

## Sección V. Investigación y Ciencias Básicas

# Reconstrucción del ligamento cruzado anterior en esqueleto inmaduro

Estudio experimental en caninos

Dr. Luis Fernando Rodríguez\*, Dr. Alfonso Monroy, Dr. José Ignacio Zapata, Dr. Carlos Leal

### Resumen

Se realizó un estudio experimental en caninos con el fin de comparar las alteraciones histológicas y clínicas con dos técnicas de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) en esqueleto inmaduro. Fueron intervenidos 16 perros criollos entre 2 y 3 meses de edad. Luego de la resección completa del LCA, éste fue reconstruido con autoinjerto de fascia lata. Los perros se dividieron en 2 grupos de estudio de 8 cada uno. En el grupo (A) el LCA fue reconstruido con el paso del autoinjerto de fascia lata a través de túneles transfisiarios, mientras en el grupo (B) se realizó la técnica "sobre el cóndilo" sin túneles transfisiarios. 4 perros de cada grupo se sacrificaron a las 6 y 12 semanas de cirugía. Se realizó un análisis histomorfométrico midiendo el espesor fisiario, la presencia o no de puentes óseos y la pérdida del patrón celular en la fisis. Estos parámetros fueron comparados con sus controles contralaterales. La longitud de fémur, tibia y extremidad total fue medida y comparada con los controles contralaterales a las 6 y 12 semanas de cirugía. Los resultados fueron comparados por un análisis pareado T-test y un análisis de varianza de 2 vías, como también los resultados normalizados comparando las diferencias entre las extremidades intervenidas y sus controles. El promedio de reducción en el espesor fisiario entre la 6ª y 12ª semanas fue significativamente mayor en los especímenes operados con túneles transfisiarios, sugiriendo un efecto inductor del cierre fisiario. El promedio de reducción del cierre fisiario fue menor en las extremidades intervenidas con la técnica "sobre el cóndilo" al compararlas con sus controles, sugiriendo un efecto inhibitorio en el cierre fisiario, debido probablemente a un efecto externo sobre la fisis. Tanto en las tibias con técnica "sobre el cóndilo" como en las tunelizadas se encontró una mayor reducción del espesor fisiario en el punto externo de medición, sugiriendo un cierre más rápido de la fisis en este sitio. Este efecto podría generar una deformidad angular con el tiempo, utilizando ambas técnicas. No encontramos discrepancia de longitud entre los grupos a las 12 semanas de cirugía, ni una correlación con los hallazgos histológicos. Los cambios significativos en el espesor fisiario, patrón celular y cierre fisiario nos llevan a concluir que hay una alteración de la fisis con ambas técnicas de reconstrucción del LCA. Este comportamiento no es clínicamente relevante en nuestro estudio de 12 semanas, y su comportamiento histológico debe ser explicado en estudios detallados posteriores.

**Palabras claves:** ligamento cruzado anterior, placa de crecimiento, perros.

### Introducción

La reconstrucción del LCA en el esqueleto inmaduro es controvertida, teniendo en cuenta la posibilidad de lesionar la fisis tibial proximal o

el fémur distal, con la consecuente aparición de discrepancias de longitud y deformidades angulares<sup>73</sup>. Los datos actuales sobre el tratamiento óptimo de esta lesión en el esqueleto inmaduro no son concluyentes<sup>1</sup>. Se ha descrito el tratamiento conservador<sup>14, 24, 40, 41, 45</sup> y varias técnicas para la reconstrucción, sin ser alguna de ellas de completa aceptación<sup>1, 8, 42, 56, 58, 61</sup>. Hay consenso en las múltiples complicaciones que produciría la colocación a través de túneles trans-

\* Laboratorio de Investigación en Ortopedia, Postgrado de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Universidad El Bosque. Instituto Franklin D. Roosevelt. Universidad de Ciencias Aplicadas UDCA.

fisiarios de un injerto hueso-tendón-hueso<sup>59, 60</sup>. Con precauciones, son más aceptadas las técnicas de reconstrucción utilizando autoinjertos tendinosos ya sea a través de túneles trans-fisiarios, fijaciones sin túneles óseos, o con un túnel transepfisiario en la tibia proximal y "sobre el cóndilo" en el fémur<sup>1, 8</sup>. Sin embargo, son escasos los reportes en la literatura que evalúen el comportamiento de las rodillas con estas técnicas de reconstrucción de LCA en esqueleto inmaduro.

En este estudio experimental en perros comparamos dos técnicas de reconstrucción quirúrgica del LCA con autoinjertos en esqueletos inmaduros: una que atraviesa las fisis de fémur y tibia y otra que las respeta. Mediante una validación histológica de las posibles lesiones fisiarias, el estado articular y de la evolución de los autoinjertos antes y después del cierre fisiario, se compararán los beneficios de cada uno de los procedimientos. Nuestra hipótesis de trabajo es que los procedimientos que atraviesan la fisis con interposición de tejido blando (fascia) no generan discrepancias de longitud, ni cierres fisiarios tempranos, ni deformidades angulares al utilizar las técnicas propuestas.

### Marco teórico

#### Manejo de la ruptura total de LCA en esqueleto inmaduro

La ruptura del LCA en atletas con esqueleto inmaduro ha tenido un incremento en su presentación clínica en los últimos años, debido a la mayor participación de los niños en competición deportiva. Mientras en el adulto el tratamiento con reconstrucción es ampliamente aceptado, en atletas con fisis abiertas éste tiene considerable controversia<sup>1, 2, 7, 14, 18, 19, 24, 33, 41, 42, 44, 45, 49, 52, 61, 68, 73</sup>.

#### Tratamiento conservador

Luego del diagnóstico de la lesión del LCA en pacientes con esqueleto inmaduro, muchos ortopedistas prefieren el tratamiento conservador, teniendo en cuenta la posibilidad de lesionar las fisis durante un tratamiento quirúrgico<sup>59</sup>. El tratamiento conservador incluye la utilización de un brace antirrotacional, la rehabilitación de isquiotibiales y cuádriceps, y la

restricción de actividades mayores. Aunque el resultado final del tratamiento no quirúrgico de la ruptura aguda del LCA en pacientes con esqueleto inmaduro no está bien documentado, la literatura sugiere que a corto y mediano plazo los resultados no son favorables, principalmente en atletas que insisten en retornar a su actividad deportiva.

En la serie de Bradley y cols.<sup>7</sup> el único paciente con ruptura completa del LCA que fue sometido a tratamiento conservador, tuvo dolor y laxitud clínica, pero no inestabilidad subjetiva. Mc Carroll y colaboradores<sup>44</sup> en 1988 reportaron 40 pacientes menores de 14 años con lesiones del LCA, 16 fueron tratados con brace, rehabilitación y restricción de actividades. Seis de estos pacientes tenían una ruptura completa del LCA, 4 lesión meniscal medial y 2 lesiones meniscales laterales. Todos los 16 pacientes regresaron a sus actividades deportivas, 9 tuvieron inestabilidad recurrente y abandonaron su deporte, 7 continuaron practicándolo con brace, presentando ocasionalmente episodios subjetivos de inestabilidad.

Kannus y Jarvien<sup>41</sup> reportaron 8 años de seguimiento de 32 pacientes con ruptura de ligamentos de la rodilla, tratados en forma conservadora. Pacientes con lesiones parciales tuvieron buena evolución, pero aquéllos con rupturas completas tenían pobre evolución. Angel y Hall<sup>2</sup> en 1989 reportaron 7 rupturas completas del LCA en adolescentes tratadas en forma conservadora, y ninguno retornó a los niveles previos de actividad.

Graf y cols.<sup>24</sup> reportaron 12 pacientes esqueléticamente inmaduros con ruptura del LCA, de los cuales 8 fueron rehabilitados y retornaron a su actividad deportiva utilizando brace. Todos desarrollaron inestabilidad significativa y múltiples episodios de traslación anterior de la tibia, y 7 desarrollaron nuevas lesiones meniscales, necesitando después una reconstrucción intraarticular del LCA. Los investigadores concluyeron que el manejo con brace es inefectivo en prevenir episodios de inestabilidad o daño meniscal posterior, en atletas renuentes a abandonar las actividades deportivas.

#### Tratamiento quirúrgico

Existen varias opciones para la reparación o reconstrucción del LCA deficiente en rodillas de atletas con esqueleto inmaduro.

DeLee y Curtis<sup>18</sup> en 1982, reportaron la reparación primaria utilizando suturas a través de la placa fisiaria. Luego de un seguimiento de 21 meses en 3 pacientes encontraron clínicamente inestabilidad anterior. Aunque los pacientes expresaban pocos síntomas, dos tenían episodios repetitivos de inestabilidad anterior durante la práctica deportiva. Engebretson y colaboradores<sup>19</sup> repararon 8 rupturas completas del LCA con suturas, y reportaron disminución en los niveles de actividad y laxitud residual considerable en 3 a 8 años de seguimiento. McCarroll y cols.<sup>44</sup> reconstruyeron 8 rupturas agudas del LCA y 2 crónicas, realizando una tenodesis extraarticular con bandeleta iliotibial; 5 retornaron a su actividad deportiva sin problemas, y 5 presentaron inestabilidad moderada luego de reiniciar deporte. Graf y cols.<sup>24</sup> trataron 2 pacientes con una tenodesis extraarticular de bandeleta iliotibial, pero ambos desarrollaron inestabilidad sintomática y nuevas rupturas meniscales; necesitando una reconstrucción intraarticular.

El uso de los procedimientos extraarticulares en adultos ha disminuido drásticamente, y aunque la eficacia a largo plazo de procedimientos similares en atletas con esqueleto inmaduro se ha cuestionado, no hay buenas perspectivas con esta técnica.

