



ORIGINAL

Una escotadura intercondílea estrecha favorece la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) en pacientes con esqueleto inmaduro

L. Silva*, N. Bernal, M. Tuca, M. Espinosa y G. de la Fuente

Clínica Alemana Santiago, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

Recibido el 13 de julio de 2020; aceptado el 18 de agosto de 2020

Disponible en Internet el 15 de enero de 2021

PALABRAS CLAVE

Pediátrico;
Ligamento cruzado anterior;
Fractura de espinas tibiales;
Esqueléticamente inmaduro

Resumen

Objetivo: Se han reportado factores de riesgo anatómicos que predisponen a rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) y/o fracturas avulsivas de espinas tibiales (FAET) en pacientes pediátricos con resultados controversiales. Nuestro objetivo es comparar parámetros morfométricos en resonancia magnética (RM) de pacientes con esqueleto inmaduro que presenten FAET o rotura del LCA versus controles sanos.

Métodos: Estudio observacional de una cohorte transversal donde se recolectaron de forma consecutiva todos los pacientes con esqueleto inmaduro que presentaron una rotura del LCA o una FAET. Se agregó un grupo control de pacientes con fisis abierta y RM sin evidencia de lesión. Un observador entrenado midió en cada una de las RM con técnica previamente estandarizada: a) el ancho de la escotadura intercondílea femoral, y b) el ángulo de apertura de la escotadura intercondílea femoral.

Resultados: La muestra se compuso de 11 pacientes con rotura del LCA, 11 pacientes con FAET y 11 controles normales. El ángulo de apertura de la escotadura intercondílea femoral, medido en cortes axiales y coronales, fue significativamente menor en los pacientes con rotura del LCA versus controles sanos ($p=0,0256$ y $p=0,0097$). El resto de las variables estudiadas no presentaron diferencias significativas entre grupos.

Conclusión: En pacientes con esqueleto inmaduro una escotadura intercondílea femoral más estrecha se asocia a rotura del LCA, mientras que aquellos con una FAET no presentan una anatomía ósea distintiva versus los controles sanos. Estos hallazgos sugieren que parámetros morfométricos óseos se asocian a un patrón lesional u otro en rodillas con fisis abierta.

© 2020 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: lorettosilva@gmail.com (L. Silva).

KEYWORDS

Paediatric;
Anterior cruciate
ligament;
Tibial spine fracture;
Skeletally immature

A narrow intercondylar gap favours anterior cruciate ligament (ACL) rupture in patients with an immature skeleton

Abstract

Objective: Anatomical risk factors predisposing to anterior cruciate ligament (ACL) and/or avulsion fractures of tibial spines (AFET) have been reported in paediatric patients with controversial results. Our aim is to compare morphometric parameters in magnetic resonance imaging (MRI) of patients with immature skeleton presenting AFET or ACL rupture versus healthy controls.

Methods: Observational study of a transverse cohort where all those patients with immature skeleton presenting ACL rupture or AFET were collected consecutively. A control group of patients with open physis and MRI reported without lesions was added. A trained observer measured in each MRI with previously standardized technique: a) the width of the intercondylar femoral notch, and b) the opening angle of the intercondylar femoral notch.

Results: The sample was composed of 11 patients with ACL rupture, 11 patients with TEA and 11 normal controls. The opening angle of the intercondylar femoral notch, measured in axial and coronal sections, was significantly lower in those patients with ACL rupture versus healthy controls ($P = .0256$ and $P = .0097$). The rest of the variables studied did not present significant differences between groups.

Conclusion: In patients with an immature skeleton, a narrower femoral intercondylar notch is associated with ACL rupture, while those with an ETF do not present a distinctive bone anatomy versus healthy controls. These findings suggest that bone morphometric parameters are associated with a lesional or other pattern in open-knee.

© 2020 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) en pacientes con esqueleto inmaduro pueden ocurrir como roturas ligamentarias intrasustancia o como fracturas avulsivas de la espina tibial (FAET)¹⁻⁴. En los últimos 20 años se ha reportado una incidencia creciente de estas lesiones en población pediátrica, lo que se atribuye al aumento de la participación deportiva y a un mayor nivel de competencia entre los niños^{5,6}.

