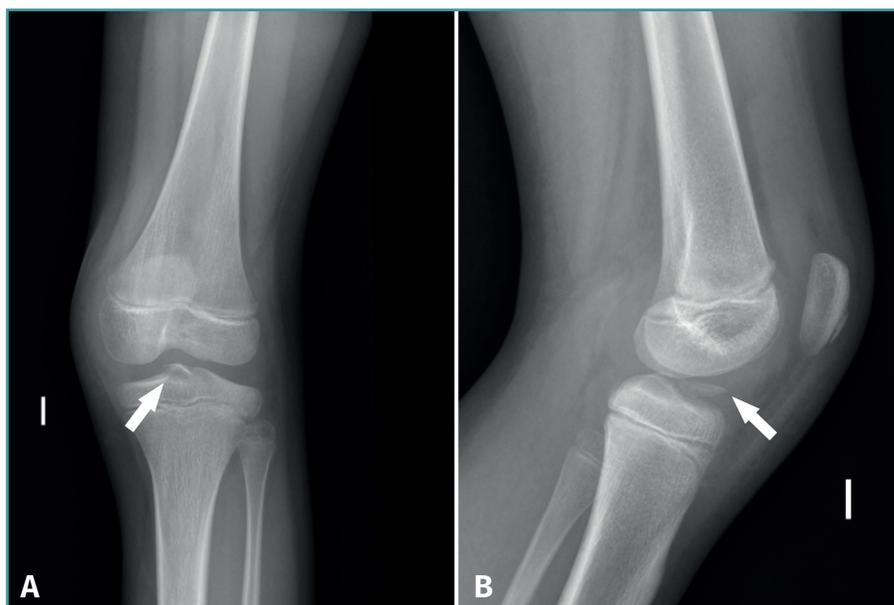
**Figura 1.** Test de Lelli o lever sign negativo en la rodilla izquierda y positivo en la derecha. En este test, el examinador aplica fuerza hacia abajo justo proximal a la articulación de la rodilla con el otro puño bajo el tercio proximal del gemelo. Con el ligamento cruzado anterior (LCA) intacto, el talón debe levantarse de la mesa (prueba negativa). En una rotura del LCA, el talón del paciente permanecerá sobre la camilla, al desplazarse el fémur hacia posterior (prueba positiva).

rado como patológico. Por ello, si bien en cada paciente independientemente de su edad deben ser evaluadas ambas rodillas para determinar una inestabilidad y no confundir con una hiperlaxitud, esto adquiere aún más importancia en pacientes pediátricos, porque esta laxitud en este grupo de edad suele ser simétrica y no tener signos asociados<sup>(1,25)</sup>.

### Pruebas complementarias

#### Radiografía simple (Rx)

Habitualmente son normales, pero permiten descartar otro tipo de lesiones. Las fracturas de las espinas tibiales



**Figura 2.** Radiografías de la rodilla izquierda anteroposterior (A) y lateral (B) de un niño de 10 años donde se aprecia arrancamiento de la espina tibial anterior desplazada (flecha), grado II de la clasificación de Meyers y McKeever.

como en la tibia proximal (**Figura 3**), constituyendo el mejor método para su evaluación<sup>(30)</sup>; la presencia de las fisas puede dificultar el diagnóstico de lesiones ligamentosas en pacientes inmaduros<sup>(32)</sup>.

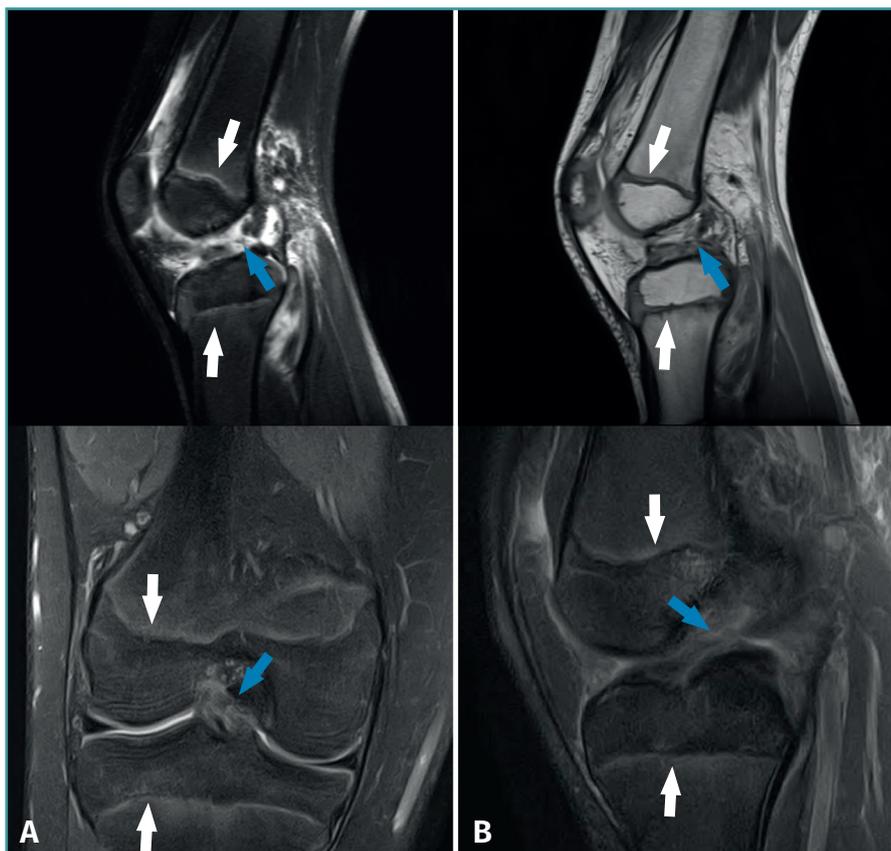
La RM permite valorar el estado fisario con precisión<sup>(33)</sup>. El cierre fisario es directamente proporcional a la edad, aunque existen diferencias según el sexo<sup>(28)</sup>. La tasa de cierre fisario es del 0% hasta los 11 años, del 5% a los 12 años, del 34% a los 13 años, del 53% a los 14 años, del 94% a los 15 años y del 100% a partir de los 16 años<sup>(33)</sup>; esto indica que el crecimiento es completo en niñas alrededor de los 14 años y alrededor de los 16 años en niños. Además, la porción central de la fisas de

(**Figura 2**) en los niños se pueden producir con una historia clínica y una exploración física similares a las de las lesiones del LCA<sup>(26)</sup>. Además, permiten valorar otras lesiones (epifisiólisis, fracturas-avulsiones del polo inferior de la rótula o fracturas de la tuberosidad tibial) características del paciente pediátrico<sup>(27)</sup>. Por lo tanto, las Rx anteroposterior en carga y lateral de ambas rodillas son necesarias ante la sospecha de una lesión del LCA.

En los pacientes pediátricos, las Rx son fundamentales para conocer el grado real de madurez esquelética. Los métodos más empleados incluyen Rx de la rodilla<sup>(28)</sup>, de la mano<sup>(29,30)</sup> o de la pelvis, según la osificación de la cresta ilíaca (clasificación de Risser)<sup>(31)</sup>, o de codo.

### Resonancia magnética (RM)

La RM muestra las fisas con gran detalle tanto en el fémur distal



**Figura 3.** Imágenes de resonancia magnética de rodilla de 2 niños con fisas abiertas (flechas blancas) con rotura del ligamento cruzado anterior (flecha azul).

la tibia proximal se cierra antes que la porción periférica, hecho importante para la ubicación del túnel tibial en la reconstrucción del LCA.

La RM también es útil en el diagnóstico de patologías menos frecuentes, como la agenesia de ligamentos cruzados (2/100.000 niños)<sup>(34)</sup>, habitualmente asintomática y que se asocia a otras anomalías alrededor de la rodilla<sup>(35)</sup>, que pueden ayudar en su identificación.

## Ecografía

Aunque hay autores que promueven su utilidad<sup>(36,37)</sup>, la ecografía no se ha estandarizado como prueba diagnóstica en las lesiones del LCA y no hay datos aún en pacientes esqueléticamente inmaduros. No obstante, el desarrollo de esta técnica en nuestra especialidad y su capacidad en el diagnóstico de lesiones asociadas a las de LCA<sup>(38)</sup> hacen pensar que cobrará mayor importancia en un futuro próximo.

## Tratamiento

La toma de decisiones frente a un paciente pediátrico con rotura del LCA debe consensuarse entre el médico, el paciente y sus padres o tutores. Los objetivos del tratamiento son:

1. Restablecer la función normal de la rodilla y su estabilidad, permitiendo el desempeño de un estilo de vida activo y saludable.
2. Reducir el impacto existente (o el riesgo de que lo haya) de patología meniscal o condral, y los posibles cambios degenerativos, así como la necesidad de intervenciones quirúrgicas futuras.
3. Minimizar el riesgo de detención del crecimiento y/o la deformidad femoral o tibial.

Existen 4 aspectos fundamentales en el tratamiento de las lesiones del LCA: la prevención, el tratamiento conservador y, dentro del tratamiento quirúrgico, la reparación y la reconstrucción.

## Prevención

Es una parte primordial del tratamiento, dadas las consecuencias deletéreas en este grupo de edad. Los programas de prevención están orientados a reducir el número de pacientes que puedan sufrir una primera rotura del LCA, así como a disminuir la tasa de rerroturas en aquellos que regresan al deporte tras una lesión: pueden evitar hasta un 53% de las lesiones del LCA, con una mayor evidencia de efectividad para los ejercicios pliométricos, de fuerza y de agilidad<sup>(39)</sup>.

Probablemente, el más popular de estos protocolos sea el 11 + Kids<sup>(40)</sup>, promovido por la Fédération Interna-

tionale de Football Association (FIFA), que ha demostrado ser capaz de reducir las lesiones<sup>(41)</sup> y ser coste-efectivo<sup>(42)</sup>. Otro recurso para la prevención de lesiones deportivas es Skadefri<sup>(43)</sup>, página web desarrollada por el Oslo Sports Trauma Research Center, que abarca un gran número de deportes y tiene una aplicación móvil (Get Set) que puede resultar muy útil a los pacientes lesionados.