La reconstrucción intraarticular es el procedimiento más utilizado en adultos, y se han descrito varias modificaciones de este método para el esqueleto inmaduro; como son la utilización de tendones del semitendinoso, gracilis o ambos. El paso de tejidos blandos a través de la fisis abierta no ha demostrado que cause un cierre prematuro de ésta. La utilización de bloques óseos o tornillos de interferencia a través de la fisis, tienen una alta probabilidad de alteración en el crecimiento fisiario, y no se recomiendan actualmente.

Lipscom y Anderson<sup>42</sup> reportaron la utilización de túneles a través de la tibia y el fémur y sólo encontraron deformidad en un paciente. McCarroll y cols.<sup>44</sup> reportaron 14 pacientes con reconstrucciones intraarticulares y no mostraron anomalías en el crecimiento. Graf<sup>24</sup> trató 2 pacientes con reconstrucción intraarticular usando el semitendinoso y su evolución fue satisfactoria. El "tomato stake" propuesto por Bergfeld<sup>20</sup> utiliza una banda del tendón patelar pasándolo anterior en la tibia sobre el cuerno anterior del menisco medial, y por detrás del cóndilo femoral

lateral, sin violar la fisis. Brief<sup>9</sup> describió una variación de este método utilizando el semitendinoso y gracilis. Estas dos últimas técnicas tienen la desventaja de ser reconstrucciones no isométricas, no anatómicas.

La reconstrucción intraarticular más precoz descrita es en un niño de 7 años por Mineaci<sup>59</sup> en 1992, a quien se le realizó una reconstrucción intraarticular con semitendinoso y LAD a través de un túnel transepifisario en la tibia y "over the top" en el cóndilo femoral lateral. En 3 años de seguimiento la fisis persistía abierta y no había deformidad angular.

La reconstrucción del LCA en el esqueleto inmaduro es controvertida, teniendo en cuenta la posibilidad de lesionar la fisis tibial proximal o el fémur distal, con la consecuente aparición de discrepancias de longitud y deformidades angulares<sup>75</sup>. Los datos actuales sobre el tratamiento óptimo de esta lesión en el esqueleto inmaduro no son concluyentes<sup>1</sup>. Se ha descrito el tratamiento conservador<sup>14, 24, 40, 41, 45</sup> y varias técnicas para la reconstrucción, sin ser alguna de ellas de completa aceptación<sup>1, 8, 42, 56, 58, 61</sup>. Hay consenso en las múltiples complicaciones que produciría la colocación a través de túneles transfisarios de un injerto hueso-tendón-hueso<sup>59, 60</sup>. Con precauciones, son más aceptadas las técnicas de reconstrucción utilizando autoinjertos tendinosos ya sea a través de túneles transfisarios, fijaciones sin túneles óseos, o con un túnel transepifisario en la tibia proximal y "sobre el cóndilo" en el fémur<sup>1, 8</sup>. Sin embargo, son escasos los reportes en la literatura que evalúen el comportamiento de las rodillas con estas técnicas de reconstrucción de LCA en esqueleto inmaduro.

En este estudio experimental en perros comparamos dos técnicas de reconstrucción quirúrgica del LCA con autoinjertos en esqueletos inmaduros: una, que atraviesa las fisis de fémur y tibia y otra, que las respeta. Mediante una validación histológica de las posibles lesiones fisiarias, el estado articular y de la evolución de los autoinjertos antes y después del cierre fisiario, se compararán los beneficios de cada uno de los procedimientos. Nuestra hipótesis de trabajo es que los procedimientos que atraviesan la fisis con interposición de tejido blando (fascia) no generan discrepancias de longitud, ni cierres fisiarios tempranos, ni deformidades angulares al utilizar las técnicas propuestas.

## Materiales y métodos

Para este estudio experimental se utilizó un modelo animal canino. Se tomaron dos grupos, cada uno de 8 perros. Todos los perros fueron de raza criolla entre dos y tres meses de edad a los que se les realizó la cirugía de reconstrucción del LCA (ligamento cruzado anterior) por sustitución con autoinjerto de fascia lata, utilizando dos técnicas diferentes. La escogencia del procedimiento para cada espécimen fue aleatoria, mediante un sistema de balotas. En el primer grupo (grupo túnel), se utilizó una técnica de Paatsama modificada<sup>36</sup>, que se describe a continuación: se realiza afeitado de la extremidad a intervenir y se tienen en cuenta las medidas de asepsia y antisepsia requeridas en quirófano. Se hace la incisión en piel y tejido celular subcutáneo, sobre la parte anterior y central de la rodilla, luego de una disección subcutánea lateral se identifica la fascia lata hasta su inserción tibial y se toma la porción anterior de ésta con un espesor de 5 mm, desinsertándola proximalmente y respetando su inserción distal. El injerto es reforzado en su porción proximal con una sutura en forma de "trampa lateral" para facilitar su paso intra-articular. Luego se realiza una artrotomía interna, con luxación lateral de la rótula; se secciona y reseca el LCA y se revisa toda la articulación anotando las posibles lesiones intraarticulares. Se realiza un túnel tibial de anterior e interno a posterior y externo, saliendo al sitio original de inserción tibial del LCA, con una broca de 2 mm (Synthes). El túnel femoral se realiza con la misma broca, desde la escotadura intercondílea, localizando el punto de inserción femoral del LCA y dirigiendo la broca hacia la cara lateral del cóndilo externo. Se pasa el autoinjerto de fascia lata a través de los túneles en la tibia y el fémur, y se fija al sesamoideo externo femoral con sutura monofilamento no absorbible 3/0 (Prolene, Ethicon), manteniendo la rodilla en 60 de flexión y controlando la tensión adecuada del injerto. Se lava la articulación con SSN, se reduce la rótula, se cierra el retináculo interno con sutura absorbible 3/0 (Vicryl, Ethicon) puntos separados cruzados, y tejido celular subcutáneo y piel en un plano con sutura monofilamento absorbible 3/0 (Byosin, O-Surgical), sutura subcutánea continua.

En el segundo grupo (grupo OTT), se utilizó una modificación de la técnica descrita en perros como "sobre el cóndilo" conocida en la literatura inglesa como "over the top" (OTT) o "under and over"<sup>65</sup>. El procedimiento es igual hasta la toma

del injerto de fascia lata, el cual se pasa por debajo del ligamento intermeniscal anterior en la tibia, y en el fémur "abraza" el aspecto posterior del cóndilo externo desde la escotadura intercondílea, para ser fijado finalmente en el aspecto superior y lateral de este cóndilo sobre el sesamoideo externo, con sutura no absorbible (Prolene 3/0, Ethicon). Luego, el cierre es igual que en la técnica utilizada en el Grupo Túnel. En este procedimiento no se atraviesan las fisis de la tibia y el fémur.

Los procedimientos quirúrgicos se realizaron bajo anestesia general, con técnica inhalatoria, utilizando Enflurano (Etrane, Hoescht) y bajo la supervisión de un médico veterinario especializado en anestesia inhalatoria de especies menores. Todos los procedimientos quirúrgicos se realizaron en el quirófano de cirugía animal en especies menores de la Universidad de Ciencias Aplicadas (UDCA), bajo la supervisión del Departamento de Medicina Veterinaria y siguiendo todos los parámetros de ética en cirugía experimental del Laboratorio de Investigación en Ortopedia de la Universidad el Bosque. Después del procedimiento quirúrgico los animales se mantuvieron en jaulas acondicionadas y en aislamiento. Periódicamente durante el día eran sacados a un patio común al aire libre donde iniciaban la demabulación según su condición clínica. Estuvieron en inmovilización blanda y se les practicaron curaciones diarias en control de sus heridas. Se llevó una historia clínica con evolución diaria de los cambios que presentaron, registrando el tiempo de apoyo parcial y total, así como los cambios o complicaciones como fiebre, inapetencia o vómito.

El número de especímenes se obtuvo mediante un análisis de potencia estadística de acuerdo a los resultados esperados y encontrados en la literatura. Se realizó un estudio piloto que confirmó este análisis de potencia, dando como resultado un número mínimo de 8 animales por grupo de estudio. Las rodillas control en cada momento de sacrificio de los animales de los grupos Túnel y OTT fueron las rodillas contralaterales.

La curva de crecimiento rápido de los perros criollos va de los dos meses hasta los seis meses de edad. Los especímenes de estos grupos Túnel y OTT fueron sacrificados en intervalos de seis semanas y en subgrupos de cuatro animales cada uno. El primer momento de sacrificio se realizó a las 6 semanas de la cirugía, o sea, entre los cuatro y cinco meses de edad del animal. En este

momento el perro se encuentra en su fase de más rápido crecimiento. El segundo momento de sacrificio se realizó a las doce semanas de la cirugía, o sea, entre los seis y siete meses de edad. En este momento los perros están terminando su fase de crecimiento rápido.

### Técnica de sacrificio

Para el sacrificio, se aplicó por vía intravenosa una sobredosis de Rompun más Pentobarbital, ocasionando paro respiratorio inmediato a todos los animales. Se sacrificaron perros de cada grupo de la siguiente manera: a las seis semanas 4 perros de reconstrucción con túneles (grupo túnel 6) y 4 perros de la técnica "sobre el cóndilo", conocida en la literatura inglesa como "*under and over*" o "*over the top*" (OTT) (grupo OTT 6). A las 12 semanas se sacrificaron 4 perros de reconstrucción con túneles (grupo túnel 12) y 4 de reconstrucción con técnica "sobre el cóndilo" (grupo OTT 12). Estos 16 perros sacrificados se utilizaron para el estudio anatomopatológico e histológico.

