

# Los Músculos Isquiosurales y su Capacidad Profiláctica sobre la Translación Tibial Anterior en Lesión de Ligamento Cruzado Anterior: Una Revisión Sistemática

The Hamstrings Muscles and their Prophylactic Capacity on Anterior Tibial Translation in Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review

Alberto Mouriño-Cabaleiro<sup>1,2</sup>; Helena Vila<sup>2,3</sup>; Miguel A. Saavedra-García<sup>2</sup> & Juan J. Fernández-Romero<sup>2</sup>

---

**MOURIÑO-CABALEIRO, A.; VILA, H.; SAAVEDRA-GARCÍA, M. A. & FERNÁNDEZ-ROMERO, J. J.** Los músculos isquiosurales y su capacidad profiláctica sobre la translación tibial anterior en lesión de ligamento cruzado anterior: Una revisión sistemática. *Int. J. Morphol.*, 41(4):1009-1014, 2023.

**RESUMEN:** La ruptura de ligamento cruzado anterior (LCA) es la lesión de rodilla más común que se trata de una reconstrucción quirúrgica. El objetivo principal de esta revisión fue analizar la importancia de la función de los músculos isquiosurales como factor de riesgo de posibles lesiones de LCA. Se llevó a cabo siguiendo las normas Preferred Reported Item for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA). La fuente de la recopilación de datos fue la consulta directa de las bases de datos Pubmed, Sportdiscus, Web of Science y Scopus. Para la recuperación documental, se utilizaron varias palabras clave y se evaluó la calidad de los estudios que fueron seleccionados mediante la escala PEDro. Los déficits de la función muscular en los músculos isquiosurales se han relacionado con una mayor translación tibial anterior y, como consecuencia, un incremento del estrés tensional sobre el LCA entre los 10° y 45° de flexión de rodilla. Una co-activación de los músculos isquiosurales con el músculo cuádriceps femoral puede ser de gran ayuda para reducir los factores de riesgo de la lesión LCA

**PALABRAS CLAVE:** Estrés tensional; Ligamento Cruzado Anterior; Deportes colectivos.

---

## INTRODUCCIÓN

El ligamento cruzado anterior (LCA) es la lesión de rodilla más común en los deportes de cambio de dirección, afectando a deportistas de todas las edades, sexos y niveles (Della Villa *et al.*, 2020). El tratamiento habitual suele ser la cirugía para realizar su reconstrucción (ACLR). A pesar de ser una dolencia habitual dentro del deporte, no hay una evidencia clara sobre que mecanismo lesivo es el causante (Krosshaug *et al.*, 2007; Boden *et al.*, 2010; Della Villa *et al.*, 2020).

Dentro de todos los factores de riesgo que puede haber a la hora de producirse, se encuentran los intrínsecos que pueden afectar a la morfología y laxitud de la rodilla. Con el entrenamiento se puede trabajar directamente sobre los factores de riesgo neuromusculares de los grupos musculares que protegen a la rodilla. Uno de los que mayor im-

portancia tiene para la prevención y recidiva de la lesión de LCA sin contacto previo son los músculos isquiosurales, siendo el déficit en su función es un factor de riesgo importante (Buckthorpe, 2021). Un alto porcentaje de este tipo de lesiones pueden ocurrir cuando los músculos isquiosurales no tienen capacidad de generar una contra torsión para decelerar la cizalla anterior tibial (Jordan *et al.*, 2015), ya que su objetivo es actuar como estabilizadores dinámicos, resistiendo la translación tibial anterior (TTA) y las fuerzas de cizalla anteriores sobre el ligamento (Draganich & Vahey, 1990; More *et al.*, 1993; Li *et al.*, 1999; Kingma *et al.*, 2004; Blackburn *et al.*, 2013; Hannah *et al.*, 2014; Buckthorpe *et al.*, 2020). A pesar de la evidencia que señala la importante función de este grupo muscular, en un reciente estudio con 4000 sujetos con ACLR se ha comprobado que sólo el 47,3 % de los deportistas con ACLR alcanzaban un Limb Symmetry

<sup>1</sup> Centro de Saúde e Movimento (MOVE), Spain.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Ciencias del Deporte (INCIDE), Universidade da Coruña, Spain.

<sup>3</sup> Grupo Healthyfit, Facultad de Educación y Ciencias del Deporte. Universidade de Vigo, Spain.

Index (LSI) superior al 90 % en la fuerza de los flexores de rodilla 6 meses después de la cirugía (Cristiani *et al.*, 2019). Por lo tanto, en situaciones en las que el LCA está dañado o en proceso de cicatrización, los músculos isquiosurales juegan un rol importante para protegerlo.