A pesar de que existe evidencia sobre la capacidad de evitar lesiones de estos programas de prevención<sup>(39)</sup>, aún queda mucho trabajo por hacer, especialmente desde los clubes deportivos y los entrenadores<sup>(44)</sup>. Se detectaron como principales barreras a la implantación: la falta de motivación, los requerimientos técnicos de los entrenadores y de tiempo durante el entrenamiento, el seguimiento y el coste<sup>(45)</sup>, aunque en el mismo estudio se proponen medidas, que deberían implantarse de forma precoz, ya que se ha comprobado una mayor efectividad en los programas de prevención cuando estos se implementan a edades más tempranas<sup>(46)</sup>.

## Tratamiento conservador

Históricamente, las lesiones del LCA en niños se han tratado de forma conservadora (fisioterapia, ortesis y restricción de actividad) hasta que estuvieran cerca de la madurez esquelética para someterse a la reconstrucción del LCA mediante técnicas descritas para adultos<sup>(47-49)</sup>. Retrasar la cirugía evita la alteración iatrogénica de la fisis y permite alcanzar la madurez psicológica necesaria para el cumplimiento de la terapia postoperatoria<sup>(50)</sup>.

Sin embargo, estudios más recientes han demostrado resultados pobres e inaceptables con el tratamiento conservador: persiste una inestabilidad recurrente que favorece el daño meniscal y condral, cambios degenerativos tempranos y altas tasas de abandono deportivo<sup>(10)</sup>. Ramski *et al.*<sup>(51)</sup> observaron que los pacientes tratados conservadoramente presentaron 33,7 veces más probabilidades de tener inestabilidad clínica y 12 veces más probabilidades de desarrollar rotura del menisco medial. La probabilidad de regresar al deporte fue 91,2 veces mayor en el grupo de reconstrucción precoz del LCA. Los posibles factores que contribuyen a estos malos resultados incluyen tanto los niveles de actividad significativamente más altos observados en la población pediátrica como el incumplimiento de la modificación de sus niveles de actividad después de la lesión<sup>(47,48)</sup>.

El tratamiento conservador podría ser una opción razonable en lesiones parciales del LCA en pacientes menores de 14 años, con desgarros que afecten solo al fascículo anteromedial y con test de Lachman y *pivot shift* de bajo grado en la exploración<sup>(52)</sup>. Además, deberían cumplir con una restricción de actividad significativa o completa, con el entendimiento mutuo de que los síntomas recurrentes de inestabilidad pueden requerir inevitablemente la reconstrucción del LCA<sup>(53)</sup>.

No se recomienda el tratamiento conservador en pacientes con inestabilidad funcional clara ni en aquellos que presenten lesiones intraarticulares concomitantes que precisen tratamiento quirúrgico<sup>(54)</sup>.

Es imprescindible presentar al niño y a los padres información detallada sobre las opciones de tratamiento quirúrgico y conservador, sus riesgos y sus beneficios, y se deben tener en cuenta las aspiraciones deportivas del niño a la hora de optar por un tratamiento u otro<sup>(49)</sup>.

Se debe controlar de cerca y con frecuencia al niño con RM repetidas y exámenes clínicos hasta la maduración esquelética, además de estar alerta ante episodios de inestabilidad y lesiones intraarticulares secundarias que serían indicación de tratamiento quirúrgico inmediato<sup>(55)</sup>. En el estudio de Kocher *et al.* un 31% de los pacientes sometidos a tratamiento conservador precisaron reconstrucción quirúrgica por síntomas persistentes de inestabilidad durante el deporte<sup>(52)</sup>.

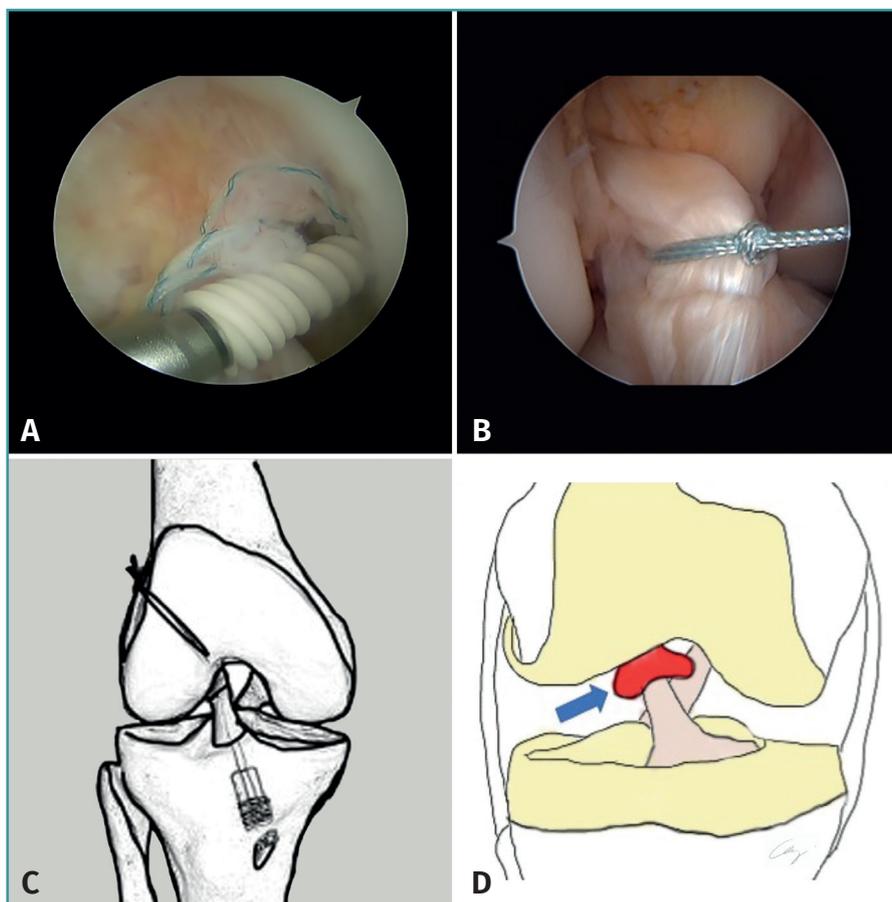
### Reparación del ligamento cruzado anterior en niños: cuándo, cómo y por qué

En los últimos años, ha resurgido el interés por las técnicas de reparación del LCA. Esta podría aportar algunas ventajas teóricas respecto a la reconstrucción, como son la preservación de la anatomía (zona de inserción y morfología de las bandas del LCA, nervios y población celular intrínseca) y de algunas propiedades biomecánicas complejas del ligamento<sup>(56)</sup>. Además, la recuperación tras esta cirugía parece más rápida y fácil para el paciente que en una reconstrucción<sup>(57)</sup>.

La reparación primaria solo está indicada en pacientes con avulsión femoral del LCA –Sherman<sup>(58)</sup> de tipo I o, en ocasiones, de tipo II; el extremo proximal del LCA tiene mejor vascularización<sup>(59)</sup> y capacidad de cicatrización<sup>(60)</sup>– y que preserven un tejido de buena calidad. Esta situación suele encontrarse en fase subaguda (es decir, entre 2 semanas y 3 meses) o en roturas crónicas si el LCA está adhe-

rido al ligamento cruzado posterior<sup>(61)</sup>. Existen diferentes técnicas para la reparación del LCA (Figura 4).

Sin embargo, cuando se estudia específicamente la población pediátrica, los resultados no son del todo concluyentes: Gagliardi *et al.*<sup>(62)</sup> encontraron 10 veces más posibilidades de rerrotura y una incidencia acumulada a 3 años cercana al 50% en pacientes con reparación frente a pacientes con reconstrucción, mientras que Dabis *et al.*<sup>(63)</sup> encontraron que, de 20 pacientes entre 6 y 16 años a los que se les realizó la reparación directa, no hubo ninguna complicación ni fallo a corto plazo (2 años). La reparación de las roturas del LCA en la población pediátrica es una opción atractiva; no obstante, en el momento actual de desarrollo de las diferentes técnicas no se puede realizar una recomendación clara a su favor y, en caso de



**Figura 4.** Técnicas de reparación del ligamento cruzado anterior (LCA): A: reparación sin aumentación: reinserción de cada haz con implantes sin nudo. Se asocian microfracturas en el lecho de implantación para mejorar el gradiente biológico de reparación; B: reparación con aumentación estática: se sutura el LCA roto y además se puentea el ligamento con una cinta de polietileno de 2,5 mm a través de las inserciones anatómicas del LCA; C: reparación con aumentación dinámica: en la inserción tibial se coloca un dispositivo de tipo resorte que mantiene la tensión del sistema durante todo el balance articular de la rodilla; D: reparación con aumentación biológica: se interpone una matriz extracelular de origen bovino rellena de sangre (flecha) entre el extremo proximal del LCA y el hueso.

optar por este tratamiento, debe informarse muy cuidadosamente de los riesgos al paciente y su familia.

## Reconstrucción

Actualmente, es el tratamiento de elección en la mayoría de los casos en la población pediátrica. Existen diversas técnicas quirúrgicas, que pueden clasificarse en 2 grandes grupos, según respeten o no las fisas. Dentro de este apartado, se repasarán las técnicas disponibles y distintas consideraciones sobre la elección del injerto, los sistemas de fijación y las plastias extraarticulares.