En los perros sacrificados las extremidades posteriores fueron entonces disecadas y extraídas para hacer una medición de longitud real de ambos fémures y tibias. La longitud del fémur fue tomada desde el borde superior de la cabeza femoral hasta el borde más distal del cóndilo femoral interno. La longitud de la tibia fue tomada desde el punto más proximal del platillo tibial interno hasta el punto más distal del maleolo tibial. Para esta medición se utilizó una regla de precisión en milímetros con sus décimas.

### Técnica de preparación histológica

Cada extremidad posterior fue disecada hasta obtener el extremo proximal de la tibia y el distal del fémur, libres de tejidos blandos. En las tibias con túnel transepifisiario se realizaron cortes coronales cada dos milímetros, hasta establecer el punto central de dicho túnel, sitio en el cual su espesor fue mayor. A partir de este corte se realizaron 4 cortes hacia anterior y 4 hacia posterior, cada 6 micras. En las tibias con la técnica "sobre el cóndilo", al igual que en todos los controles, se realizó un corte coronal en un sitio equivalente al correspondiente al centro del túnel tibial y los cortes anteriores y posteriores a este punto de la misma forma. No se utilizaron para el análisis histológico los fémures, ya que la forma ondulada, irregular de su fisis hace que sea

poco fiable la toma de medidas histomorfométricas con puntos de medición similares en todos los cortes.

Se realizó una medida histomorfométrica cuantitativa del tamaño de la fisis en todas las rodillas intervenidas con ambas técnicas y sus controles contralaterales para su comparación estadística. En estas rodillas control contralaterales se realizaron los mismos cortes para determinar el tamaño relativo de la fisis. También se realizó una medida histomorfométrica cuantitativa del área de pérdida del patrón fisiario alrededor del túnel transepifisiario, para ser comparada a las 6 y 12 semanas. Finalmente se realizó un análisis cualitativo determinando la presencia de puentes óseos en las tibias operadas con la técnica de túneles.

### Análisis cuantitativo histomorfométrico

#### Tamaño de la fisis

Inicialmente se estableció el centro del túnel transfisiario, tomando el mayor diámetro del ligamento a través de este túnel. A partir de este punto, se realizaron 4 cortes hacia anterior y 4 cortes hacia posterior a una distancia de 6 micras (Figura 1). Se utilizaron únicamente las tibias para medir el tamaño de la fisis como parámetro de lesión fisiaria. En las tibias control y en las operadas con la técnica "sobre el cóndilo", se tomó un punto similar a las tibias con túneles, para los cortes. En los 8 cortes por tibia descritos anteriormente, se ubicó el punto central de la fisis en su longitud de interno a externo. A partir de este punto y bajo visión directa sobre el portaobjeto se tomaron dos puntos de medición a 5 mm: uno externo y otro interno. En total se realizó la medición en un punto central y dos laterales. Cabe anotar que por lo general, el punto central coincidió con el área más cercana al túnel. Los 3 puntos descritos, fueron tomados como puntos de medición del tamaño fisiario (Figura 2). El tamaño de la fisis se tomó entre el borde epifisiario de la capa germinativa y el borde metafisiario de la capa hipertrófica. (Foto 1) Se tomó el valor promedio del punto interno y externo para ser comparados entre sí, a las 6 y 12 semanas y con los valores en sitios similares de la tibia contralateral. No se utilizó el punto central para el tamaño promedio de la fisis ya que está muy alterado, y es de difícil medición en las tibias con túneles transfisiarios. La misma medi-

ción se realizó en los cortes de las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" y sus controles.

Los valores promedio de tamaño fisiario en los puntos externo e interno fueron comparados entre sí, con el fin de determinar un posible crecimiento irregular de la fisis. Este crecimiento irregular podría ser un predictor histológico de una deformidad angular.

Los valores de esta variable son expresados en milímetros y sus décimas, ya que se utilizó para la medición un microscopio con proyección sobre una superficie plana con cuadrícula milimetrada, a una distancia establecida en 50 cm. La medida fue corroborada sobre la superficie de proyección con un medidor de exactitud, grafculo de Merz.

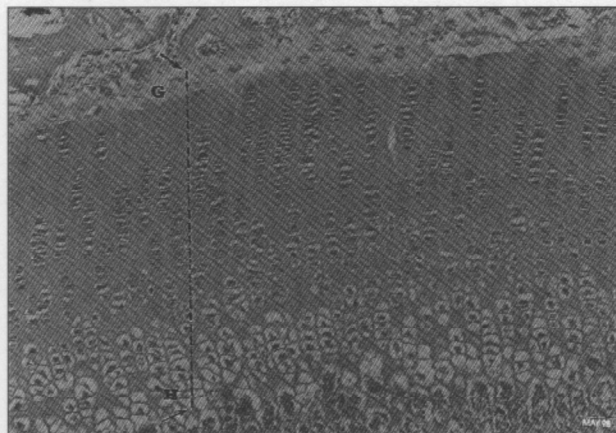


Foto 1 Puntos de referencia para la medición del tamaño de la fisis. Entre el borde epifisario de la capa germinativa (G) y el borde metafisario de la capa hipertrofica (H) de la fisis proximal de la tibia.

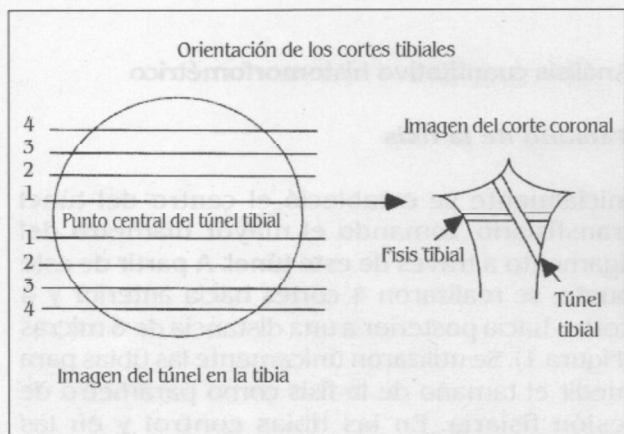


Fig. 1. A la izquierda se observa el esquema de la imagen del túnel tibial desde su aspecto superior - proximal. A partir del centro del túnel, se realizan 4 cortes hacia posterior y 4 cortes hacia anterior. La imagen coronal de cada corte, se observa a la derecha.

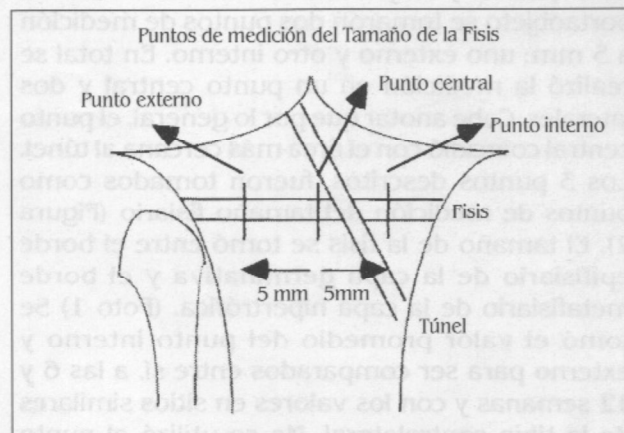


Fig. 2. En cada corte coronal se toma el punto central de la fisis utilizando una regla milimétrica. A partir de este punto se determinan 2 puntos: uno externo y otro interno, a 5 mm del punto central.

### Área de pérdida del patrón fisiario

Esta medición sólo se realizó en las tibias operadas con túneles transfisarios. Se tomó la medida desde el borde interno del túnel hasta el punto inicial de regularización de la fisis (véase Foto 2). Esta medición se realizó tanto en el borde externo del túnel como en el interno. Para esta medición se utilizó el lente x10 de un microscopio de luz (Olympus). Se ubicó el borde del campo en los puntos a medir y se midió su desplazamiento en milímetros y sus décimas, según el sistema de medición adjunto al portaobjetos, incluido en el microscopio. Se consideró esta área medida, como área de pérdida del patrón fisiario. Dicha medición se realizó en el área fisiaria externa e interna al túnel en todos los cortes de tibias con reconstrucción transfisaria del LCA. Se tomó un promedio de la distancia encontrada en el área fisiaria externa y un promedio de la distancia encontrada en el área fisiaria interna. Dichos valores fueron comparados para establecer la pérdida del patrón fisiario externa e interna al túnel. Igualmente se compararon los valores promedio de dichas áreas a las 6 y 12 semanas para establecer la evolución de la pérdida del patrón fisiario como parámetro de lesión fisiaria. Esta variable de pérdida del patrón fisiario sólo se evaluó en la tibia, ya que la forma de la fisis femoral hace imposible la adecuada ubicación geométrica del túnel transepi-fisario.



Foto 2 El área de pérdida del patrón fisiario (APPF) se midió a partir de una línea en el borde de la fisis (F) con el túnel (T), y su distancia en milímetros hasta una línea que pasa por el sitio de regularización de las capas de fisis.

### Análisis cualitativo de puentes óseos transfisarios

Se tomaron las tibias con túneles transfisarios y se observó la presencia de puentes óseos en el borde externo e interno de dicho túnel, a nivel de la fisis. La presencia de células óseas fue medida en términos de extensión de las mismas a través del tercio proximal, medio o distal del túnel, en el sitio donde éste atraviesa la fisis. Se compararon estos hallazgos a las 6 y 12 semanas. Para esta medición se utilizó el lente x 10 de un microscopio de luz (Olympus).