Se estima que al menos el 60% de las lesiones del LCA en pacientes con esqueleto inmaduro ocurren tras un mecanismo indirecto (sin contacto), subrayando la importancia de identificar factores de riesgo que nos permitan dirigir estrategias de prevención⁷. Esto es particularmente relevante en la población pediátrica, donde una lesión del LCA resulta devastadora, exponiendo a los pacientes a cirugías, a rehabilitaciones prolongadas y a un mayor riesgo de discapacidad con una eventual lesión contralateral⁴. Los programas de prevención de rotura del LCA han demostrado reducir la tasa de lesiones, siendo costo-efectivos en poblaciones de riesgo⁸. La morfología ósea de la rodilla ha sido ampliamente estudiada en población adulta, identificando factores predisponentes para rotura del LCA⁹. Sin embargo, escasos estudios han reportado la correlación entre variables anatómicas y los distintos patrones de lesión del LCA en niños¹⁰. Especial interés ha suscitado la forma de la escotadura intercondílea, con resultados controversiales en población pediátrica^{11,12}. El objetivo de nuestro estudio es determinar si en cohortes pediátricas de rodillas con rotura del LCA, versus FAET, versus controles sanos pareados por sexo y edad, existen parámetros morfológicos distintivos de

la escotadura intercondílea femoral que predisponen a un determinado patrón lesional. La hipótesis del presente estudio fue que existen diferencias en la forma de la escotadura intercondílea femoral en pacientes con esqueleto inmaduro que presentan una FAET versus los que sufren una rotura intrasustancia del LCA.

Materiales y método

Realizamos un estudio observacional de una cohorte transversal, que fue aprobado por el comité ético científico de nuestra institución.

Para identificar el grupo Estudio se revisaron imágenes radiológicas después de imágenes en línea y resonancias magnéticas (RM) de los últimos 11 pacientes con diagnóstico de fractura de espina tibial (grupo FAET) operados por el Equipo de Cirugía de Rodilla Infantil de nuestra institución entre 2017 y 2019. Los criterios de inclusión fueron pacientes con fisis abierta y una FAET aguda de indicación quirúrgica. Se excluyeron los pacientes mayores de 18 años, con cirugías o lesiones previas en la rodilla, o que no contaran con estudio por RM.

Se realizaron mediciones de parámetros morfométricos en RM de rodillas con fisis abierta, según técnicas previamente reportadas¹³. Se incluyeron el ángulo de escotadura intercondílea coronal, el ángulo de escotadura intercondílea axial (fig. 1), el índice de ancho de la escotadura intercondílea coronal (IANC) y el índice de la escotadura intercondílea axial (IANA) (fig. 2) utilizando el método descrito por Stein et al.¹⁴. Para las mediciones en cortes axiales se utilizó la secuencia PD Fat-Sat y para los cortes coronales, las secuencias T2. Para la medición de ángulos de la escota-

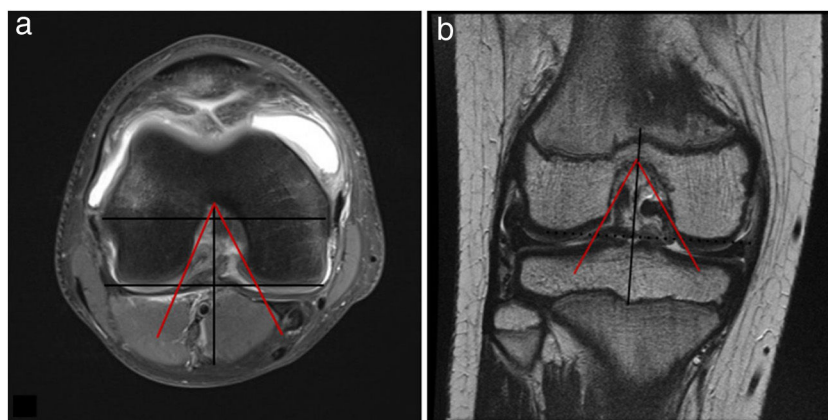


Figura 1 a) Medición de la escotadura intercondílea axial. En secuencia de saturación grasa en corte axial, que marque el receso poplíteo en su zona más profunda (línea negra superior), se traza una línea perpendicular al borde transcondíleo posterior (línea negra inferior) que será el vértice del ángulo de la escotadura intercondílea (líneas rojas). b) En corte coronal, que marca el receso poplíteo más profundo en secuencia T2, se traza una línea perpendicular a los bordes inferiores del cóndilo lateral y medial (línea negra) que marca el punto más profundo de la escotadura intercondílea desde donde se inicia el vértice del ángulo de la escotadura intercondílea (líneas rojas).