La relación entre el torque muscular, la carga externa y el estrés tensional que pueden tolerar el LCA, ha sido investigado en multitud de ocasiones (Butler *et al.*, 1980; Draganich & Vahey, 1990; Withrow *et al.*, 2006; Escamilla *et al.*, 2012; Oh *et al.*, 2012; Beaulieu *et al.*, 2014; Huygaerts *et al.*, 2020). El torque producido por la propia contracción muscular puede generar una translación tibial anterior o posterior en la rodilla dependiendo del grado de activación y del lado del eje de la rodilla en el cual esté situada la musculatura activa (Escamilla *et al.*, 2009, 2012; Luque-Seron & Medina-Porqueres, 2016). Por consiguiente, en el caso de que el músculo cuádriceps femoral tenga una mayor capacidad de generar torque que el músculo isquiotibial (Renstrom *et al.*, 1986; Howell, 1990; DeMorat *et al.*, 2004), la propia contracción muscular puede realizar una TTA en la rodilla, produciendo en el ligamento un estrés tensional para resistir a las fuerzas de cizalla (Butler *et al.*, 1980; Renstrom *et al.*, 1986; Draganich & Vahey, 1990; More *et al.*, 1993; DeMorat *et al.*, 2004; Heijne *et al.*, 2004; Withrow *et al.*, 2006, 2008; Escamilla *et al.*, 2012; McPherson *et al.*, 2018). En cambio, el incremento de la tracción posterior tibial motivado por la contracción de los músculos isquiosurales, eleva la rigidez en la articulación y generando un cajón posterior, descargando el LCA de tensión (More *et al.*, 1993; Li *et al.*, 1999; Behrens *et al.*, 2013). Sabiendo que el LCA es el ligamento con mayor capacidad para resistir la translación anterior (Butler *et al.*, 1980), conseguir que el torque muscular sirva para no tensarlo puede servir como elemento profiláctico.

Siguiendo esta línea de trabajo se plantean los siguientes objetivos; 1) analizar la importancia de la función de los músculos isquiosurales como factor de riesgo de posibles lesiones de LCA. 2) Conocer la capacidad profiláctica de los músculos isquiosurales sobre el estrés tensional en la TTA sobre el ligamento.

## MATERIAL Y MÉTODO

La revisión sistemática fue realizada de acorde con las directrices de las guías de “Preferred Reporting Items por Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA)” (Page *et al.*, 2021). Los estudios que cumplieran con los criterios para esta revisión se identificaron mediante una amplia búsqueda de la literatura respondiendo la siguiente pregunta: cuál es el efecto del torque muscular de los músculos isquiosurales sobre la prevención en la translación anterior tibial y por consiguiente sobre el estrés tensional sobre el LCA. La búsqueda se ha realizado en las siguientes bases de datos: Pubmed, Sportdiscus, Web of Science y Scopus. Para ello, se han utilizado los siguientes términos de búsqueda (ACL Strain), (ACL Loading), (translation anterior), (mechanism injury ACL), (hamstrings) utilizando los operadores booleanos "AND" y "OR" para combinar los descriptores. Se siguieron los siguientes criterios de Participantes, Exposición, Comparador, Resultado y Estudio (PECOS). El proceso de búsqueda y selección de los artículos determinó si cumplían los criterios de inclusión y exclusión definidos (Tabla I).

La calidad metodológica de cada estudio en la revisión sistemática se evaluó mediante la escala PEDro (Maher *et al.*, 2003). La información sobre las características del

Tabla I. Análisis Pecos.

Estrategia de búsqueda	Detalles
Palabras clave	(ACL Strain) OR (ACL Loading) OR (translation anterior) AND (mechanism injury ACL) AND (hamstring)
Bases	Pubmed, Sportdiscus, Web of Science, Scopus.
Criterios de inclusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- P (Participantes/población): anatomía cadavérica y muestras vivas en sujetos</li> <li>- E (Exposición): rodillas en las que se comparó la fuerza de los músculos cuádriceps con la de los músculos isquiotibiales y su comportamiento sobre la rodilla.</li> <li>- C (Control): rodilla en la que se evaluó la fuerza de los isquiotibiales.</li> <li>- O (Resultados): el efecto del trabajo de fuerza sobre el tendón de la corva para reducir el TTA y el porcentaje de tensión que el ligamento puede tolerar.</li> <li>- S (Diseño del estudio): estudios descriptivos, estudios experimentales, metaanálisis.</li> </ul>
Criterios de exclusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- P (Participantes/población): modelos matemáticos, ejercicios en los que los músculos implicados no están claros, actividad EMG de los músculos sin conocer la carga que entra en cada grupo muscular.</li> <li>- E (Exposición): se incorporó una fuerza en otros músculos que tenían una mecánica en la rodilla distinta de los isquiotibiales como los músculos gastrocnemio o sartorio.</li> <li>- C (Control): la fuerza isquiotibial aislada.</li> <li>- O (Resultados): el efecto del tendón de la corva sobre otras articulaciones como la coxal o la talocrural.</li> <li>- S (Diseño del estudio): opiniones de expertos, comentarios, editoriales, cartas a los editores.</li> </ul>