El análisis estadístico se realizó mediante un estudio pareado tipo Student-T, determinando inicialmente la estadística descriptiva de cada grupo con sus respectivas desviaciones estándar. Una vez obtenido el valor de cada una de las variables, se realizó un ANOVA de dos vías, analizando cada parámetro en comparación con su control contralateral. Para evitar sesgos por variaciones biológicas entre los diferentes especímenes, se realizó un ANOVA de mediciones repetitivas, así como un análisis de valores normalizados en el que se compararon las diferencias de las variables respecto de su control contralateral. De esta manera se aseguró un control de alta potencia estadística y se redujo el número de especímenes necesarios para un análisis adecuado. Tanto los reportes de la literatura como nuestros propios estudios pilotos determinaron que la posibilidad de resultados adecuados con el autoinjerto de LCA era cercana al 80%, por lo que se realizó un análisis de potencia obte-

niendo un mínimo de tres especímenes por grupo. Estos análisis se realizaron comparando los dos grupos de estudio en los dos puntos de análisis presentados en materiales. El análisis histomorfométrico y los cambios macroscópicos (longitud), fueron analizados en forma ciega por los mismos observadores y coautores de el trabajo. El análisis final de los datos se realizó con la ayuda del Laboratorio de Investigación en Ortopedia del Postgrado de Cirugía Ortopédica y Traumatología de la Universidad El Bosque, y con la utilización del programa estadístico Stat-View 4.1.

## Resultados

### Tamaño de la fisis

Se tomaron los valores promedio del tamaño de la fisis en los dos puntos de medición: externo e interno, tanto en las rodillas operadas como en sus controles, a la 6<sup>a</sup> y 12<sup>a</sup> semanas.

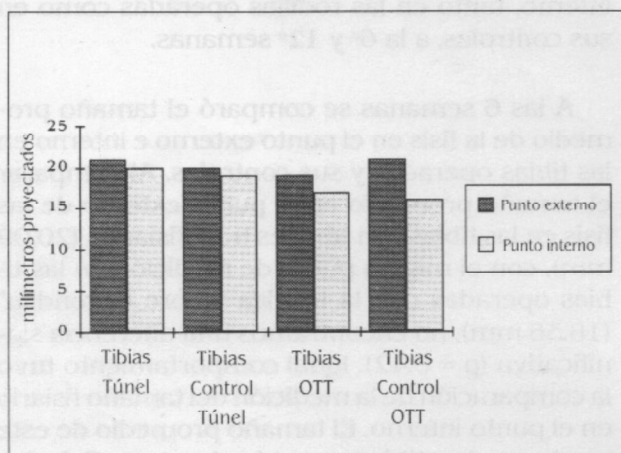
A las 6 semanas se comparó el tamaño promedio de la fisis en el punto externo e interno en las tibias operadas y sus controles. Al comparar el tamaño promedio en el punto externo de las fisis en las tibias con túneles transfisarios (20.09 mm), con el mismo punto de medición en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (18.36 mm), no encontramos una diferencia significativa ( $p = 0.42$ ). Igual comportamiento tuvo la comparación de la medición del tamaño fisiario en el punto interno. El tamaño promedio de este punto en las tibias con túneles transfisarios (19.57 mm), no tuvo una diferencia significativa con el mismo punto de medición en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (15.71 mm), ( $p = 0.07$ ). (Gráfica 1). El tamaño promedio de la fisis en los dos puntos de medición a las seis semanas en las tibias operadas no tuvo diferencias significativas con sus controles, tanto en el grupo de tibias tunelizadas como en las operadas con la técnica "sobre el cóndilo". La comparación del tamaño promedio de la fisis en los dos puntos de medición fisiario entre los controles de los dos grupos de estudio, tampoco tuvo una diferencia significativa (Gráfica 1).

A las 12 semanas se comparó el tamaño promedio de la fisis en los puntos externo e interno en las tibias operadas y sus controles. El tamaño promedio de la fisis en el punto externo de las tibias con túneles transfisarios (10.86 mm), fue

significativamente menor que el mismo punto de medición en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (12.85 mm) ( $p = 0.01$ ). El tamaño promedio de la fisis en el punto interno de las tibias operadas con túneles transfisiarios (12.55 mm), no tuvo una diferencia significativa con el mismo punto de medición en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (13.04 mm) ( $p = 0.55$ ) (Gráfica 2). El tamaño promedio de la fisis en los dos puntos de medición en las rodillas operadas fue similar a sus controles, tanto en el grupo de tibias tunelizadas como en las operadas con la técnica "sobre el cóndilo". La comparación del tamaño promedio de la fisis en los dos puntos de medición entre los controles de ambos grupos de estudio, tampoco tuvo una diferencia significativa. (Gráfica 2).

Gráfica 1

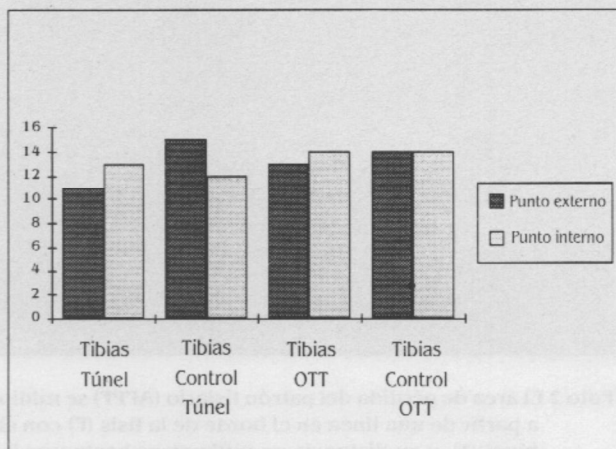
Tamaño promedio de la Fisis a la 6ª semana



Gráfica 1. El tamaño promedio de la fisis en el punto externo a las 6 semanas, en las tibias con túneles transfisiarios (Tibias túnel, columna punteada), no tuvo una diferencia significativa con el mismo punto de medición en las tibias de la técnica "sobre el cóndilo" (Tibias OTT, columna punteada) ( $p=0.42$ ). El tamaño promedio de la fisis en el punto interno de las tibias con túneles transfisiarios (Tibias túnel, columna blanca), tampoco tuvo una diferencia significativa con el mismo punto de medición en las tibias con la técnica "sobre el cóndilo" (Tibias OTT, columna blanca) ( $p=0.07$ ). El tamaño de la fisis en los dos puntos de medición en las tibias operadas no tuvo diferencias significativas con sus controles, tanto en el grupo de tibias tunelizadas (Tibias Túnel vs. Tibias Control Túnel) como en las operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (Tibias OTT vs. Tibias Control OTT). La comparación del tamaño de la fisis en los dos puntos de medición fisiaria de los controles de ambos grupos de estudio, tampoco tuvo una diferencia significativa (Tibias Control Túnel vs. Tibias Control OTT).

Gráfica 2

Tamaño promedio de la fisis a la 12ª semana



Gráfica 2. El tamaño promedio de la fisis a las 12 semanas, en el punto externo de las tibias tunelizadas (Tibias Túnel, columna punteada), fue significativamente menor que el mismo punto de medición en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (Tibias OTT, columna punteada) ( $p = 0.01$ ). El tamaño promedio de la fisis en el punto interno de las tibias operadas con túneles transfisiarios (Tibias Túnel, columna blanca), no tuvo una diferencia significativa con el mismo punto de medición en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (Tibias OTT, columna blanca) ( $p = 0.55$ ). El tamaño promedio de la fisis en los dos puntos de medición en las tibias operadas no tuvo diferencias significativas con sus controles, tanto en el grupo de tibias tunelizadas (Tibias Túnel vs. Tibias Control Túnel) como en las operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (Tibias OTT vs. Tibias Control OTT). La comparación del tamaño promedio de la fisis en los dos puntos de medición fisiario de los controles de los dos grupos de estudio, tampoco tuvo una diferencia significativa (Tibias Control Túnel vs. Tibias Control OTT).

La comparación del tamaño de la fisis en los dos puntos de medición, entre la 6ª y 12ª semanas, mostró una reducción significativa tanto en las tibias operadas con las dos técnicas como en sus controles. Lo anterior indica la evolución normal del tamaño de la fisis con el crecimiento óseo.

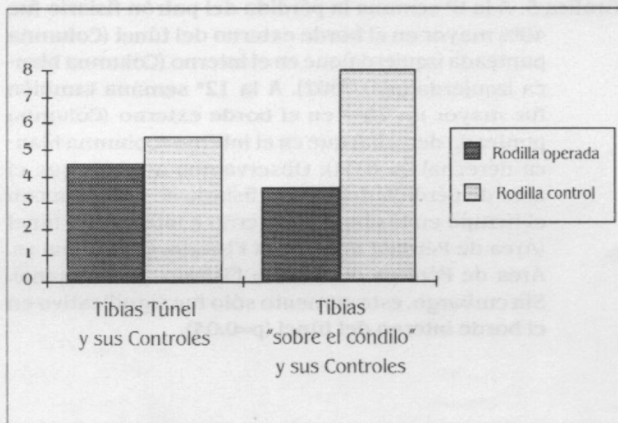
Al sumar los valores promedio del tamaño fisiario en los puntos interno y externo, obtuvimos el tamaño promedio de la fisis. Este valor promedio de tamaño fisiario se tomó a la 6ª y 12ª semanas, tanto en las tibias operadas como en sus controles. Al restar el valor promedio del tamaño fisiario a la 12ª semana, del mismo valor a la 6ª semana, obtuvimos el valor de reducción del tamaño fisiario entre la 6ª y 12ª semanas. El valor de reducción del tamaño fisiario en las ti-



bias operadas con la técnica de túneles (8.12 mm) fue 31% mayor que el valor de reducción en sus tibias control (5.61 mm), y esta diferencia fue significativa ( $p = 0.03$ ). El valor de reducción del tamaño fisiario en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" fue 23% menor que el valor de reducción en sus tibias control (4.47 mm), y esta diferencia fue significativa ( $p = 0.02$ ). (Gráfica 3). El valor de reducción del tamaño fisiario en las tibias operadas con la técnica de túneles fue 57% mayor que el valor de reducción en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo", y esta diferencia fue significativa ( $p = 0.03$ ). El valor de reducción del tamaño fisiario en las tibias control de la técnica de túneles fue similar al valor de reducción en las tibias control de las operadas con la técnica "sobre el cóndilo", sin encontrarse una diferencia significativa ( $p = 0.45$ ). (Gráfica 3).