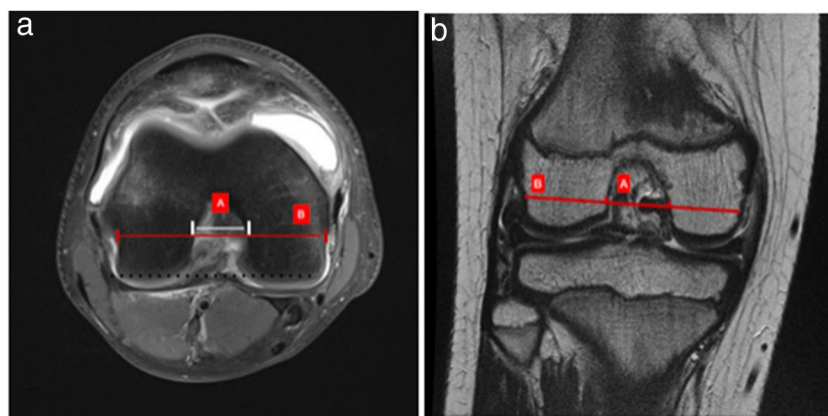


Figura 2 a) Índice de ancho escotadura intercondílea axial. En corte axial donde se observa más profundo el receso poplíteo, en secuencia de saturación grasa, se traza una línea que marca el borde de cóndilos femorales medial y lateral (línea negra punteada) y una línea paralela a esta línea que va desde el borde del receso poplíteo hasta el borde femoral contrario (B), y a esta altura se mide el ancho de la escotadura intercondílea (línea blanca), obteniendo valores para cálculo de índice B/A. b) Índice de ancho de la escotadura intercondílea coronal. En corte coronal, donde se observa en mayor profundidad receso poplíteo en secuencia T2, se traza línea roja de diámetro femoral (B) que es paralela a bordes de cóndilos femorales, y a ese nivel se mide el ancho de la escotadura intercondílea (puntos rojos A).

dura intercondílea y del índice de escotadura intercondílea se eligió el corte donde se evidenciara el surco del poplíteo en su mayor profundidad. Todas las mediciones fueron realizadas por el mismo traumatólogo en tres oportunidades diferentes, obteniendo el promedio y la desviación estándar de cada medición.

Para los grupos control se identificaron 2 cohortes de pacientes consecutivos evaluados por el equipo de rodilla infantil en nuestra institución entre 2017 y 2019, en los cuales se les había solicitado una RM como parte de su estudio. El primer grupo control se compuso de aquellos pacientes con una lesión completa del ligamento cruzado anterior (control LCA) y otro grupo de pacientes cuya RM se

informaba sin hallazgos patológicos (control Sano). En ambos grupos control se realizaron las mismas mediciones descritas previamente para el grupo FAET.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa STATA versión 15 (Texas, EE.UU.). Se utilizó un test exacto de Fisher y chi-cuadrado para comparar los grupos en cuanto a edad y género. Para comparar los resultados de los parámetros morfométricos de la RM se utilizó una prueba de análisis de varianza (ANOVA) con test de corrección de Bonferroni. Se consideró $p < 0,005$ como estadísticamente significativo.

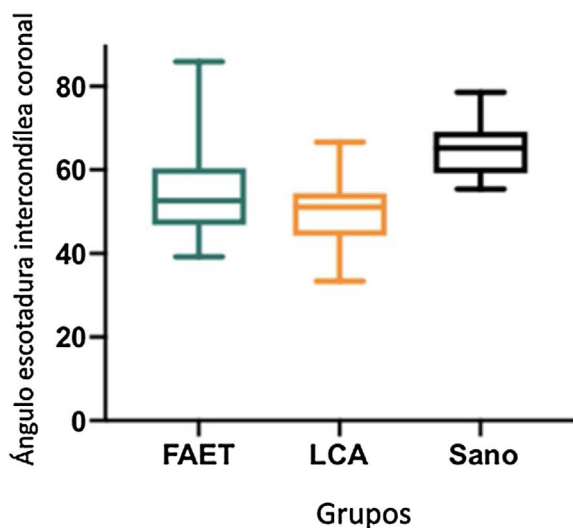


Figura 3 Gráfico que muestra la relación entre el ángulo de la escotadura intercondílea coronal respecto al grupo FAET, al grupo LCA y al grupo Sano. Se observa la distribución los datos obtenidos para ese parámetro.