## Técnicas

### Técnicas que evitan la fisis

La tasa de lesión de las fisas con estas técnicas es mucho menor y se presentan pocas alteraciones de crecimiento en los estudios a largo plazo<sup>(64)</sup>. Existen 2 subtipos según se realicen o no túneles óseos:

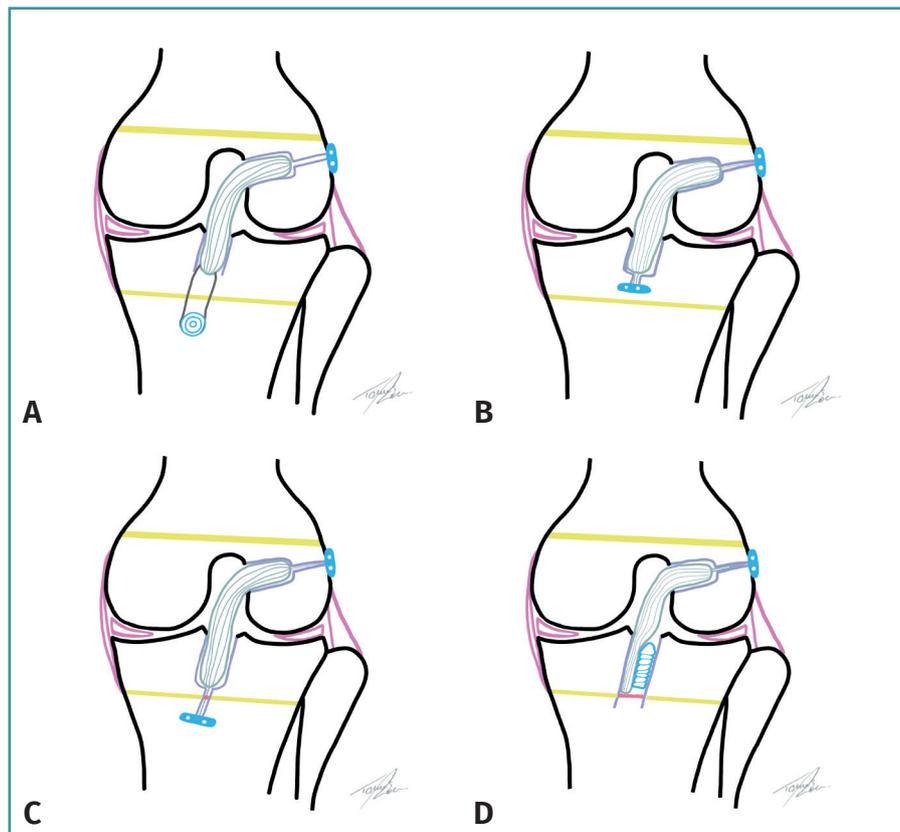
- **Técnicas epifisarias (all-epiphyseal).** Se realizan túneles óseos en la epífisis distal de fémur y proximal de tibia sin perforar sus respectivas fisas. La primera técnica epifisaria fue descrita por Anderson<sup>(2)</sup> (**Figura 5A**), utilizando autoinjerto cuádruple de isquiotibiales con túneles óseos realizados bajo control radioscópico. La fijación femoral se realiza mediante un sistema de suspensión y la tibial, anudando las suturas de la plastia a un tornillo anclado distal a la fisis y medial a la tuberosidad tibial. La técnica modificada de Cordasco-Green<sup>(65)</sup> (**Figura 5B**) utiliza un sistema de suspensión también para la fijación tibial para evitar las complicaciones del tornillo distal en la tibia o de un tornillo interferencial.

Wall<sup>(66)</sup> describió una técnica en la que realiza un doble túnel epifisario en la tibia y fijación en el fémur con un tornillo. El doble túnel tibial permite crear

un puente óseo (mínimo de 1 cm) que asegura la fijación tibial sin necesidad de implante. Espejo-Reina *et al.* han descrito, asimismo, una técnica de doble túnel tibial<sup>(67)</sup> (epifisario el proximal, diafisario el distal) para puentear la fisis y evitar sistemas de fijación en la epífisis, por la limitación de espacio que se encuentra con frecuencia.

Las técnicas epifisarias no están exentas de lesionar la fisis. Se han descrito tasas de alrededor del 15% de cierre precoz de la fisis femoral<sup>(68,69)</sup>. Wong *et al.*<sup>(70)</sup> concluyen que cualquier tipo de técnica tiene su riesgo de lesión fisaria.

- **Técnicas extrafisarias.** Se realizan sin túneles óseos. Micheli<sup>(71)</sup> y, posteriormente, Kocher<sup>(72)</sup> describieron la primera técnica destinada a pacientes pediátricos, utilizando como plastia una porción de banda iliotibial (IT) respetando su inserción distal. Mediante una reconstrucción combinada extra- e intraarticular, la porción de la banda IT discurre superficial al ligamento colateral lateral (LCL) hacia una posición *over-the-top* en el fémur para entrar en la articulación por la parte posterior del intercóndilo y,

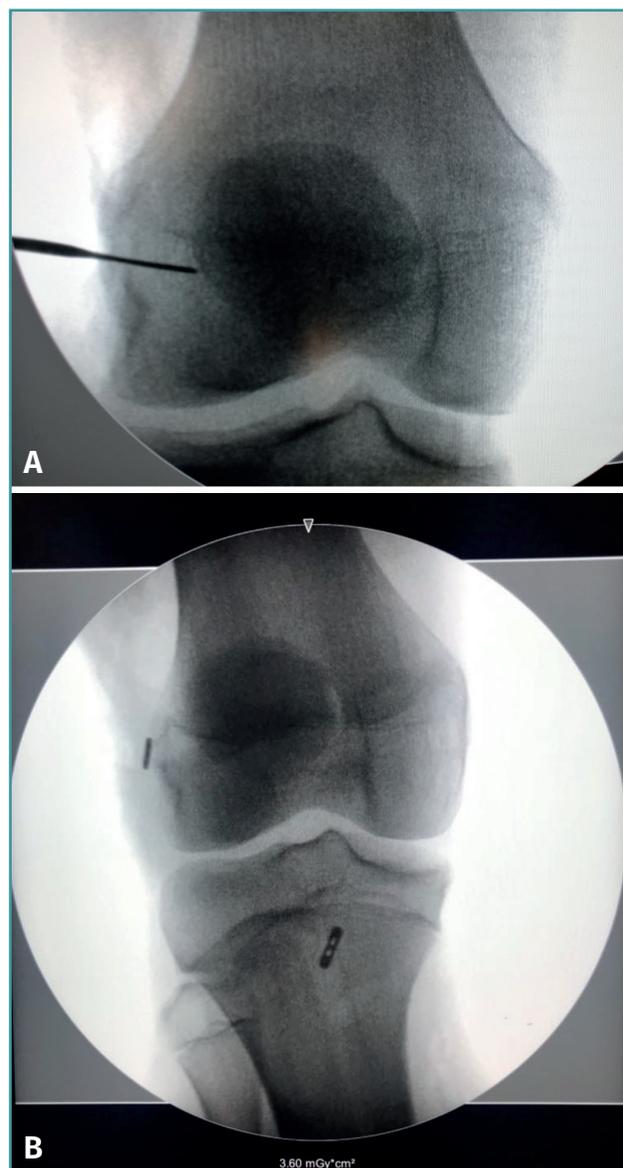


**Figura 5.** Técnicas más utilizadas en la reconstrucción de ligamentos cruzados anteriores (LCA) pediátricos. A: técnica epifisaria con tornillo de fijación distal a la fisis (Anderson)<sup>(2)</sup>; B: técnica totalmente epifisaria con sistemas de suspensión cortical (Cordasco-Green)<sup>(65)</sup>; C: técnica parcialmente transfisaria con sistemas de suspensión cortical en la que se atraviesa la fisis tibial solo con la aguja y se realiza brocado retrógrado hasta la fisis sin dañarla; D: técnica estándar respetando la fisis femoral y atravesando la fisis tibial intentando que el tornillo interferencial quede proximal a la fisis.

finalmente, tras pasar por debajo del ligamento intermeniscal, se sutura en el periostio de la cara anteromedial de la tibia.

Willimon<sup>(73)</sup> tuvo una baja tasa de reoperación con la técnica de Micheli, sin alteraciones de las fisis y con un retorno al nivel de actividad previo a la lesión. Kocher<sup>(74)</sup> encontró una evolución satisfactoria en 240 rodillas, sin

alteraciones del crecimiento y con una baja tasa de rotura de la plastia (6,6%). Sin embargo, este procedimiento también tiene desventajas, como son la dificultad técnica, que se trata de una técnica no anatómica y que produce una asimetría lateral en el sitio donante de la banda IT en un gran porcentaje de los casos, sin minimizar la alta morbilidad de la técnica.



**Figura 6.** Imagen de radioscopia intraoperatoria de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) en un paciente esqueléticamente inmaduro con técnica transfisaria parcial. A: el punto de entrada del túnel femoral distal a la fisis se encuentra marcado con una punta metálica; B: control postoperatorio de técnica transfisaria parcial, en el que se observa el botón cortical del fémur en la epifisis femoral distal y el botón tibial en situación distal a la fisis, en una localización más central para realizar un túnel más vertical y disminuir el daño fisario.

### Técnicas que atraviesan la fisis de crecimiento (transfisarias)

En estas técnicas se perforan túneles en las 2 fisis (fémur y tibia) (Figura 5 C y D). Son técnicas similares a las utilizadas en adultos. La técnica transfisaria parcial es una híbrida en la que solo se atraviesa una de las fisis, normalmente la fisis tibial proximal (Figura 6A). Como el túnel tibial es más perpendicular a la fisis, su área de afectación es menor y el posible impacto se considera mínimo. Milewsky y Nissen<sup>(75)</sup> publicaron su técnica híbrida con buenos resultados, aunque pacientes presentaron disimetrías de 1,2 y 2,2 cm. Chambers<sup>(76)</sup>, en 24 pacientes, tuvo 4 casos de lesión fisaria y concluye que debe evitarse en los más jóvenes (Figura 6B).

### Consideraciones sobre los injertos en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior en el paciente pediátrico

La elección del injerto es un punto clave en toda reconstrucción del LCA, especialmente en los pacientes en edad pediátrica. Diferentes opciones han sido propuestas, entre ellas: plastia de isquiotibiales, cintilla IT, tendón patelar, tendón cuadriceps, aloinjerto o tendones de donante parental, cada una con sus particularidades.