Gráfica 3

Valor de la reducción del tamaño fisiario entre la 6ª y 12ª semanas



Gráfica 3. Comparación del valor de reducción del tamaño fisiario entre las tibias operadas y sus controles. En las tibias operadas con la técnica de túneles (Columna punteada izquierda) fue 31% mayor que en sus controles (Columna blanca izquierda) ( $p=0.03$ ). En las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (Columna punteada derecha) fue 23% menor que en sus controles (Columna blanca derecha) ( $p=0.02$ ). La reducción en el tamaño fisiario de las tibias operadas con la técnica de túneles (Columna punteada izquierda) fue 57% mayor que en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" (Columna punteada derecha) ( $p=0.03$ ). No hubo diferencia significativa al comparar este valor de reducción entre los controles de los dos grupos de estudio ( $p=0.45$ ).

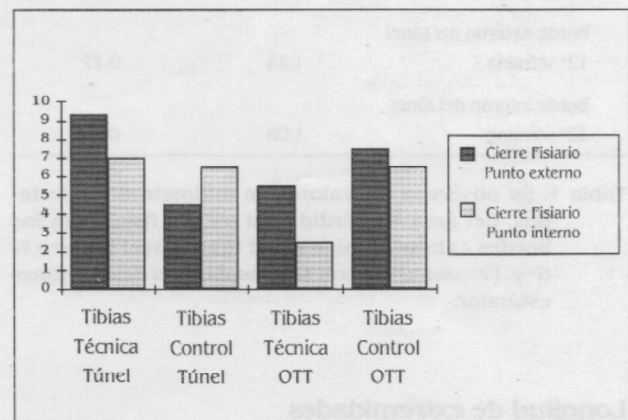
### Comparación del cierre fisiario en los puntos externo e interno de medición del tamaño fisiario, entre la 6ª y 12ª semanas

Para establecer la simetría en el cierre de la fisis entre el punto externo e interno, se compararon

los valores promedio de cada uno de estos dos puntos entre la 6ª y 12ª semanas. La diferencia entre dichos valores, es la magnitud del cierre de la fisis en el punto externo e interno. Este valor se comparó en las rodillas operadas y sus controles. La magnitud del cierre fisiario en el punto externo (9.23 mm) de las rodillas operadas con túneles transfisiarios fue 24% mayor que en el punto interno (7.02 mm), y esta diferencia fue significativa ( $p=0.03$ ). Igualmente, la magnitud del cierre fisiario en el punto externo (5.51 mm) de las rodillas operadas con la técnica "sobre el cóndilo" fue 48% mayor que en el punto interno (2.67 mm), y esta diferencia fue significativa ( $p=0.01$ ). La magnitud del cierre fisiario en el punto externo (4.73 mm) de las tibias control de las tunelizadas fue similar al cierre fisiario en el punto interno (6.49 mm), sin encontrarse diferencia significativa ( $p=0.20$ ). Igual sucedió con las tibias control de la técnica "sobre el cóndilo", donde el cierre en el punto externo (7.49 mm) fue muy similar al del punto interno (6.49 mm), sin encontrarse una diferencia significativa ( $p=0.49$ ) (Gráfica 4).

Gráfica 4

Comparación de la magnitud del cierre fisiario en los puntos externo e interno entre la 6ª y 12ª semanas



Gráfica 4. La magnitud del cierre fisiario en el punto externo fue mayor que en el interno, en las tibias con la técnica de túnel ( $p=0.03$ ), al igual que la diferencia entre estos dos puntos en las tibias con la técnica OTT ("sobre el cóndilo") ( $p=0.01$ ). Las diferencias en el cierre fisiario al comparar el punto externo e interno en las tibias control de los dos grupos de estudio, no fueron estadísticamente significativas.

### Área de pérdida del patrón fisiario

Esta evaluación sólo fue realizada en las tibias tunelizadas, comparando los valores promedio

del área de pérdida del patrón fisiario en el borde externo e interno del túnel transfisiario a la 6ª y 12ª semanas (Tabla 1). En la 6ª semana la pérdida del patrón fisiario fue 49% mayor en el borde externo del túnel que en el interno, y esta diferencia fue significativa ( $p=0.0002$ ). A la 12ª semana la pérdida del patrón fisiario en el borde externo del túnel fue 25% mayor que en el interno ( $p=0.04$ ). El área de pérdida del patrón fisiario en el borde externo del túnel a la 12ª semana fue 12% mayor que la medición en el mismo punto a la 6ª semana, sin ser significativa esta diferencia ( $p=0.13$ ). En el borde interno a la 12ª semana el área de pérdida del patrón fisiario fue 40% mayor que la medición en el mismo punto a la 6ª semana, y esta diferencia fue significativa ( $p=0.04$ ). (Gráfica 5).

Tabla 1

Valores promedio del área de pérdida del patrón fisiario en el borde externo e interno del túnel transfisiario a la 6ª y 12ª semanas

	Valor promedio (mm)	Desviación estándar
Borde externo del túnel		
6ª semana	1.27	0.07
Borde interno del túnel		
6ª semana	0.65	0.03
Borde externo del túnel		
12ª semana	1.44	0.17
Borde interno del túnel		
12ª semana	1.08	0.24

Tabla 1. Se observan los valores en milímetros proyectados, del área de pérdida del patrón fisiario en los bordes externo e interno del túnel transfisiario a la 6ª y 12ª semanas, con sus respectivas desviaciones estándar.

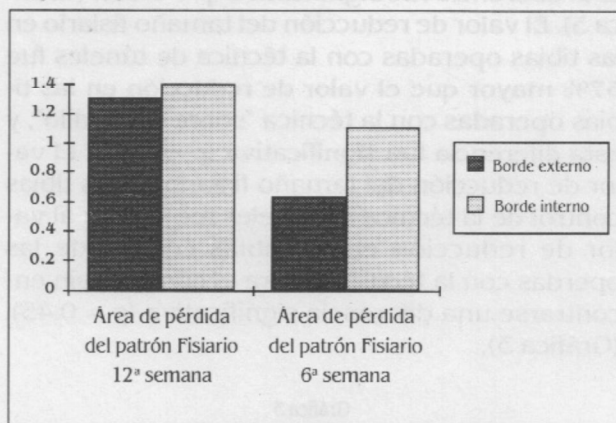
### Longitud de extremidades

Se midió en forma separada la longitud total de todos los fémures y tibias operados, y sus controles, tanto a la 6ª como a la 12ª semana. Igualmente se sumaron los valores de cada segmento óseo para obtener la longitud total de la extremidad posterior. (Tabla 2 y Tabla 3). Calculando la diferencia entre las longitudes promedio de cada segmento óseo (fémur y tibia) entre la semana 6ª y 12ª, se estableció el crecimiento promedio por segmento, y el

crecimiento promedio total de la extremidad (Tabla 4).

Gráfica 5

Evolución del área de pérdida del patrón fisiario en los bordes externo e interno del túnel entre la 6ª y 12ª semanas



Gráfica 5. A la 6ª semana la pérdida del patrón fisiario fue 49% mayor en el borde externo del túnel (Columna punteada izquierda) que en el interno (Columna blanca izquierda) ( $p=0.0002$ ). A la 12ª semana también fue mayor un 25% en el borde externo (Columna punteada derecha) que en el interno (Columna blanca derecha) ( $p=0.04$ ). Observamos además que el área de pérdida del patrón fisiario se aumenta con el tiempo en los bordes externo e interno del túnel (Área de Pérdida del Patrón Fisiario, 6ª Semana vs. Área de Pérdida del Patrón Fisiario, 12ª Semana). Sin embargo, este aumento sólo fue significativo en el borde interno del túnel ( $p=0.04$ ).

No encontramos diferencias significativas entre el crecimiento de fémures de extremidades operadas con túneles y las operadas con la técnica "sobre el cóndilo". Tampoco encontramos diferencias significativas en el crecimiento de sus controles. Sí hubo una diferencia significativa al comparar el crecimiento de los fémures con sus respectivas tibias en los dos grupos de estudio y en sus controles. En todas las extremidades las tibias crecieron más que los fémures. No hubo diferencias en el crecimiento total de la extremidad al comparar las operadas con la técnica de túneles transfisiarios con las de técnica "sobre el cóndilo". Tampoco hubo diferencias de crecimiento al comparar sus controles contralaterales (Tabla 4).

**Tabla 2**  
Longitud promedio de fémures y tibias a la 6ª y 12ª semanas

	6ª semana	Desviación estándar	12ª semana	Desviación estándar
Fémur túnel	11.43	0.26	16.70	1.18
Fémur túnel control	11.52	0.32	16.70	1.28
Fémur "sobre el cóndilo"	12.20	0.74	16.15	2.28
Fémur "sobre el cóndilo" control	11.30	0.90	15.95	2.40
Tibia túnel	11.80	0.29	17.80	1.42
Tibia túnel control	11.92	0.34	18.00	1.42
Tibia "sobre el cóndilo"	11.50	0.67	17.25	2.36
Tibia "sobre el cóndilo" control	11.52	0.71	17.07	2.65

**Tabla 2.** Se observan las cifras en milímetros del tamaño promedio de los fémures y tibias de las extremidades operadas y sus controles a la 6ª y 12ª semanas, con sus respectivas desviaciones estándar.