Resultados

La muestra se compuso de 11 pacientes en el grupo FAET (6 hombres, 5 mujeres) con una edad promedio 12 años (rango 7-16 años). El grupo LCA se compuso de 11 pacientes (10 hombres, 1 mujer) con una edad promedio 12,8 años (rango 11-15). El grupo control Sano se compuso de 11 pacientes (8 hombres, 3 mujeres) con una edad promedio 11,4 años (rango 9-14 años). Los grupos fueron comparables en edad y género según análisis estadístico mediante test chi-cuadrado y test de Fisher, respectivamente. En la [tabla 1](#) se muestran datos demográficos para los grupos.

Los resultados obtenidos de la medición y comparación de los parámetros morfométricos de la RM se muestran en la [tabla 2](#).

Al analizar el ángulo de escotadura intercondílea coronal observamos que el grupo control LCA tiene un promedio de ángulo menor ($49,9 \pm 10,1$) que el grupo control Sano ($65,3 \pm 7,3$), con una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($p = 0,0097$) ([fig. 3](#)). Respecto al ángulo de escotadura intercondílea axial, el grupo LCA fue menor que el de grupo control Sano, con un promedio de $49,3 \pm 5,1$ versus $51,2 \pm 7,3$, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,0256$) ([fig. 4](#)).

No se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos en relación con el índice ancho escotadura intercondílea coronal ni con el índice de ancho de escotadura intercondílea axial.

Discusión

El principal hallazgo de nuestro estudio fue identificar que los pacientes con esqueleto inmaduro que sufren una rotura intrasustancia del LCA tienen una morfología ósea distintiva en su rodilla al compararlos con los que sufren una FAET o controles sanos. Los pacientes con rotura del LCA tenían un surco intercondíleo significativamente más estrecho ver-

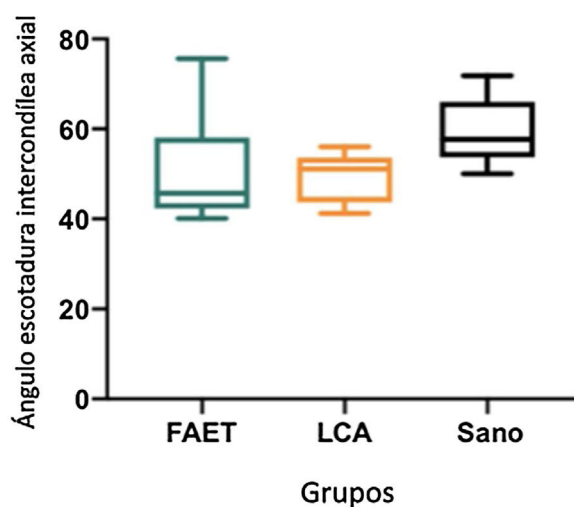


Figura 4 Gráfico que muestra la relación de ángulo de la escotadura intercondílea axial entre el grupo FAET, el grupo LCA y el grupo Sano. Se observa la distribución de los datos obtenidos para ese parámetro.

sus los controles sanos pareados por sexo y edad. Por otra parte, los pacientes con fisura abierta que sufrieron una FAET no presentaron diferencias morfológicas versus los controles sanos.