La plastia de elección irá determinada por la técnica quirúrgica que se escoja y esta por la edad y la madurez ósea del paciente. El injerto de tendones de la pata de ganso es el que más comúnmente se utiliza, ya que hay gran experiencia en su uso, no deja pastillas óseas en la fisis y facilita realizar la técnica *all-inside* con 2 sistemas de suspensión cortical. El problema de este injerto es que el grosor de la plastia viene determinado por la altura y el peso del paciente<sup>(77)</sup>, por lo que en ocasiones se puede encontrar un injerto demasiado delgado. Por ello, también se ha propuesto utilizar un injerto de tendón cuadriceps sin pastilla ósea, con excelentes resultados, similares a la plastia de isquiotibiales<sup>(78)</sup>. No obstante, en una revisión reciente del Registro Nacional de Nueva Zelanda, se concluyó que el grosor, tanto de la plastia de isquiotibiales como de la del tendón patelar, no afectaba a la tasa de fracasos de las plastias del LCA en pacientes jóvenes (menores a 20 años)<sup>(79)</sup>. Hay autores que recomiendan suplementarla con aloinjerto y hacer un injerto híbrido de mayor grosor<sup>(80)</sup>, pero se debería ser precavido con

esta recomendación porque se han reportado altas tasas de rerotura de estas plastias en pacientes adultos<sup>(81)</sup>.

En los pacientes con inmadurez esquelética se evita el uso de la plastia hueso-tendón patelar-hueso, ya que la pastilla ósea puede quedar interpuesta en la fisis y provocar una epifisiodesis.

En los últimos años, se ha propuesto la utilización de injerto de donante vivo parental, con los mismos beneficios que el aloinjerto en cuanto a baja morbilidad, pero disminuyendo mucho sus complicaciones. Se trata de utilizar un injerto de isquiotibiales (solo semitendinoso) de los padres en el mismo acto quirúrgico. Con esto se disminuye la tasa de rerotura, ya que se trata de un tejido vivo con sus mismas propiedades mecánicas, se evita dañar la zona donante del niño y se preservan sus tendones para una posible cirugía de revisión futura, además de asegurar un grosor adecuado de la plastia para la cirugía<sup>(82)</sup>.

### Sistemas de fijación de la plastia

Dependen de la técnica usada y del estado madurativo del paciente. Se ha visto que la fijación femoral con sistema de botón suspensorio no difiere significativamente de la fijación con tornillo interferencial en cuanto a pico de carga y ciclos hasta el fallo<sup>(83)</sup>. Sin embargo, no se aconseja el tornillo interferencial como sistema de fijación en técnicas que atraviesen las fisis por posible daño de la misma, por lo que deberán ser planteados en técnicas epifisarias. En técnicas en las que se atraviesan las fisis se recomienda el sistema de botón suspensorio.

En cuanto a la fijación tibial, se recomienda la fijación suspensoria en las técnicas epifisarias o en las parcialmente transfisarias. No obstante, en etapa madurativa avanzada, puede usarse un tornillo interferencial como sistema de fijación, por la menor tasa de anomalías del crecimiento, aunque se ha demostrado que existe un aumento de los síntomas locales con este sistema de fijación en 1 de cada 10 reconstrucciones del LCA en pacientes jóvenes, siendo la tasa de reintervención por estos síntomas del 5%<sup>(84)</sup>.

### Plastias extraarticulares anterolaterales

La reconstrucción aislada del LCA puede no ser suficiente para llegar a un estado prelesional de la rodilla<sup>(85)</sup> y añadir

una plastia extraarticular a esta intervención proporciona mejores resultados clínicos y disminuye la tasa de reroturas hasta un 43%<sup>(86)</sup>.

Las principales indicaciones para asociar una plastia extraarticular lateral fueron descritas por Sonnery-Cottet et al.<sup>(87)</sup>; no obstante, otras indicaciones se han añadido a posteriori<sup>(86,88-90)</sup> (Tabla 1). Las principales técnicas para las plastias de refuerzo anterolateral pueden ser no anatómicas (Arnold-Coker, Lemaire modificada y Kocher-Micheli) o anatómicas (reconstrucción de ligamento anterolateral -LAL-):

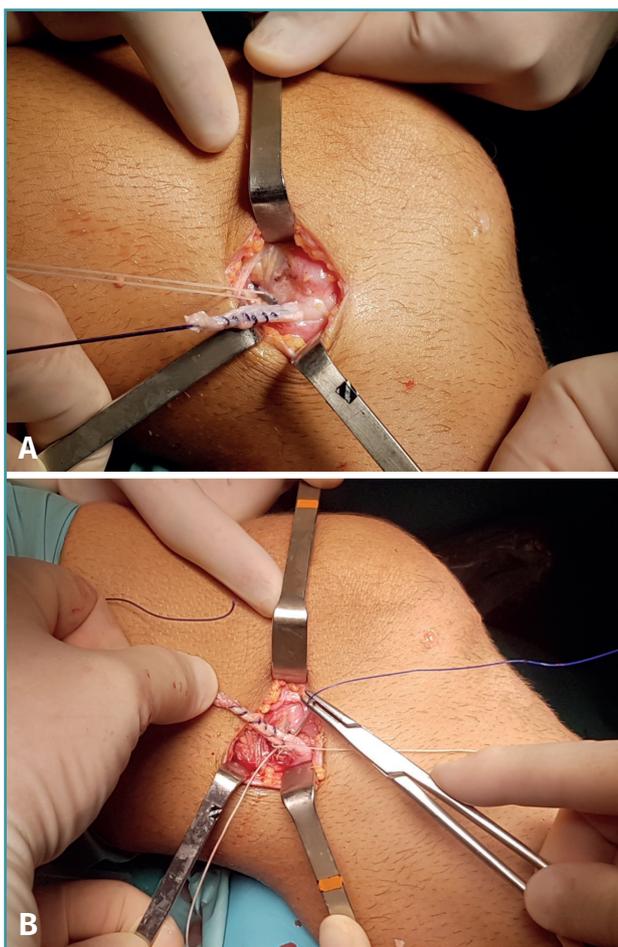
• **Técnica de Arnold-Coker (MacIntosh modificada).** Se emplea una plastia de banda IT que se libera proximalmente y permanece anclada distalmente; tras pasarla bajo el LCL, se voltea para suturarse sobre sí misma al nivel del tubérculo de Gerdy<sup>(91)</sup>, evitando el efecto de tenoepifisiodesis femoral asociada al MacIntosh clásico<sup>(92)</sup> en los niños, que se fijaba proximal a la fisis.

• **Técnica de Lemaire modificada.** Es la más popular y existen diversas modificaciones. Esta técnica utiliza un injerto IT de una longitud suficiente que permita pasarlo por debajo del LCL para insertarlo en el fémur, posterior y proximalmente al epicóndilo<sup>(93)</sup>, aunque hay que tener especial cuidado con la fisis femoral. Algunos autores defienden posicionarlo en el propio túnel femoral bajo control radioscópico<sup>(88,90)</sup>, disminuyendo el riesgo de daño fisario. Otra modificación puede llevarse a cabo suturando la plastia al mismo botón femoral que el LCA<sup>(88)</sup> (Figura 7).

• **Técnica de Kocher-Micheli.** Ya descrita previamente dentro las técnicas extrafisarias, asocia una reconstrucción del LCA con refuerzo anterolateral sin túneles óseos. Sus objetivos son: minimizar el riesgo de daño fisario, facilitar la cirugía de revisión, preservar los autoinjertos tradicionales y aportar un estabilizador rotacional adicional,

**Tabla 1. Indicaciones de plastias extraarticulares laterales en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA)**

Sonnery-Cottet B, et al. <sup>(87)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de <i>pivot shift</i> de grado III</li> <li>• Fractura de Segond</li> <li>• Rotura crónica del LCA</li> <li>• Deportes de alto nivel y que requieran pivotaje (<i>rugby</i>, fútbol, balonmano, baloncesto...)</li> <li>• Menores de 25 años (reconocido como el más importante factor de riesgo)</li> <li>• Laxitud preoperatoria lado a lado mayor de 7 mm (actualmente reconocido como el factor pronóstico de fallo más importante)</li> <li>• Muesca en cóndilo femoral lateral vista en radiografía</li> <li>• Cirugías de revisión del LCA</li> </ul>
Gomes JLE, et al. <sup>(90)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anomalías anatómicas de la cadera y/o restricción de la movilidad de la cadera</li> </ul>
Cerciello S, et al. <sup>(86)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Genu recurvatum</i> &gt; 10°</li> </ul>
Leyes-Vence M, et al. <sup>(88)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valgos acusados asociados a hiperlaxitud en mujeres esqueléticamente inmaduras</li> </ul>
Sonnery-Cottet B, et al. <sup>(89)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lesión meniscal asociada, especialmente el medial</li> </ul>



**Figura 7.** Técnica de Lemaire modificada para pacientes pediátricos descrita por el Dr. Manuel Leyes<sup>(88)</sup>, en la que se observa la plastia de cintilla ilirotibial por debajo del ligamento colateral lateral (LCL) (A), la cual es suturada directamente a la sutura central del botón cortical femoral mediante una sutura guía de PDS® (B).

constituyendo una opción excelente para la reparación de la rotura del LCA en atletas prepuberales. Su autor considera como paciente ideal aquel con Tanner 1-2, niños < 12 años o niñas < 11 años<sup>(72)</sup>.

• **Reconstrucción del LAL.** El LAL ha sido descrito anatómicamente en la edad pediátrica, demostrándose que sus inserciones se encuentran en estrecha relación con las fisas femoral (10 mm distal de media) y tibial (9 mm de media)<sup>(94,95)</sup>. Existen numerosas técnicas que combinan la reconstrucción anatómica del LCA y del LAL<sup>(96-98)</sup> para adultos, no específicamente para pacientes pediátricos, pero sí se ha determinado que los túneles para su aplicación se pueden hacer de manera segura<sup>(99)</sup>. La menor tasa de rerrotura y el mejor resultado funcional en adultos<sup>(87,100)</sup>, junto con las altas tasas de fracaso de la plastia del LCA en pacientes esqueléticamente inmaduros<sup>(101,102)</sup>, hacen pen-

sar que en el futuro se incrementará el uso de los refuerzos anterolaterales en este grupo de población.

### Otras consideraciones técnicas

Los pacientes pediátricos se caracterizan por tener una escotadura intercondílea de menor tamaño. Sin embargo, no se recomienda realizar la intercondiloplastia (*notch-plasty*) de rutina en todos los pacientes, ya que esto conlleva una variación en la biomecánica de la rodilla (aumento de la traslación anterior de la tibia y disminución de la fuerza de la plastia a bajos grados de flexión) con al menos 3 mm de resección<sup>(103)</sup>.