**Tabla 3**  
Longitud total de la extremidad posterior  
de los caninos a la 6ª y 12ª semanas

	6ª semana	Desviación estándar	12ª semana	Desviación estándar
Extremidad posterior túnel	23.22	0.56	34.50	2.58
Extremidad posterior túnel control	23.45	0.66	34.70	2.68
Extremidad posterior "sobre el cóndilo"	22.70	1.41	33.40	4.63
Extremidad posterior "sobre el cóndilo" control	22.83	1.59	33.03	5.02

**Tabla 3.** Se observan las longitudes totales promedio en milímetros de las extremidades posteriores operadas y su control contralateral, a la 6ª y 12ª semanas, con sus respectivas desviaciones estándar.

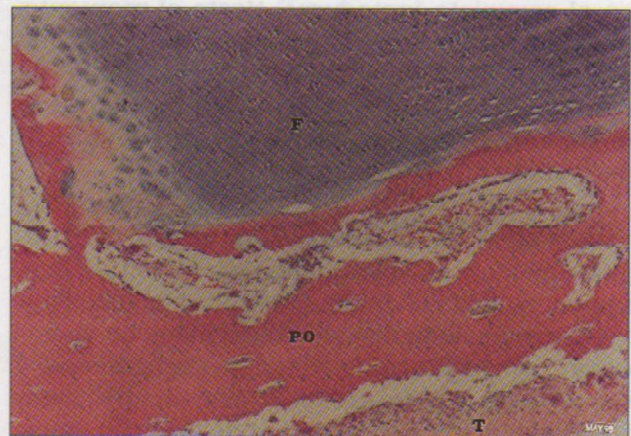
**Tabla 4**  
Crecimiento promedio de fémur, tibia y extremidad total  
entre la 6ª y 12ª semanas

	Promedio de crecimiento (mm)	Desviación estándar
Fémur túnel	5.27	1.18
Tibia túnel	6.00	1.47
Fémur túnel control	5.17	1.24
Tibia túnel control	6.07	1.40
Fémur "sobre el cóndilo"	4.95	2.73
Tibia "sobre el cóndilo"	5.75	2.76
Fémur "sobre el cóndilo" control	4.65	2.88
Tibia "sobre el cóndilo" control	5.55	3.04
Extremidad total túnel	11.27	2.65
Extremidad total túnel control	11.25	2.63
Extremidad total "sobre el cóndilo"	10.70	5.48
Extremidad total "Sobre el cóndilo" control	10.20	5.87

**Tabla 4.** Se observan las cifras en milímetros del crecimiento promedio de los segmentos óseos (fémures y tibias) y la extremidad posterior total, tanto en las extremidades operadas como en sus controles contralaterales. Este crecimiento promedio se obtuvo de restar las longitudes a las 6 semanas de las longitudes a las 12 semanas.

## Puentes óseos en los túneles transfisiarios

Se tomaron todos los cortes de tibias con túneles transfisiarios y se evaluó en forma cualitativa la presencia de puentes óseos en el borde externo y el borde interno del túnel a nivel de la fisís. En los túneles de las tibias del primer grupo de sacrificio (6 semanas), se observó una notoria diferencia entre los dos bordes del túnel. En el borde interno se observó en todos los cortes un puente óseo, caracterizado histológicamente como hueso trabecular en maduración, que parecía crecer de la epífisis hacia la metáfisis, comunicándose directamente con esta última (Foto 3). En el borde externo del túnel a las 6 semanas no se observó un puente óseo, que atravesara la fisís. Aunque, en algunos cortes se observó tejido óseo trabecular que no alcanzaba a pasar más de un tercio del espesor de la fisís a nivel del túnel. A la 12ª semana se observó claramente un puente óseo tanto en el borde externo como en el interno del túnel, en el sitio donde atraviesa la fisís. Cabe anotar que este puente óseo no apareció en un 20% de los cortes observados, tanto en el borde interno como en el externo.



**Foto 3** Puente óseo (PO), en el borde interno del túnel (T) ocupando la interfase entre la fisís (F) y el injerto en el túnel transfisiario (T). Tibia a la 6ª semana de cirugía.

## Discusión

La reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) en pacientes con esqueleto inmaduro ha sido ampliamente controvertida, principalmente por la alta probabilidad de lesión fisiaria y sus consecuencias clínicas, expresadas

en discrepancias de longitud y deformidades angulares de la extremidad inferior<sup>1, 8, 14, 42, 73</sup>. Se han publicado múltiples estudios describiendo las alteraciones fisiarias y sus consecuencias clínicas, ocasionadas por traumas directos o indirectos sobre la fisis<sup>10, 22, 53, 60, 63, 73</sup>. Wester y cols.<sup>73</sup> plantean el dilema entre la posibilidad de lesiones meniscales y degeneración articular en rodillas de niños con rupturas completas del LCA no reconstruidos, contra el acortamiento y deformidades angulares que se pueden producir como resultado de la lesión fisiaria durante la reconstrucción con túneles transefisiarios. Estos mismos autores en su estudio plantean algunos parámetros clínicos para predecir la magnitud de alteración de longitud y deformidades angulares de extremidades sometidas a reconstrucción con túneles transfisiarios. Otros autores como Andrews<sup>1</sup>, Brief<sup>8</sup>, Lipscomb<sup>42</sup>, y Parker<sup>61</sup>, han planteado la reconstrucción del LCA sin la utilización de túneles transfisiarios, o con autoinjertos diferentes al convencional hueso-tendón-hueso patelar. Los resultados clínicos de estos estudios no han dado una respuesta definitiva sobre la técnica más adecuada desde el punto de vista biomecánico, e igualmente inocua para la fisis. Son pocos los estudios que describen la magnitud de la lesión histológica fisiaria al reconstruir el ligamento cruzado anterior en el esqueleto inmaduro<sup>25</sup>. Hasta el momento, para nuestro conocimiento, no se han publicado estudios que comparen dos técnicas de reconstrucción del ligamento cruzado anterior en el esqueleto inmaduro analizando la magnitud del daño fisiario.

En este estudio experimental en perros, comparamos dos técnicas de reconstrucción del ligamento cruzado anterior, con el fin de encontrar los cambios histológicos ocasionados en la fisis como consecuencia de estos procedimientos, y sus posibles consecuencias clínicas, evidenciadas básicamente en discrepancias de longitud. No se evaluaron las posibles deformidades angulares, teniendo en cuenta la variabilidad angular de la extremidad inferior del perro, ocasionada por su actitud en flexión.

El resultado clínico de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior con las dos técnicas utilizadas fue muy similar, y en general se consideró excelente o bueno según los parámetros propuestos por Moore<sup>50</sup>. El hecho de no haber tenido complicaciones como infección, o inestabilidad clínica de la rodilla, disminuye la posibili-

dad de adicionar otros factores de lesión fisiaria diferentes al trauma ocasionado por la técnica quirúrgica.

El primer parámetro histomorfométrico analizado como indicador de lesión fisiaria, es el tamaño o espesor de la fisis en un punto externo y otro interno. A las 6 semanas no encontramos diferencias significativas en esta medición, comparando los dos grupos de estudio y sus controles. A la 12ª semana ya se evidencia una diferencia estadísticamente significativa entre el tamaño de la fisis en el punto externo de las tibias con túneles, comparado con las tibias con técnica "sobre el cóndilo" (OTT), siendo menor el primero de éstos. A su vez la comparación de este parámetro en los controles de los dos grupos de estudio no mostró diferencias significativas, lo cual da una mayor potencia estadística a la diferencia encontrada en el tamaño de la fisis en el punto externo a la 12ª semana. El valor promedio de reducción del tamaño de la fisis entre la semana 6ª y 12ª en el grupo de tibias con túneles fue significativamente mayor que el de sus controles, lo cual nos sugiere un efecto inductor del cierre fisiario ocasionado por el túnel transfisiario. El valor promedio de la reducción del cierre fisiario fue menor en las tibias operadas con la técnica "sobre el cóndilo" que en sus controles, lo cual nos sugiere un efecto "inhibitorio" del cierre fisiario, producido probablemente por un efecto de tensión externo a la fisis, por el autoinjerto de fascia lata utilizado en la técnica "sobre el cóndilo". A pesar de que la manifestación de lesión fisiaria ocasionada por el trauma quirúrgico es diferente en las tibias con túneles y en las tibias con técnica "sobre el cóndilo", es evidente que esta lesión se produce en ambas, teniendo en cuenta el parámetro de tamaño de la fisis.

La comparación del tamaño de la fisis en los puntos externo e interno, al igual que la comparación de la magnitud de reducción de estos valores entre la 6ª y 12ª semana, nos da una idea sobre la regularidad en el cierre fisiario. Tanto en las tibias operadas con túneles como en las operadas con técnica OTT se evidenció una mayor reducción en el tamaño del punto externo, que indica un cierre de la fisis más rápido en la porción externa que en la interna. El hecho de tener un cierre fisiario asimétrico, nos sugiere la probabilidad de inducción de deformidad angular con las dos técnicas quirúrgicas estudiadas.

El área de pérdida del patrón fisiario fue significativamente mayor en el borde externo del

túnel transfiario, y se comportó así hasta la 12ª semana. Además, esta pérdida del patrón fisiario se incrementó con el tiempo, tanto en el borde externo del túnel transfiario como en el interno. Lo anterior nos indica que la pérdida del patrón fisiario alrededor del túnel transfiario, no sólo es el resultado del trauma inicial durante la realización del túnel, sino que es una alteración que se hace permanente, evidenciándose una poca capacidad de la fisis en la recuperación de su organización celular.