En la población adulta se han descrito diversos factores anatómicos que estarían asociados a un mayor riesgo de lesión del LCA. Palmer et al. fueron los primeros reportes en describir la asociación entre una estenosis de la escotadura intercondílea y la lesión del LCA¹⁵⁻¹⁹. Múltiples factores anatómicos, como el aumento del slope tibial posterior de la meseta tibial, un platillo tibial más plano²⁰⁻²², la disminución del ancho del cóndilo femoral²³, el aumento del volumen de la escotadura intercondílea²⁴ y una disminución de la altura y del volumen de la espina tibial se han asociado a la lesión del LCA en población adulta^{25,26}. En pacientes con esqueleto inmaduro existe menos literatura sobre qué factores aumentan el riesgo de lesión del LCA. Domzalski et al.⁵ establecieron una correlación con un índice de ancho escotadura intercondílea más estrecho en pacientes pediátricos, y Souryal et al. también evaluaron 2.500 radiografías, mostrando una correlación entre un índice de ancho de escotadura intercondílea más estrecha y roturas del LCA en niños¹⁶. En línea con los hallazgos de nuestro estudio, Kocher et al.¹² reportaron que un índice de ancho notch más estrecho se asociaba a mayor riesgo de lesión del LCA intrasustancia que de FAET. Sin embargo, la mayoría de estos estudios midieron estos parámetros en radiografías, lo que traduce una alta variabilidad en la técnica y resultados según lo descrito por Herzog et al.²⁷. Estudios más recientes han utilizado mediciones en RM, mostrando un mayor riesgo de lesión del LCA en asociación con factores anatómicos como el aumento del slope tibial lateral¹³ y un índice de ancho notch más estrecho⁹. Shaw et al.⁹ demostraron que pacientes con una eminencia tibial más ancha tenían un mayor riesgo de FAET que de lesión intrasustancia del LCA.

Acorde a lo reportado en la literatura y los hallazgos de nuestro estudio, podemos inferir que ante un mismo mecanismo lesional, los pacientes con factores de riesgo

Tabla 1 Demografía de los grupos

	Grupo FAET (n = 11)	Grupo control (n = 11)	Grupo LCA (n = 11)
Edad (años)	12 ± 2,4	11,36 ± 1,9	12,8 ± 1,2
Sexo femenino (%)	45,5 (n = 5)	27,3 (n = 3)	9,1 (n = 1)
Lateralidad derecha (%)	27,2 (n = 3)	63,6 (n = 7)	72,7 (n = 8)

FAET: fractura de espinas tibiales; LCA: ligamento cruzado anterior.
La edad corresponde a promedio ± DE.

Tabla 2 Parámetros morfométricos

Parámetro	Grupo FAET (promedio ± ds)	Grupo LCA (promedio ± ds)	Grupo Sano (promedio ± ds)
Angulo escotadura intercondílea coronal	55,7 ± 14,4	49,9 ± 10,1*	65,3 ± 7,3*
Angulo escotadura intercondílea axial	51,4 ± 11,7	49,3 ± 5,1**	59,2 ± 7,3**
IAEIC	0,3 ± 0,02	0,29 ± 0,02	0,31 ± 0,02
IAEIA	0,29 ± 0,04	0,31 ± 0,01	0,32 ± 0,03

IAEIA: índice de ancho escotadura intercondílea axial; IAEIC: índice de ancho escotadura intercondílea coronal;

* p = 0,0097.

** p = 0,0256.

anatómicos (ángulo de notch más estrecho) estarían más predisuestos a una rotura intrasustancia del LCA, mientras que aquellos con anatomía más «normal» lo estarían a una FAET, independientemente de su edad y género. Esto pudiera explicarse por las teorías biomecánicas descritas por Alentorn-Geli et al., donde sugieren que la forma de la escotadura intercondílea sería más relevante que su volumen como factor de riesgo para rotura de LCA²⁸. En coincidencia con nuestros hallazgos, proponen que una escotadura intercondílea estrecha, que no necesariamente se correlaciona con una escotadura de índice más estrecho o de menor volumen, predispondría a la rotura de LCA por un pinzamiento del ligamento contra el cóndilo femoral medial ante fuerzas de traslación anterior y valgo forzado. La principal relevancia clínica de este estudio es avanzar hacia la identificación de factores de riesgo anatómicos que nos permitan dirigir estrategias de prevención. Particularmente en población pediátrica, optimizar la prevención de estas lesiones es de suma relevancia. Programas de prevención de rotura del LCA, diseñados como secuencias de ejercicios, han demostrado reducir significativamente la tasa de roturas, más aun si se aplican en poblaciones de riesgo⁸. Comparado con una FAET, la rotura temprana del LCA conlleva un peor pronóstico, y por tanto resulta crucial apuntar a reducir la incidencia de estas lesiones.