Por otro lado, la incidencia de lesiones de la rampa meniscal es similar a la de los adultos, por lo que se aconseja su revisión a través de la escotadura intercondílea en el compartimento posteromedial, dada su alta incidencia, y su reparación en caso de encontrarla, ya que afecta a la biomecánica de las reconstrucciones del LCA<sup>(23)</sup>.

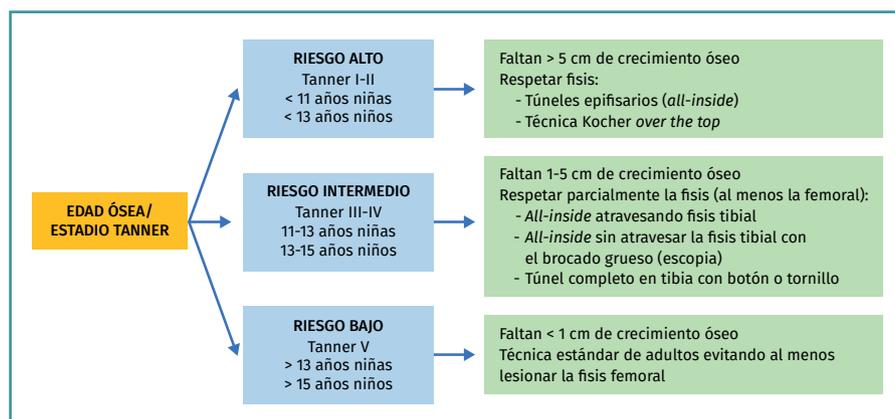
### Algoritmo de tratamiento quirúrgico

Para la elección de la técnica quirúrgica se recomienda evaluar la madurez esquelética y ósea del paciente. Se puede estratificar a los pacientes pediátricos candidatos a cirugía de reconstrucción del LCA según el riesgo de alteración del crecimiento por vulneración de la fisas (Figura 8).

El problema principal de las plastias del LCA en pacientes pediátricos no es la alteración de las fisas y las consecuentes discrepancias en el crecimiento, sino la alta tasa de rerrotura de las mismas; por esto, lo más importante es realizar una correcta técnica quirúrgica, con una adecuada colocación de los túneles, así como reparar las lesiones meniscales y condrales asociadas, si es posible, para dar una mayor estabilidad a la rodilla y asociar una plastia extraarticular cuando se crea necesario.

En la Figura 7 se muestra un algoritmo de actuación en función del estado madurativo de los pacientes. No existe consenso actual en cuanto a la técnica quirúrgica de elección. Existen excelentes resultados con una vuelta deportiva adecuada y baja tasa de fallos y de daño fisario en las técnicas totalmente epifisarias para los pacientes más jóvenes; sin embargo, existe una mayor tasa de sobrecrecimiento del miembro<sup>(104)</sup>. De igual manera, se ha demostrado que la técnica *over-the-top* también tiene excelentes resultados, aunque con una mayor tasa de deformidades angulares<sup>(105)</sup>.

Por todo lo anteriormente descrito, se recomienda individualizar cada caso y valorar el estado madurativo del paciente para así adecuar la técnica quirúrgica. Las técnicas epifisarias o parcialmente transfisarias se asemejan más a las reconstrucciones ligamentosas de los adultos,



**Figura 8.** Esquema del tratamiento quirúrgico del ligamento cruzado anterior (LCA) en el paciente pediátrico estratificado por el riesgo de lesión fisaria.

por lo que el cirujano puede encontrarse más cómodo con estas. La mayoría de roturas del LCA en niños ocurre en adolescentes con menos de 1 año para el cierre de la fisis<sup>(12)</sup>. Este hecho permite una reconstrucción transfisaria híbrida con mínimo riesgo de lesión fisaria; por esto y por su menor dificultad técnica, es la tendencia más habitual. Asimismo, el desarrollo actual de los sistemas de suspensión y de las brocas retrógradas, con la ayuda de la radioscopia intraoperatoria, permiten minimizar el daño óseo y fisario de esta cirugía.

### Protocolo postoperatorio y rehabilitación

La rehabilitación debe restaurar la estabilidad dinámica de la rodilla<sup>(106)</sup>; debe ser exhaustiva e individualizada según la madurez fisiológica y psicológica del niño para lograr resultados exitosos y los padres/tutores deben ser participantes activos en la rehabilitación diaria<sup>(26)</sup>. Se necesitarán ajustes específicos según la cirugía llevada a cabo, el tipo de injerto usado y las lesiones asociadas.

Los objetivos funcionales deben ser modificados y no copiados de los protocolos de los adultos. Los programas de rehabilitación para menores de 12 años<sup>(26)</sup> deben utilizar ejercicios lúdicos y variaciones para evitar el aburrimiento, usar pruebas de fuerza isocinética y de salto sobre una pierna con precaución y focalizar sobre la calidad de los movimientos más que sobre el índice de simetría de la pierna. Son necesarios rehabilitadores con preparación y experiencia en este grupo de pacientes.

### Uso de ortesis y bastones

La efectividad de las ortesis en los pacientes en el postoperatorio tras una reconstrucción del LCA es desconocida<sup>(107)</sup>. Aun así, se puede recomendar su uso durante la

fase de prehabilitación y tras la cirugía, de 2 a 6 semanas, hasta completar los objetivos de la fase 1, sobre todo por la poca adherencia a los cuidados extremos que estos pacientes de corta edad suelen tener. También se puede utilizar para prevenir la hiperextensión, controlar el varo/valgo, concienciar al paciente y usarlo como protección frente a posibles golpes o caídas con otros niños. En los pacientes operados mediante reparación del LCA, se mantiene una ortesis en extensión durante 2 semanas<sup>(108)</sup>.

En cuanto al uso de bastones, existen variedad de recomendaciones dependiendo del protocolo utilizado. Las recomendaciones más admitidas son:

- Reconstrucción aislada del LCA. La mayor parte de las guías aconsejan la carga completa asistida durante la primera semana postoperatoria y progresión según la tolerancia hasta la carga completa a las 4 semanas<sup>(109)</sup>. Tyler *et al.*, en 1998, concluyeron que no existían efectos deletéreos en cuanto a la estabilidad o la función en la carga asistida inicial en reconstrucciones aisladas del LCA, siendo el dolor anterior menor en este grupo por mayor estímulo del vasto medial<sup>(110)</sup>.

- Reparación meniscal asociada. Existen 2 escuelas, aquella que recomienda descarga 4-6 semanas y aquella que permite carga completa inicial pero con uso de inmovilizador en extensión las primeras 3 o 4 semanas. En cualquier caso, la flexión debe limitarse hasta los 90° durante las primeras 4-6 semanas, pudiendo hacer uso de ortesis articulada para dicho fin, y, en caso de permitir carga precoz, se recomienda que esta sea en extensión completa.

### Las fases de la rehabilitación

Se establecen 4 fases de rehabilitación postoperatoria<sup>(111)</sup> y una fase de prehabilitación<sup>(112)</sup> en el caso del tratamiento quirúrgico de la rotura del LCA (**Tabla 2**). En ambos casos (operados y no operados), el marco de referencia en la progresión a través de los hitos es similar en ambos grupos. Sin embargo, hay diferentes expectativas en la progresión y el tiempo para volver a participar plenamente en las actividades deportivas. Para todos, debe ser guiada por unos objetivos clínicos y funcionales, y el retorno deportivo dependerá de alcanzarlos<sup>(113)</sup>.

Para pasar de una fase a otra es necesario alcanzar los hitos marcados en cada fase. El objetivo en la primera

**Tabla 2. Protocolo de rehabilitación tras tratamiento quirúrgico de la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA)**

Fase	Ejercicios	Hitos para progresión
Prehabilitación (solo si tratamiento quirúrgico)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensión completa activa y al menos 120° de flexión activa</li> <li>Tratar el derrame y el dolor; 90% de simetría en miembros inferiores respecto a la fuerza muscular</li> </ul>
Fase 1 Recuperación temprana (0-6 semanas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Postoperatorio inmediato: disminuir inflamación y dolor, tratar el derrame</li> <li>Conseguir movilidad pasiva completa y activa 0-90° con extensión activa sin carga</li> <li>Movilización patelar</li> <li>Isométricos de cuádriceps y de isquiotibiales</li> <li>Apoyo sobre una pierna con extensión isométrica de rodilla</li> <li>Bicicleta estática (desde la 2.ª semana)</li> <li>Ejercicios de cadena cerrada de pelvis y cadera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensión activa completa y flexión activa de 120°</li> <li>Poco o nada de derrame</li> <li>Habilidad para mantener la rodilla en extensión en apoyo monopodal</li> </ul>
Fase 2 Resistencia muscular (7-12 semanas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Piscina con aletas</li> <li>Sentadillas sobre una pierna</li> <li>Apoyo sobre una pierna con extensión dinámica de rodilla</li> <li>Sentadillas en pelota BOSU</li> <li>Puente</li> <li>Flexiones de rodilla activas completas</li> <li>Paso de escalón lateral y frontal</li> <li>Bicicleta con resistencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rango de movilidad de rodilla completo</li> <li>80% de simetría de extremidades en pruebas de salto con una pierna con estrategias de aterrizaje adecuadas</li> <li>Habilidad para correr 10 minutos en buena forma y sin derrame subsecuente</li> <li>Adolescentes: 80% de simetría de extremidades en pruebas de fuerza muscular</li> </ul>
Fase 3 Fuerza muscular (12-18 semanas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carrera</li> <li>Cambios de dirección en carrera</li> <li>Sentadillas con peso y en equilibrio</li> <li>Prensa de piernas</li> <li>Equilibrio con peso</li> <li>Ejercicios de pivotaje</li> <li>Salto de escalera con una y dos piernas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prueba de salto sobre una pierna &gt; 90% de la extremidad contralateral</li> <li>Incremento gradual en entrenamientos específicos de un deporte sin dolor y sin derrame</li> <li>Confianza en la función de la rodilla</li> <li>Conocimiento de la posición de la rodilla con alto riesgo de lesión y habilidad para mantener una posición de bajo riesgo en acciones deportivas específicas</li> <li>Preparado mentalmente para el retorno deportivo</li> <li>Adolescentes: 90% de simetría de extremidades en pruebas de fuerza muscular</li> </ul>
Fase 4 Agilidad y poder muscular (19-24 semanas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salto</li> <li>Prensa de pierna</li> <li>Equilibrio en diferentes superficies</li> <li>Agilidad lateral con cuerda</li> <li>Escalones con peso</li> <li>Carrera con resistencia</li> </ul>	

miembros y técnicas de apoyo y carga correctas. Mientras que en la fase 4, se trazan estrategias de prevención secundaria de nuevas lesiones y se intenta alcanzar una estabilidad funcional neuromuscular previa al retorno deportivo.