Es evidente la presentación de puentes óseos a nivel de las fisis, en el sitio que éstas son atravesadas por el túnel y el autoinjerto de fascia lata que lo ocupa. El hecho de no tener una presentación completa del puente óseo en todos los cortes histológicos observados, nos sugiere que el puente óseo no ocupa la totalidad de la circunferencia del túnel, sino una porción de ésta. Es evidente la progresión del puente óseo a través del tiempo, siendo unilateral de predominio interno a las 6 semanas, y bilateral a las 12 semanas. La progresión del puente óseo en el punto externo entre las 6ª y la 12ª semana, al igual que la mayor magnitud de éste, en el punto externo a la 12ª semana, nos puede dar una explicación al cierre asimétrico de la fisis, que es mayor en la parte externa de ésta.

En general la magnitud de las alteraciones histológicas en las tibias con túneles transfiarios fue mayor en el área fisiaria cercana al borde externo del túnel, y en el punto externo de medición del tamaño fisiario, lo que nos sugiere una posible correlación entre el ángulo formado por el túnel y la fisis con el trauma fisiario. Serán necesarios estudios posteriores para evaluar las alteraciones histológicas en la fisis, realizando túneles con diferentes ángulos de inclinación o perpendiculares a ésta.

A pesar de los cambios histológicos descritos, no encontramos una correlación clínica adecuada con una posible alteración en la longitud a la 12ª semana. Al comparar el crecimiento de los segmentos óseos operados con la técnica de túneles, con los operados con la técnica "sobre el cóndilo" no encontramos diferencias significativas. Tampoco al comparar sus controles se encontró una diferencia estadísticamente significativa. Sí encontramos diferencia significativa entre la magnitud del crecimiento en las tibias y el de los fémures, pero esto sucede tanto en las ex-

tremidades operadas con ambas técnicas, como en sus controles, lo que nos sugiere un patrón de crecimiento normal en los perros del estudio, y no una alteración del crecimiento inducido por las técnicas quirúrgicas utilizadas.

Este estudio hace parte de una línea de investigación que a corto plazo tendrá una segunda fase, con la presentación de los resultados de un tercer grupo de perros seguido hasta el cierre completo de sus fisis, en los cuales además de la medición de longitudes, se realizará una prueba biomecánica comparando las dos técnicas quirúrgicas utilizadas.

### Conclusiones

Este estudio nos permite concluir que a las 12 semanas existen alteraciones histológicas significativas en la fisis tibial proximal de los caninos, luego de la reconstrucción del LCA tanto con túneles transfiarios como con la técnica "sobre el cóndilo". Es evidente la alteración en el tamaño, la variación en el cierre fisiario, la alteración en el patrón celular de la fisis y la formación de puentes óseos a través de los túneles transfiarios.

A pesar de no encontrar diferencias de longitud estadísticamente significativas a la 12ª semana, es posible que éstas sean evidentes al final del crecimiento. El hecho de tener a la 12ª semana una fisis muy próxima a cerrarse, nos sugiere que la magnitud de cambios histológicos producidos en las fisis con las dos técnicas de reconstrucción del LCA utilizadas, no tienen una representación clínica importante en la longitud de la extremidad. Sin embargo, son necesarios estudios con mayor seguimiento, al igual que la comparación de las alteraciones histológicas con posibles deformidades angulares, para establecer las repercusiones clínicas de la reconstrucción del LCA en esqueleto inmaduro, con túneles transfiarios o con la técnica "sobre el cóndilo".

Con los hallazgos encontrados en este estudio, y mientras no se publiquen otros estudios complementarios, no recomendamos la reconstrucción del LCA con la técnica de túneles transfiarios, ni la reconstrucción con la técnica "sobre el cóndilo", en pacientes con esqueleto inmaduro.

**Abstract**

*In order to compare two different techniques of reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACL) in immature skeletons, a canine experimental study was carried out to evaluate its clinical and histological physéal outcome. 16 domestic dogs were operated on at 2 and 3 months of age. A total resection of the ACL was done in all of the specimens, and then the defect was reconstructed with a conventional iliotibial band technique. The specimens were divided into two study groups of 8 dogs each. In the first group (A), the ACL was reconstructed with trans-physéal insertion of the graft, whereas in the second group (B) the over-the-top technique was performed. Four dogs of each group were sacrificed at 6 and 12 weeks after surgery. A histomorphometric analysis was carried out by measuring the thickness of the physéal plate, the presence or absence of bone bridges, and the loss of the cellular pattern. All of these parameters were compared with contralateral controls. The total length of femur, tibia and limb were measured and compared with contralateral controls at 6 and 12 weeks after surgery. All results were compared by a paired T-test and a two way analysis of variance, as well as the normalized results comparing the differences between the operated bones and their contralateral controls. The average reduction in physéal thickness between the 6<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> weeks was significantly larger in the specimens operated with transphyséal tunnels, suggesting a physéal closure effect. The average reduction of the physéal closure was smaller in the over-the-top specimens as compared with their controls, suggesting an inhibitory effect on physéal closure, probably due to some kind of external effect on the physis. In both the over-the-top and tunnelized tibias we found a larger reduction of the physéal thickness on the outside mark, suggesting a faster closure on the external middle of the plate. This effect may result in angular deformity over time in both techniques. We did not find any bone length discrepancy between o within groups after 12 weeks of surgery, and no correlation with the histologic findings. The significant changes in physéal thickness, cell pattern and physéal closure leads us to conclude that there is a certain effect of both types of ACL reconstructions on the growth plate in the immature skeleton. This behavior is not clinically relevant in our 12 week study, and this histological behavior must be explained in more detailed further studies.*

**Key words:** Anterior cruciate ligament, growth plate, dogs.

**Bibliografía**

1. **Andrews M., Noyes F.R., Barber-Westin S.D.** Anterior Cruciate Ligament Allograft Reconstruction in the Skeletally Immature Athlete. *Am J Sports Med* 22: 48-54, 1994.
2. **Angel K.R., Hall D.J.** Anterior cruciate ligament injury in children and adolescents. *Arthroscopy*, 5: 197-200, 1989.
3. **Arnoczky, S.P.** Disease Mechanisms in Small Animal Surgery, edited by Bojrab HJ, Lea and Febiger. Philadelphia, p. 764. 1993.
4. **Arnold J.A., Coker T.P., Heaton L.M., y cols.** Natural history of the anterior cruciate tears. *Am J Sports Med*, 7: 305-313, 1979.
5. **Baxter M.P., Wiley J.J.** Fractures of the tibial spine in children: An evaluation of knee stability. *J Bone Joint Surg*, 70B: 228-230, 1988.
6. **Bergstrom R., Gillquist J.** Arthroscopy of the knee in children. *J Ped Orthop*, 4: 542-545. 1984.
7. **Bradley G.W., Shives T.C., Samuelson K.M.** Ligament injuries in the knee of children. *J Bone Joint Surg*, 61: 588-591, 1979.
8. **Brief, L.P.** Anterior cruciate ligament reconstruction without drill holes. *Arthroscopy*, 7: 350-357, 1991.
9. **Butler J.C., Andrews JR.** The role of arthroscopic surgery in the evaluation of acute traumatic hemarthrosis of the knee. *Clin Orthop Rel Res*, 228: 150-153, 1988.
10. **Campbell C., Grisolia A., Zanconato G.** The effects produced in the cartilginous epiphyseal plate of immature dogs by experimental surgical traumata. *J Bone Joint Surg* 41A: 1221-1242. Ver
11. **Casteleyn P.P., Handelberg F., Opdecam P.** Traumatic hemarthrosis of the knee. *J Bone Joint Surg*, 70B: 404-406, 1988.
12. **Clancy W.G., Nelson D.A., Reider B. y cols.** Anterior cruciate ligament reconstruction using, one third of the patellar ligament, augmented by extra-articular tendon transfers. *J Bone Joint Surg*, 64A: 352, 1982.
13. **Clanton T.O., DeLee J.C., Sanders B., Neldre A.** Knee ligament injuries in children. *J Bone Joint Surg*, 61A: 1195-1200, 1979.
14. **Chik R.R., Jackson D.W.** Tears of the anterior cruciate ligament in young athletes. *J Bone and Joint Surg*, 60: 973-980, 1978.
15. **Cho K.O.** Reconstruction of the anterior cruciate ligament by semitendinosus tenodesis. *J Bone Joint Surg*, 57A: 608, 1975.