En cuanto a la utilidad clínica de estos hallazgos, las mediciones del notch se pueden realizar de forma simple y accesible en una radiografía simple de rodilla, pero depende del correcto posicionamiento del paciente y presenta variabilidad en la técnica, magnificación y proyección²⁹. Se ha demostrado que esta variabilidad disminuye al realizar las mediciones en RM³⁰. Así mismo, Herzog et al. demostraron que la medición del índice de ancho de notch en RM era más certera que en la radiografía²⁷, dada la osificación tardía de la epífisis tibial proximal en los niños, las mediciones en

RM representan de manera más certera la superficie articular. Tomando esto en consideración, la radiografía puede ser una herramienta útil de cribado de factores de riesgo anatómicos, de más fácil acceso y menores costos. Sin embargo, la RM que ha masificado su uso en niños deportistas en el último tiempo va a ser más precisa en identificar estos parámetros antropométricos. De forma similar a lo que se ha descrito para la inestabilidad patelofemoral, debemos avanzar en la identificación de factores de riesgo que nos ayuden reconocer los subgrupos vulnerables.

Dentro de las limitaciones de nuestro estudio se encuentra la naturaleza retrospectiva de nuestra investigación, que conlleva los sesgos inherentes de un estudio de este tipo. Un mayor tamaño muestral aumentaría el poder estadístico de nuestro estudio; sin embargo, las FAET son lesiones infrecuentes, y esta serie alcanza un número comparable a los estudios previamente publicados. Así mismo, a pesar del limitado tamaño muestral, nuestros resultados fueron significativos. Las mediciones morfométricas fueron realizadas por un solo observador, no ciego. Sin embargo, estas herramientas de medición han sido previamente válidas, con una concordancia interobservador reportada como casi perfecta (kappa 0,84)¹².

Conclusión

En pacientes con esqueleto inmaduro una escotadura intercondílea más estrecha se asocia a un mayor riesgo de rotura del LCA intrasustancia versus controles sanos en la población pediátrica de nuestro estudio. En cambio, los pacientes que sufren una fractura avulsiva de espinas tibiales no presentan una anatomía ósea de escotadura intercondílea femoral distintiva versus controles sanos. Los hallazgos de nuestro estudio sugieren que parámetros morfométricos óseos femorales en las rodillas con fisis abierta determinan la ocurrencia de un patrón lesional u otro.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia IV.