### Retorno a la actividad deportiva

En los pacientes no operados, el retorno se estima en entre 3 y 6 meses, mientras que en los operados es necesario un mínimo de 9 meses, aunque lo aconsejable en este grupo de pacientes es que pasen entre 10 y 12 meses desde la cirugía (en los pacientes en los que se realiza reparación, se ha propuesto un tiempo de 5 meses<sup>(108)</sup>, aunque la evidencia es muy limitada). Después de una reconstrucción del LCA, el porcentaje de pacientes que vuelve a su actividad deportiva en los primeros 9 meses se estima en un 50% y asciende hasta un 85% al año de la cirugía<sup>(114)</sup>. La vuelta debe estar marcada por el tipo de práctica deportiva que se va a realizar y debe hacerse de forma individualizada para cada paciente.

El riesgo de rerrotura del LCA en los pacientes que vuelven a una actividad deportiva considerada de alto riesgo (deportes de pivote y salto) es mayor en niños, sobre todo durante los primeros 12 meses<sup>(115)</sup>. Por ello, algunos autores incluso sugieren esperar 2 años hasta reintegrarse en deportes de alto riesgo<sup>(101,116)</sup>. Además, se debe tener en cuenta la falta de cumplimiento de estos pacientes a la hora de plantear la vuelta: la ansiedad de nuevo daño y

fase es el de obtener una rápida recuperación funcional y una importante activación muscular. En las fases 2 y 3, el objetivo es conseguir una adecuada alineación de los

la confianza del paciente en su rodilla lesionada tienen un impacto en los resultados después de la rehabilitación<sup>(26,117)</sup>. Por tanto, no se recomienda la vuelta a la acti-

vidad deportiva de alta intensidad antes de los 14 meses y se debe informar a sus tutores legales del aumento del riesgo de rerrotura sobre todo en los 2 primeros años<sup>(117)</sup>.

Una vez que el niño regrese al deporte, se debe integrar con el entrenamiento habitual un programa exhaustivo de prevención de lesiones similar a los expuestos en el apartado de prevención<sup>(40,43)</sup>.

Se estima una tasa de rotura de la plastia superior al 20% y de un 14% la rotura del LCA de la rodilla contralateral<sup>(118)</sup>. La rehabilitación es, por lo tanto, un momento ideal para trabajar la pierna no lesionada, lo cual será importante para disminuir el riesgo de lesión<sup>(119)</sup>. La tasa de rerrotura asciende al 23% durante los 2 primeros años tras la cirugía<sup>(120)</sup>.

## Conclusiones

La lesión del LCA en los pacientes esqueléticamente inmaduros es una entidad frecuente y de difícil manejo, por lo que se ha elaborado esta guía para ayudar en la toma de decisiones tanto pre-, como intra- y postoperatorias.

El cirujano deberá tener en cuenta el estado madurativo del paciente para la elección adecuada de la técnica quirúrgica, siendo las más recomendadas las técnicas totalmente epifisarias o las parcialmente transfisarias con sistemas suspensorios corticales y en ocasiones tornillos interferenciales. Además, deberá tratar las lesiones concomitantes y asociar una plastia extraarticular cuando sea necesario.

Se trata de una patología con una mayor incidencia de rerrotura y potenciales complicaciones añadidas en comparación con su homóloga en la edad adulta, por lo que una parte importante del trabajo va orientado a una adecuada técnica quirúrgica, pero sobre todo a una correcta rehabilitación postoperatoria y una espera adecuada para el retorno a la práctica deportiva habitual, de mayor importancia a mayor nivel competitivo. Por último, cobra una importancia vital la prevención de lesiones futuras con programas especializados tanto para la rodilla operada como para la contralateral, que también ve aumentada su incidencia de lesión.

## Grupo Joven de Artroscopia (GJA)

Este artículo ha sido coordinado y realizado en el proyecto del GJA de la Asociación Española de Artroscopia (AEA).

## Coordinadora del Grupo Joven de Artroscopia

### Dra. Deborah González-García

Hospital Universitario de Guadalajara. Complejo Hospitalario Quirón Juan Bravo, Madrid.

## Coordinadores sénior

### Dr. Antonio Cruz Cámara

Hospital Santa Clotilde, Santander. Hospital Mutua Montañesa, Santander.

### Dr. Pablo Gelber

Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona. Hospital Universitari Quirón Dexeus, Barcelona.

## Responsabilidades éticas

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

**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

- Hinton RY, Rivera VR, Pautz MJ, Sponseller PD. Ligamentous laxity of the knee during childhood and adolescence. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(2):184-7.
- Anderson AF. Transepiphyseal replacement of the anterior cruciate ligament using quadruple hamstring grafts in skeletally immature patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86 A Suppl(Pt 2):201-9.
- Beck NA, Lawrence JTR, Nordin JD, DeFor TA, Tompkins M. ACL tears in school-aged children and adolescents over 20 years. *Pediatrics*. 2017;139(3).
- Gornitzky AL, Lott A, Yellin JL, Fabricant PD, Lawrence JT, Ganley TJ. Sport-Specific Yearly Risk and Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears in High School Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2016;44(10):2716-23.
- Lawrence JTR, Bowers AL, Belding J, Cody SR, Ganley TJ. All-epiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(7):1971-7.
- Lawrence JTR, Argawal N, Ganley TJ. Degeneration of the knee joint in skeletally immature patients with a diagnosis of an anterior cruciate ligament tear: is there harm in delay of treatment? *Am J Sports Med*. 2011;39(12):2582-7.
- Milewski MD, Beck NA, Lawrence JT, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Young Athlete: A Treatment Algorithm for the Skeletally Immature. *Clin Sports Med*. 2011;30(4):801-10.

8. Angel KR, Hall DJ. Anterior cruciate ligament injury in children and adolescents. *Arthroscopy*. 1989;5(3):197-200.
9. Stanley LE, Kerr ZY, Dompier TP, Padua DA. Sex differences in the incidence of anterior cruciate ligament, medial collateral ligament, and meniscal injuries in collegiate and high school sports: 2009-2010 through 2013-2014. *Am J Sports Med*. 2016;44(6):1565-72.
10. Anderson AF, Anderson CN. Correlation of meniscal and articular cartilage injuries in children and adolescents with timing of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2015;43(2):275-81.
11. Kostyun RO, Burland JP, Kostyun KJ, Milewski MD, Nissen CW. Male and Female Adolescent Athletes' Readiness to Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction. *Clin J Sport Med*. 2019 Nov 14. Epub ahead of print.
12. Cordasco FA, Black SR, Price M, Wixted C, Heller M, Asaro LA, et al. Return to Sport and Reoperation Rates in Patients Under the Age of 20 After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Risk Profile Comparing 3 Patient Groups Predicated Upon Skeletal Age. *Am J Sports Med*. 2019;47(3):628-39.
13. Tanner J. *The Development of the Reproductive System*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Blackwell; 1962.
14. Ortega Anta RM, López-Sobaler AM, Aparicio Vizuete A, González Rodríguez LG, Navia Lombán B, Perea Sánchez JM. *Estudio ALADINO 2015*. AECOSAN; 2015.
15. Traven SA, Reeves RA, Xerogeane JW, Slone HS. Higher BMI predicts additional surgery at the time of ACL reconstruction. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2019;27(8):2552-7.
16. Raad M, Thevenin Lemoine C, Bérard E, Laumonerie P, Sales de Gauzy J, Accadbled F. Delayed reconstruction and high BMI z score increase the risk of meniscal tear in paediatric and adolescent anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2019;27(3):905-11.
17. Nordenvall R, Marcano AI, Adami J, Palme M, Mattila VM, Bahmanyar S, et al. The Effect of Socioeconomic Status on the Choice of Treatment for Patients with Cruciate Ligament Injuries in the Knee. *Am J Sports Med*. 2017;45(3):535-40.
18. Newman JT, Carry PM, Terhune EB, Spruiell M, Heare A, Mayo M, Vidal AF. Delay to Reconstruction of the Adolescent Anterior Cruciate Ligament: The Socioeconomic Impact on Treatment. *Orthop J Sports Med*. 2014 Aug 28;2(8):2325967114548176.
19. Jones MH, Reinke EK, Zajichek A, Kelley-Moore JA, Khair MM, Malcolm TL, et al. Neighborhood Socioeconomic Status Affects Patient-Reported Outcome 2 Years After ACL Reconstruction. *Orthop J Sports Med*. 2019 Jun 26;7(6):2325967119851073.
20. Noyes F, Matthews D, Mooar P, Grood E. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II. The results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability. *J Bone Jt Surg Am*. 1983;65(2):163-74.
21. Stanitski CL, Harvell JC, Fu F. Observations on acute knee hemarthrosis in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 1993;13(4):506-10.
22. Lelli A, Di Turi RP, Spenciner DB, Dòmini M. The "Lever Sign": a new clinical test for the diagnosis of anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Sep;24(9):2794-7.
23. Malatray M, Raux S, Peltier A, Pfirrmann C, Seil R, Chotel F. Ramp lesions in ACL deficient knees in children and adolescent population: a high prevalence confirmed in intercondylar and posteromedial exploration. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(4):1074-9.
24. Espejo-Baena A, Espejo-Reina A, Espejo-Reina MJ, Ruiz-Del Pino J. The Finochietto Sign as a Pathognomonic Finding of Ramp Lesion of the Medial Meniscus. *Arthrosc Tech*. 2020 Mar 31;9(4):e549-e552.
25. Baxter MP. Assessment of normal pediatric knee ligament laxity using the Genucom. *J Pediatr Orthop*. 1988;8(5):546-50.
26. Ardern CL, Ekås G, Grindem H, Moksnes H, Anderson A, Chotel F, et al. 2018 International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(4):989-1010.
27. Little RM, Milewski MD. Physeal fractures about the knee. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2016;9(4):478-86.
28. Aly SM, Shrestha B, Hong DJ, Omran A, Wang W. Identification of age and sex based on knee radiography. *Forensic Sci Int*. 2016;267:231.e1-231.e7.
29. Greulich W, Pyle S. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. *Am J Med Sci*. 1959;238:393.
30. Laor T, Jaramillo D. MR imaging insights into skeletal maturation: What is normal? *Radiology*. 2009;250(1):28-38.
31. Risser JC. The iliac apophysis: an invaluable sign in the management of scoliosis. *Clin Orthop*. 1958;11:111-9.
32. Bales CR, Guettler JH, Moorman CT. Anterior cruciate ligament injuries in children with open physes: Evolving strategies of treatment. *Am J Sports Med*. 2004;32(8):1978-85.
33. Sasaki T, Ishibashi Y, Okamura Y, Toh S, Sasaki T. MRI Evaluation of Growth Plate Closure Rate and Pattern in the Normal Knee Joint. *J Knee Surg*. 2002;15(2):72-6.
34. Berruto M, Gala L, Usellini E, Duci D, Marelli B. Congenital absence of the cruciate ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(8):1622-5.
35. Benassi AB, Guerreiro JPF, de Oliveira Queiroz A, Gasparelli RG, Danieli MV. Anterior and posterior cruciate ligament agenesis. *J Surg Case Reports*. 2018;2018(8):1-4.
36. Wang J, Wu H, Dong F, Li B, Wei Z, Peng Q, et al. The role of ultrasonography in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Sport Sci*. 2018;18(4):579-86.
37. Grzelak P, Podgórski MT, Stefańczyk L, Domlalski M. Ultrasonographic test for complete anterior cruciate ligament injury. *Indian J Orthop*. 2015;49(2):143-9.
38. Cavaignac E, Wytrykowski K, Reina N, Pailhé R, Murgier J, Faruch M, Chiron P. Ultrasonographic identification of the anterolateral ligament of the knee. *Arthroscopy*. 2016 Jan;32(1):120-6.
39. Huang YL, Jung J, Mulligan CMS, Oh J, Norcross MF. A Majority of Anterior Cruciate Ligament Injuries Can Be Prevented by Injury Prevention Programs: A Systematic Review of Random-