16. **De Angelis, M. Law R.E.** A lateral Retinacular Imbrication Technique for the Surgical Correction of Anterior Cruciate Ligament Rupture in the Dog. *JAVMA* 157: 79-84, 1970.
17. **DeHaven K.E.** Diagnosis of acute knee injuries with hemarthrosis. *Am J Sports Med.* 8: 9, 1980.
18. **DeLee J.C., Curtis R.** Anterior cruciate ligament insufficiency in children. *Clin Orthop.* 172: 112-118, 1983.
19. **Engebretsen L., Svenningsen S., Benum P.** Poor results of anterior cruciate repair in adolescence. *Acta Orthop Scand.* 59: 684-686, 1988.
20. **Feagin J.A., ed.** The crucial ligaments. New York: Churchill Livingstone, 1988.
21. **Fetto J.F., Marshall J.L.** The natural history and diagnosis of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop.* 147: 29, 1980.
22. **Gerardo L., Mugica-Garay I., Nieves G.** Growth-Plate Modifications After Drilling. *J Pediatr Orthop* 14: 225-228, 1994.
23. **Goble E.M., Downey D.J., Walton C.N.** Freeze-Dried Nonirradiated Experience: Fascia Lata Allograft ACL Reconstruction. *Am J Sports Med* 1: 71-76, 1993.
24. **Graf B.K., Lange R.H., Fujisaki C.K., Landry G.L., Saluka R.K.** Anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients: meniscal pathology at presentation and after attempted conservative treatment. *Arthroscopy.* 8: 229-233, 1992.
25. **Guzzanti V., Falciglia F., Gigante A., Fabbriani C.** The effect of intraarticular ACL reconstruction on the growth plates of rabbits. *J Bone Joint Surg.* 76B:960-963, 1994.
26. **Harilainen A., Myllinen P., Antila H.** The significance of arthroscopy and examination under anesthesia in the diagnosis of fresh injury hemarthrosis of the knee joint. *Injury.* 19: 21-24, 1988.
27. **Harvell J.C., Jr., Stanitski C.L., Fu F.** Diagnostic arthroscopy of the knee in children and adolescents. *Orthopaedics.* 12: 1555-1560, 1989.
28. **Hawkins R.J., Misamore G.W., Merritt T.R.** Follow-up of the acute, non-operated isolated anterior cruciate ligament tear. *Am J Sports Med.* 14: 205, 1986.
29. **Hooper G.J., Walton D.I.** Reconstruction of the anterior cruciate ligament using the bone block iliotibial-tract transfer. *J Bone Joint Surg.* 69A: 1150, 1987.
30. **Hulpe P.A., Shires P.K.** *Textbook of Small Animal Surgery*, edited by Slatter DM Saunders, Philadelphia. p.2193, 1985.
31. **Insall J., Joseph D.H., Aglietti P. y cols.** Bone-block iliotibial-band transfer for anterior cruciate insufficiency. *J Bone Joint Surg.* 63A: 560, 1981.
32. **Janary P.M., Westblad P., Johansson C., Hirsch G.** Long-Term Follow-up of Anterior Tibial Spine Fractures in Children. *J Pediatr Orthop* 15: 63-68, 1995.
33. **Janary P.M., Nystrom A., Werner S., Hirsch G.** Anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients. *J Pediatr Orthop.* 16: 673-677, 1996.
34. **Jhonson J.M., Jhonson A.L.** Ligament Injuries in the Canine Stifle Joint. *Vet Clin North Am.* 23: 717, 1993.
35. **Jhonson R.J., Beynon B.D., Nichols C.E., y cols.** Current Concepts Review: The treatment of injuries of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg.* 74A: 140, 1992.
36. **Jhonson S.G. et al.** System Behavior of Commonly Used Cranial Ligament Reconstruction Autografts. *Vet Surg* 18(6): 459-465, 1989.
37. **Johansson E., Aparisi T.** Missing Cruciate ligament in Congenital Short Femur. *J Bone Joint Surg* 65B: 1109-1115, 1983.
38. **Jones K.G.** Reconstruction of the anterior cruciate ligament using one-third of the patellar ligament. A follow up report. *J Bone Joint Surg.* 52A: 1302, 1970.
39. **Kaelin A., Hulin P.H., Carlouz H.** Congenital Aplasia of the Cruciate Ligaments. A Report of Six Cases. *J Bone Joint Surg* 68B: 827-828, 1986.
40. **Kannus P., Jarvinen M.** Conservatively treated tears of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg.* 69A: 1007, 1987.
41. **Kannus P., Jarvinen M.** Knee ligament injuries in adolescents. *J Bone Joint Surg* 70B: 772-776, 1988.
42. **Lipscomb A., Anderson A.** Tears of the anterior cruciate ligament in adolescents. *J Bone Joint Surg J.* 68A: 19-28, 1986.
43. **Lynch M.A., Henning C.E., Glick K.R. Jr.** Knee joint surface changes. Long-term follow-up meniscus ter treatment in stable anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop.* 172: 148-153, 1983.
44. **McCarroll J.R., Retting A.C., Shelbourne K.D.** Anterior cruciate ligament injuries in the young athlete with open physes. *Am J Sports Med.* 16: 44-47, 1988.
45. **McCarroll K., Shelbourne D., Porter D. y cols.** Patellar tandon graft reconstruction for midsubstance anterior cruciate ligament rupture in junior high school athletes: An algorithm for management. *Adv Orthop Surg* 19: 99-102, 1995.
46. **McDaniel W.J. Jr., Dameron T.B. Jr.** Untreated ruptures of the anterior cruciate ligament: A follow-up study. *J Bone Joint Surg.* 62A: 696, 1980.
47. **Meyers M.H., McKeever F.M.** Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg.* 41: 209-222, 1959.
48. **Mitton G.R., Ireland W.P., Runyon C.L.** Evaluation of the instantaneous center of Rotation of the stifle before and after repair torn cruciate ligament by use of the over the top technique in dogs. *Am J Vet Res.* Vol. 12 N 10 October 1991.
49. **Mizuta H., Kubota K., Shiraishi M., et al.** The conservative treatment of complete tears of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. *J Bone Joint Surg* 77B: 890-894, 1995.
50. **Moore K.W., Read R.A.** Cranial Cruciate Ligament Rupture in the Dog. A Retrospective Study Comparing Surgical Techniques. *Australian Veterinary Journal.* Vol. 72, N° 8 August 1995.
51. **Morrisey R.T., Eubanks R.G., Park J.P., Thompson S.B.** Arthroscopy of the knee in children. *CORR.* 162: 103-107, 1982.
52. **Nakhostine M., Bollen S., Cross J.** Reconstruction of mid-substance anterior cruciate rupture in adolescents with open physes. *J Pediatr Orthop* 15: 286-287, 1995.
53. **Nettelblad H., Randolph M.A., Weiland A.J.** Free Microvascular Epiphyseal-Plate Transplantation. An Experimental Study In Dogs. *J Bone Joint Surg* 66A: 1421-1430, 1984.
54. **Noyes F.R., Bassett R.W., Grood E.S.** Arthroscopy in acute traumatic hemarthrosis of the knee: incidence of anterior cruciate tears and other injuries. *J Bone Joint Surg.* 62A: 687-695, 1980.
55. **Noyes F.R., Grood E.S.** The strenght of the anterior cruciate ligament in humans and rhesus monkeys. Age related and species-related changes. *J Bone Joint Surg.* 58: 1074-1082, 1976.
56. **Noyes F.R., Matthews D.S., Mooar P.A. y cols.** The symptomatic anterior cruciate deficient knee. Part II: The results of rehabilitation, activity modification, and

- counseling on functional disability. *J Bone Joint Surg*, 65: 163-174, 1983.
57. **Noyes F.R., Mooar L.A., Moorman C.T. III, McGinniss G.H.** Partial tears of the anterior cruciate ligament. Progression to complete ligament deficiency. *J Bone Joint Surg*, 71A: 825-833, 1989.
  58. **Noyes F.R., Mooar P.A., Matthews D.S.** The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: the long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg*, 65A: 154-162, 1983.
  59. **Ogden J.A.** Current Concepts Review: The evaluation and treatment of partial physeal arrest. *J Bone Joint Surg*, 69A: 1297-1302, 1987.
  60. **Parker A.W., Drez D., Cooper J.L.** Anterior Cruciate Ligament Injuries in Patients with Open Physes. *Am J Sports Med* 22: 44-47, 1994.
  61. **Rodeo S.A., Arnoczky S.P., Torzilli P.A.** Tendon - Healing in a Bone Tunnel. A Biomechanical and Histological Study in the Dog. *J Bone Joint Surg* 75A:1795-1803, 1993.
  62. **Salter R.B., Harris W.R.** Injuries involving the epiphyseal plate. *J Bone Joint Surg*, 45: 587-622, 1963.
  63. **Sandberg R., Balkforst B.** Reconstruction of the anterior cruciate ligament: A five year follow up of eighty-nine patients. *Acta Orthop Scand*, 59: 288, 1988.
  64. **Shires P.S. et al.** The Under and Over Fascia Replacement Technique for Anterior Cruciate Ligament Rupture in Dogs. A Retrospective Study. *JAAHA* 20: 69-77, 1984.
  65. **Smith G.K., Torg J.E.** Fibular Head Transposition for Repair of Cruciate Deficient Ligament Rupture in the Dog. *JAVMA* 187 (4): 375-383, 1985.
  66. **Stanitski C.L., Harvell J.C., Fu F.** Observations On Acute Knee Hemarthrosis In Children and Adolescents. *J Pediatr Orthop* 13: 506-510, 1993.
  67. **Stanitski C.L.** Anterior Cruciate Ligament Injury in the Skeletally Immature Patient: Diagnosis and Treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 3: 146-158, 1995.
  68. **Strum G.M., Fos J.M., Ferkel R.D., y cols.** Intraarticular versus intrarticular and extrarticular reconstruction for chronic anterior cruciate ligament instability. *Clin Orthop*. 245: 188, 1989.
  69. **Thomas N.P., Jackson A.M., Aichroth P.M.** Congenital Absence of the Anterior Cruciate Ligament. A Common Component of the Knee Dysplasia. *J Bone Joint Surg* 67B: 572-575, 1985.
  70. **Tomlinson J., Constantinescu G.M.** Two methods for repairing ruptures of the cranial cruciate ligament in dogs. *Vet Surg*. Jan 1994 32-41.
  71. **Waldrop J.L., Broussard T.S.** Disruption of the Anterior Cruciate Ligament in a Three-Year-Old Child. A Case Report. *J Bone Joint Surg* 66A: 1113-1114, 1984.
  72. **Wester W., Canale T., Dutkowsky J., et al.** Prediction of angular deformity and leg-length discrepancy after anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. *J Pediatr Orthop* 14: 516-521, 1994.
  73. **Zarins B., Rowe C.R.** Combined anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus tendon and iliotibial tract. *J Bone Joint Surg*, 68A: 160, 1986.
  74. **Zobel M.S., Borrello J.A., Siegel M.J., Stewart N.R.** Pediatric Knee MR Imaging: Pattern of Injuries in the Immature Skeleton. *Adv Orthop Surg* 19: 77-79, 1995.