Bibliografía

- Angel KR, Hall DJ. Anterior cruciate ligament injury in children and adolescents. *Arthroscopy*. 1989;5:197-200.
- Aronowitz ER, Ganley TJ, Goode JR, Gregg JR, Meyer JS. Anterior cruciate ligament reconstruction in adolescents with open physes. *Am J Sports Med*. 2000;28:168-75.
- DeLee JC, Curtis R. Anterior cruciate ligament insufficiency in children. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;172:112-8.
- Ardern CL, Ekås GR, Grindem H, Moksnes H, Anderson A, Chotel F, et al. International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries. *British Journal of Sports Medicine*. 2018;52:422-38.
- Domzalski M, Grzelak P, Gabos P. Risk factors for Anterior Cruciate Ligament injury in skeletally immature patients: Analysis of intercondylar notch width using Magnetic Resonance Imaging. *International orthopaedics*. 2010;34:703-7.
- Beck N, Laurence T, Nordin J, Defor T, Tompkins M. ACL Tears in School-Aged Children and Adolescence Over 20 years. *Pediatrics*. 2017;139:e20161877.
- Stanitski CL. Anterior cruciate ligament injury in the skeletally immature patient: diagnosis and treatment. *J Am Acad Orthop Surg*. 1995;3:146-58.
- Gilchrist J, Mandelbaum B, Melancon H, Ryan G, Silvers H, Griffin L, et al. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *AJSM*. 2008;36:1476-83.
- Shaw KA, Dunoski BS, Mardis N, Pacicca D. The Effect of Bony Parameters on the Pediatric Knee: Normal versus Anterior Cruciate Ligament Injury versus Tibial Spine Avulsion Fracture. *Surg J (N Y)*. 2016;2:e151-5.
- Noyes FR, DeLucas JL, Torvik PJ. Biomechanics of anterior cruciate ligament failure: an analysis of strain-rate sensitivity and mechanisms of failure in primates. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56:236-53.
- Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med*. 1991;19:217-25.
- Kocher MS, Mandiga R, Klingele K, Bley L, Micheli LJ. Anterior cruciate ligament injury versus tibial spine fracture in the skeletally immature knee: a comparison of skeletal maturation and notch width index. *J Pediatr Orthop*. 2004;24:185-8.
- Dare D, Fabricant P, McCarthy M, Rebollo B, Green D, Cordasco F, et al. Increased Lateral Tibial Slope Is a Risk Factor for Pediatric Anterior Cruciate Ligament Injury: An MRI-Based Case-Control Study of 152 Patients. *The American Journal of Sports Medicine*. 2015;43:1632-9.
- Stein V, Guermazi A, Zhang Y, Kent C, Eaton C, Hunter J. The relation of femoral notch stenosis to ACL tears in persons with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2010;18:192-9.
- Palmer I. On the injuries to the ligaments of the knee joint: a clinical study. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;454:17-22.
- Souryal TO, Moore HA, Evans JP. Bilaterality in anterior cruciate ligament injuries: associated intercondylar notch stenosis. *Am J Sports Med*. 1988;16:449-54.
- Lund-Hanssen H, Gannon J, Engebretsen L, Holen KJ, Anda S, Vatten L. Intercondylar notch width and the risk for anterior cruciate ligament rupture. A case-control study in 46 female handball players. *Acta Orthop Scand*. 1994;65:529-32.
- Shelbourne KD, Facibene WA, Hunt JJ. Radiographic and intra-operative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1997;5:229-33.
- Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN, Arciero RA, St Pierre P, Taylor DC. Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament: a prospective four-year evaluation of 859 West Point cadets. *Am J Sports Med*. 2003;31:831-42.
- Stijak L, Herzog RF, Schai P. Is there an influence of the tibial slope of the lateral condyle on the ACL lesion? A case-control study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008;16:112-7.
- Hashemi J, Chandrashekar N, Mansouri H, Gill B, Slaughterbeck J, Schutt R, et al. Shallow medial tibial plateau and steep medial and lateral tibial slopes: new risk factors for anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med*. 2010;38, 54-62 17.
- Vyas S, van Eck CF, Vyas N, Fu FH, Otsuka NY. Increased medial tibial slope in teenage pediatric population with open physes and anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19:372-7.
- Park JS, Nam DC, Kim DH, Kim HK, Hwang SC. Measurement of knee morphometrics using MRI: a comparative study between ACLinjured and non-injured knees. *Knee Surg Relat Res*. 2012;24:180-5.
- Vrooijink SHA, Wolters F, Van Eck CF, Fu FH. Measurements of knee morphometrics using MRI and arthroscopy: a comparative study between ACL-injured and non-injured subjects. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19 Suppl 1:S12-6.
- Van Eck CF, Kopf S, van Dijk CN, Fu FH, Tashman S. Comparison of 3-dimensional notch volume between subjects with and subjects without anterior cruciate ligament rupture. *Arthroscopy*. 2011;27:1235-41.
- Sturnick DR, Argentieri EC, Vacek PM, DeSarno M, Gardner-Morse M, Tourville T, et al. A decreased volume of the medial tibial spine is associated with an increased risk of suffering an anterior cruciate ligament injury for males but not females. *J Orthop Res*. 2014;32:1451-7.
- Herzog RJ, Silliman JF, Hutton K, Rodkey W, Steadman J. Measurements of the intercondylar notch by plain film radiography and magnetic resonance imaging. *Am J Sports Med*. 1994;22:204-10.
- Alentorn-Geli E, Pelfort X, Mingo F, Lizano-Díez X, Leal-Blanquet J, Torres-Claramunt R, et al. An Evaluation of the Association Between Radiographic Intercondylar Notch Narrowing and Anterior Cruciate Ligament Injury in Men: The Notch Angle Is a Better Parameter Than Notch Width. *Arthroscopy*. 2015;31:2004-13.
- Anderson AF, Lipscomb AB, Liudahl KJ, Addlestone RB. Analysis of the intercondylar notch by computed tomography. *Am J Sports Med*. 1987;15:547-52.
- Charlton WP, St John TA, Ciccotti MG, Harrison N, Schweitzer M. Differences in femoral ACL Injur Versus Tibial Spine Fracture notch anatomy between men and women: A magnetic resonance imaging study. *Am J Sports Med*. 2002;30:329-33.