- ized Controlled Trials and Cluster-Randomized Controlled Trials With Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2019;1-10.
40. Rössler R, Faude O, Bizzini M, Junge A, Dvořák J; Centro de Evaluación e Investigación Médica de la FIFA (F-MARC). Manual «FIFA 11+ para niños». Programa de calentamiento para la prevención de lesiones en el fútbol infantil. Fédération Internationale de Football Association (FIFA); 2016. Disponible en: [https://www.fifamedicalnetwork.com/wp-content/uploads/2019/10/fifa\\_S.pdf](https://www.fifamedicalnetwork.com/wp-content/uploads/2019/10/fifa_S.pdf).
  41. Rössler R, Junge A, Bizzini M, Verhagen E, Chomiak J, Aus der Fünten K, et al. A Multinational Cluster Randomised Controlled Trial to Assess the Efficacy of '11+ Kids': A Warm-Up Programme to Prevent Injuries in Children's Football. *Sport Med.* 2018;48(6):1493-504.
  42. Rossler R, Verhagen E, Rommers N, Dvorak J, Junge A, Lichtenstein E, et al. Comparison of the "11+ Kids" injury prevention programme and a regular warmup in children's football (soccer): a cost effectiveness analysis. *Br J Sports Med.* 2019;53(5):309-14.
  43. Skadefri. Fit to play. Disponible en: <http://fittoplay.org>.
  44. Mawson R, Creech MJ, Peterson DC, Farrokhyar F, Ayeni OR. Lower limb injury prevention programs in youth soccer: a survey of coach knowledge, usage, and barriers. *J Exp Orthop.* 2018;5(1).
  45. Bogardus RL, Martin RJ, Richman AR, Kulas AS. Applying the Socio-Ecological Model to barriers to implementation of ACL injury prevention programs: a systematic review. *J Sport Heal Sci.* 2019;8(1):8-16.
  46. Thompson-Kolesar JA, Gatewood CT, Tran AA, Silder A, Shultz R, Delp SL, Dragoo JL. Age Influences Biomechanical Changes After Participation in an Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Program. *Am J Sports Med.* 2018 Mar;46(3):598-606.
  47. Fabricant PD, Kocher MS. Management of ACL injuries in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(7):600-12.
  48. Fabricant PD, Kocher MS. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Children and Adolescents. *Orthop Clin North Am.* 2016;47(4):777-88.
  49. Defrancesco CJ, Storey EP, Shea KG, Kocher MS, Ganley TJ. Challenges in the Management of Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Skeletally Immature Patients. *J Am Acad Orthop Surg.* 2018;26(3):e50-e61.
  50. Anderson CN, Anderson AF. Management of the Anterior Cruciate Ligament-Injured Knee in the Skeletally Immature Athlete. *Clin Sports Med.* 2017;36(1):35-52.
  51. Ramski DE, Kanj WW, Franklin CC, Baldwin KD, Ganley TJ. Anterior cruciate ligament tears in children and adolescents: a meta-analysis of nonoperative versus operative treatment. *Am J Sports Med.* 2014;42(11):2769-76.
  52. Kocher MS, Micheli LJ, Zurakowski D, Luke A. Partial Tears of the Anterior Cruciate Ligament in Children and Adolescents. *Am J Sports Med.* 2002;30(5):697-703.
  53. Dingel A, Aoyama J, Ganley T, Shea K. Pediatric ACL Tears: Natural History. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(6):S47-S49.
  54. Ziebarth K, Kolp D, Kohl S, Slongo T. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Children and Adolescents: A Review of the Recent Literature. *Eur J Pediatr Surg.* 2013;23(6):464-9.
  55. Madelaine A, Fournier G, Sappey-Mariniere E, Madelaine T, Seil R, Lefevre N, et al. Conservative management of anterior cruciate ligament injury in paediatric population: about 53 patients. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018;104(8):S169-S173.
  56. Proffen BL, Sieker JT, Murray MM. Bio-enhanced repair of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy.* 2015 May;31(5):990-7.
  57. Van der List JP, DiFelice GS. Range of motion and complications following primary repair versus reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Knee.* 2017;24(4):798-807.
  58. Sherman MF, Lieber L, Bonamo JR, Podesta L, Reiter I. The long-term followup of primary anterior cruciate ligament repair. Defining a rationale for augmentation. *Am J Sports Med.* 1991 May-Jun;19(3):243-55.
  59. Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. *J Athl Train.* 1995;30(2):149-52.
  60. Nguyen DT, Ramwadhoebe TH, Van Der Hart CP, Blankevoort L, Tak PP, Van Dijk CN. Intrinsic healing response of the human anterior cruciate ligament: an histological study of reattached ACL remnants. *J Orthop Res.* 2014;32(2):296-301.
  61. Olmos MI, Sonnery-Cottet B, Barth J. How to Succeed in Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Primary Repair? Step-by-Step Technique. *Arthrosc Tech.* 2019;8(1):e37-e46.
  62. Gagliardi AG, Carry PM, Parikh HB, Traver JL, Howell DR, Albright JC. ACL Repair With Suture Ligament Augmentation Is Associated With a High Failure Rate Among Adolescent Patients. *Am J Sports Med.* 2019;47(3):560-6.
  63. Dabis J, Yasen SK, Foster AJ, Pace JL, Wilson AJ. Paediatric proximal ACL tears managed with direct ACL repair is safe, effective and has excellent short-term outcomes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020 Aug;28(8):2551-6. Erratum in: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020 May 18.
  64. Collins MJ, Arns TA, Leroux T, Black A, Mascarenhas R, Bach BR Jr, et al. Growth Abnormalities Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Skeletally Immature Patient: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2016;32(8):1714-23.
  65. McCarthy MM, Graziano J, Green DW, Cordasco FA. All-Epiphyseal, All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Technique for Skeletally Immature Patients. *Arthrosc Tech.* 2012;1(2):e231-e239.
  66. Wall EJ, Ghattas PJ, Eismann EA, Myer GD, Carr P. Outcomes and complications after all-epiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. *Orthop J Sport Med.* 2017;5(3):1-9.
  67. Espejo-Reina A, Espejo-Reina MJ, Dalla Rosa-Nogales J, Ruiz-Del Pino J, Espejo-Baena A. Physeal Sparing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Skeletally Immature Patients Bridging the Tibial Physis With Two Divergent Tunnels. *Arthrosc Tech.* 2020;9(6):e747-e754.
  68. Koch PP, Fucetese SF, Blatter SC. Complications after epiphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in prepubescent children. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(9):2736-40.
  69. Cruz AI, Fabricant PD, McGraw M, Rozell JC, Ganley TJ, Wells L. All-Epiphyseal ACL Reconstruction in Children. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(3):204-9.

70. Wong SE, Feeley BT, Pandya NK. Complications after Pediatric ACL Reconstruction: A Meta-analysis. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(8):e566-e571.
71. Micheli LJ, Rask B, Gerberg L. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients who are prepubescent. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(364):40-7.
72. Kocher MS, Garg S, Micheli LJ. Physseal sparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(11):2371-9.
73. Willimon SC, Jones CR, Herzog MM, May KH, Leake MJ, Busch MT. Micheli anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature youths: a retrospective case series with a mean 3-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2015;43(12):2974-81.
74. Kocher MS, Heyworth BE, Fabricant PD, Tepolt FA, Micheli LJ. Outcomes of physseal-sparing ACL reconstruction with iliotibial band autograft in skeletally immature prepubescent children. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(13):1087-94.
75. Willson RG, Kostyun RO, Milewski MD, Nissen CW. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Skeletally Immature Patients: Early Results Using a Hybrid Physseal-Sparing Technique. *Orthop J Sport Med.* 2018;6(2):16-9.
76. Chambers CC, Monroe EJ, Allen CR, Pandya NK. Partial Transphysseal Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Clinical, Functional, and Radiographic Outcomes. *Am J Sports Med.* 2019;47(6):1353-60.
77. Boisvert C, Aubin M, DeAngelis N. Relationship between anthropometric measurements and hamstring autograft diameter in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2011;40(6):293-5.
78. Pennock AT, Johnson KP, Turk RD, Bastrom TP, Chambers HG, Boutelle KE, Edmonds EW. Transphysseal Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Skeletally Immature: Quadriceps Tendon Autograft Versus Hamstring Tendon Autograft. *Orthop J Sports Med.* 2019 Sep 17;7(9):2325967119872450.
79. Murgier J, Powell A, Young S, Clatworthy M. Effectiveness of thicker hamstring or patella tendon grafts to reduce graft failure rate in anterior cruciate ligament reconstruction in young patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021 Mar;29(3):725-31.
80. Pennock AT, Ho B, Parvanta K, Edmonds EW, Chambers HG, Roocroft JH, Bastrom TP. Does Allograft Augmentation of Small-Diameter Hamstring Autograft ACL Grafts Reduce the Incidence of Graft Retear? *Am J Sports Med.* 2017 Feb;45(2):334-8.
81. Ellis HB, Matheny LM, Briggs KK, Pennock AT, Steadman JR. Outcomes and revision rate after bone-patellar tendon-bone allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction in patients aged 18 years or younger with closed physes. *Arthroscopy.* 2012;28(12):1819-25.
82. Goddard M, Bowman N, Salmon LJ, Waller A, Roe JP, Pinczewski LA. Endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction in children using living donor hamstring tendon allografts. *Am J Sports Med.* 2013;41(3):567-74.
83. Dukas AG, Shea KG, Nissen CW, Obopilwe E, Fabricant PD, Cannamela PC, Milewski MD. Biomechanical Comparison of Epiphyseal Anterior Cruciate Ligament Fixation Using a Cortical Button Construct Versus an Interference Screw and Sheath Construct in Skeletally Immature Cadaveric Specimens. *Orthop J Sports Med.* 2018 Jun 13;6(6):2325967118776951.
84. Kramer DE, Kalish LA, Kocher MS, Yen YM, Micheli LJ, Heyworth BE. Complications of Bioabsorbable Tibial Interference Screws After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Pediatric and Adolescent Athletes. *Orthop J Sport Med.* 2020;8(2):1-8.
85. Inderhaug E, Stephen JM, Williams A, Amis AA. Biomechanical Comparison of Anterolateral Procedures Combined with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2017;45(2):347-54.
86. Cerciello S, Batailler C, Darwich N, Neyret P. Extra-Articular Tenodesis in Combination with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: An Overview. *Clin Sports Med.* 2018;37(1):87-100.
87. Sonnerly-Cottet B, Saithna A, Cavalier M, Kajetanek C, Temponi EF, Daggett M, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Is Associated with Significantly Reduced ACL Graft Rupture Rates at a Minimum Follow-up of 2 Years: A Prospective Comparative Study of 502 Patients from the SANTI Study Group. *Am J Sports Med.* 2017;45(7):1547-57.
88. Leyes-Vence M, Roca-Sánchez T, Flores-Lozano C, Villarreal-Villareal G. All-Inside Partial Epiphyseal Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Plus an Associated Modified Lemaire Procedure Sutured to the Femoral Button. *Arthrosc Tech.* 2019;8(5):e473-e480.
89. Sonnerly-Cottet B, Saithna A, Blakeney WG, Ouanezar H, Borade A, Daggett M, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Protects the Repaired Medial Meniscus: A Comparative Study of 383 Anterior Cruciate Ligament Reconstructions From the SANTI Study Group With a Minimum Follow-up of 2 Years. *Am J Sports Med.* 2018;46(8):1819-26.
90. Gomes JLE, Leie MA, Marczwski M, Sánchez G, Ferrari MB. Intra-articular Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Extra-articular Lateral Tenodesis of the Iliotibial Band. *Arthrosc Tech.* 2017;6(5):e1507-e1514.
91. Arnold JA, Coker TP, Heaton LM, Park JP, Harris WD. Natural history of anterior cruciate tears. *Am J Sport Med.* 1979;7(6):305-13.
92. Galway R, Beaupré A, MacIntosh D. Pivot shift: a clinical sign of symptomatic anterior cruciate insufficiency. *J Bone Joint Surg.* 1972;54-B(4):763-4.
93. Williams A, Ball S, Stephen J, White N, Jones M, Amis A. The scientific rationale for lateral tenodesis augmentation of intra-articular ACL reconstruction using a modified 'Lemaire' procedure. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(4):1339-44.
94. Shea KG, Milewski MD, Cannamela PC, Ganley TJ, Fabricant PD, Terhune EB, et al. Anterolateral Ligament of the Knee Shows Variable Anatomy in Pediatric Specimens. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(6):1583-91.
95. Shea KG, Polousky JD, Jacobs JC, Yen YM, Ganley TJ. The anterolateral ligament of the knee: an inconsistent finding in pediatric cadaveric specimens. *J Pediatr Orthop.* 2016;36(5):e51-e54.

96. Helito CP, Bonadio MB, Gobbi RG, da Mota E Albuquerque RF, Pécora JR, Camanho GL, Demange MK. Combined Intra- and Extra-articular Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament: The Reconstruction of the Knee Anterolateral Ligament. *Arthrosc Tech*. 2015 Jun 1;4(3):e239-44.
97. Delaloye JR, Murar J, Vieira TD, Saithna A, Barth J, Ouanezar H, Sonnery-Cottet B. Combined Anterior Cruciate Ligament Repair and Anterolateral Ligament Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2018 Dec 10;8(1):e23-e29.
98. Espejo-Baena A, Espejo-Reina A, Gómez-Cáceres A, Espejo-Reina MJ, Dalla Rosa-Nogales J. Associated Reconstruction of Anterior Cruciate and Anterolateral Ligaments With Single Asymmetric Hamstring Tendons Graft. *Arthrosc Tech*. 2017;6(5):e2039-e2046.
99. Shea KG, Cannamela PC, Fabricant PD, Terhune EB, Polousky JD, Milewski MD, et al. All-Epiphyseal Anterior Cruciate Ligament Femoral Tunnel Drilling: Avoiding Injury to the Pylorus, Lateral Collateral Ligament, Anterolateral Ligament, and Popliteus—A 3-Dimensional Computed Tomography Study. *Arthroscopy*. 2018 May;34(5):1570-8.
100. Getgood AMJ, Bryant DM, Litchfield R, Heard M, McCormack RG, Rezansoff A, et al. Lateral Extra-articular Tenodesis Reduces Failure of Hamstring Tendon Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: 2-Year Outcomes From the STABILITY Study Randomized Clinical Trial. *Am J Sports Med*. 2020;48(2):285-97.
101. Webster KE, Feller JA. Exploring the High Reinjury Rate in Younger Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2016;44(11):2827-32.
102. Kaeding C, Pedrozza A, Reinke E, Huston L, Spindler K. 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;43(7):1583-90.
103. Mao Y, Marshall B, Price T, Linde M, Smolinski P, Fu FH, van Eck CF. Notchplasty alters knee biomechanics after anatomic ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020 Feb;28(2):614-21.
104. Pennock AT, Chambers HG, Turk RD, Parvanta KM, Dennis MM, Edmonds EW. Use of a Modified All-Epiphyseal Technique for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Skeletally Immature Patient. *Orthop J Sport Med*. 2018;6(7):1-9.
105. Wong SE, Feeley BT, Pandya NK. Comparing Outcomes Between the Over-the-Top and All-Epiphyseal Techniques for Physeal-Sparing ACL Reconstruction: A Narrative Review. *Orthop J Sport Med*. 2019;7(3):1-7.
106. Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Management of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature individuals. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2012;42(3):172-83.
107. Kruse LM, Gray BL, Wright RW. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation in the Pediatric Population. *Clin Sports Med*. 2011;30(4):817-24.
108. Van der List JP, DiFelice GS. Role of tear location on outcomes of open primary repair of the anterior cruciate ligament: a systematic review of historical studies. *Knee*. 2017;24(5):898-908.
109. Andrade R, Pereira R, Van Cingel R, Staal JB, Espregueira-Mendes J. How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). *Br J Sports Med*. 2020;54(9):512-9.
110. Tyler TF, McHugh MP, Gleim GW, Nicholas SJ. The effect of immediate weightbearing after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop*. 1998;357:141-8.
111. Moksnes H, Grindem H. Prevention and rehabilitation of paediatric anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(3):730-6.
112. Van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, Nijhuis-van der Sanden MW. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med*. 2016 Dec;50(24):1506-15.
113. Grindem H, Engebretsen L, Axe M, Snyder-Mackler L, Risberg MA. Activity and functional readiness, not age, are the critical factors for second anterior cruciate ligament injury — the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med*. 2020 Sep;54(18):1099-102.
114. Chicorelli AM, Micheli LJ, Kelly M, Zurakowski D, MacDougall R. Return to Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Skeletally Immature Athlete. *Clin J Sport Med*. 2016;26(4):266-71.
115. Burland JP, Kostyun RO, Kostyun KJ, Solomito M, Nissen C, Milewski MD. Clinical outcome measures and return-to-sport timing in adolescent athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train*. 2018;53(5):442-51.
116. 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.
117. Geffroy L, Lefevre N, Thevenin-Lemoine C, Peyronnet A, Lakhil W, Fayard JM, Chotel F; French Arthroscopy Society. Return to sport and re-tears after anterior cruciate ligament reconstruction in children and adolescents. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018 Dec;104(8S):S183-S188.
118. Kay J, Memon M, Marx RG, Peterson D, Simunovic N, Ayeni OR. Over 90% of children and adolescents return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(4):1019-36.
119. Del Bel MJ, Fairfax AK, Jones ML, Steele K, Landry SC. Effect of limb dominance and sex on neuromuscular activation patterns in athletes under 12 performing unanticipated sidecuts. *J Electromyogr Kinesiol*. 2017;36:65-72.
120. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of Secondary Injury in Younger Athletes after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2016;44(7):1861-76.