comportamiento del ligamento y los resultados fueron extraídos, realizando la lectura de los estudios originales de este trabajo valorando el tipo de diseño, la muestra, el objetivo y los protocolos realizados. En los documentos donde se planteó controversia se resolvió mediante una valoración individual realizada por los autores y posteriormente se tomó una decisión consensuada. (Fig. 1).

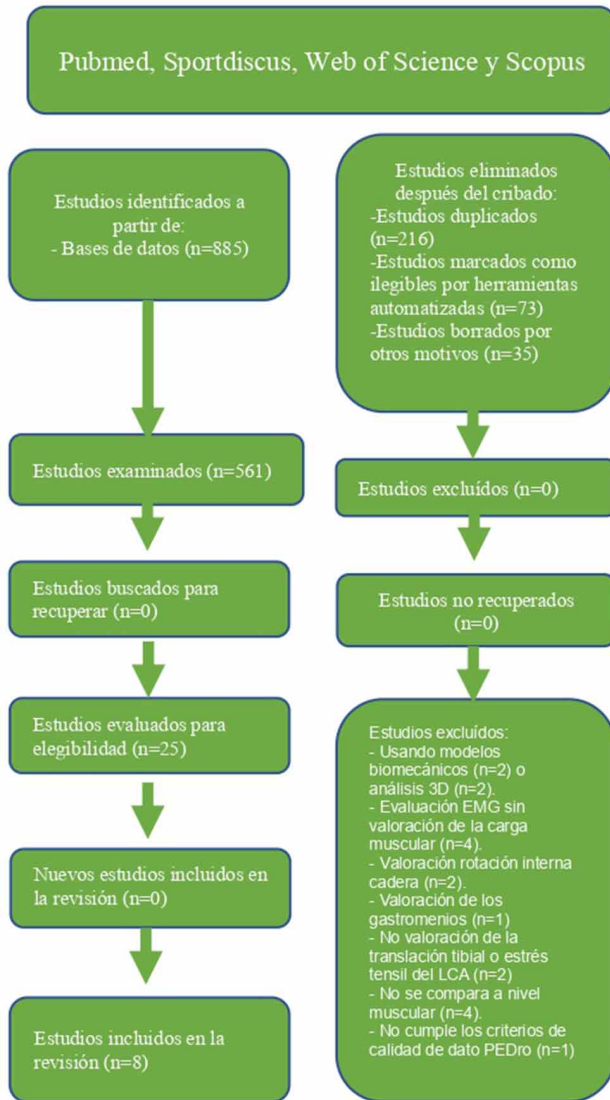


Fig. 1. Análisis PRISMA.

## RESULTADOS

En total se examinaron 885 artículos, de los cuales 216 fueron duplicados, se seleccionaron 669 artículos para examinar realizando el análisis de título resumen y texto completo. Se excluyeron las investigaciones que incluían estudios con modelos matemáticos predictivos, las intervenciones que incluían análisis de otros músculos que no tuviesen en cuenta

a los músculos isquiotibiales como músculos gastrocnemio o sartorio, y los estudios que no estuviesen escritos en inglés. En total fueron 25 artículos los seleccionados para su análisis completo (Fig. 1). Del total 17 artículos fueron excluidos por las siguientes razones: utilizaban modelos biomecánicos (Imran & O'Connor, 1998; Serpell *et al.*, 2015) o análisis 3D (Blackburn *et al.*, 2013; Cassidy *et al.*, 2013), valoración de la EMG muscular sin valorar la carga de los grupos muscular (Kingma *et al.*, 2004; Behrens *et al.*, 2013, 2015), valoraba la rotación interna de cadera (Oh *et al.*, 2012; Beaulieu *et al.*, 2014), valoración de los músculos gastrocnemios (Fleming *et al.*, 2001), no realizaban valoración ni de la translación tibial ni de estrés tensil sobre el LCA (Pamukoff *et al.*, 2017; O'Donnell *et al.*, 2020), no se comparaba muscularmente (Beynnon *et al.*, 1995; Beynnon & Fleming, 1998; Heijne *et al.*, 2004; McPherson *et al.*, 2018), no cumplió los criterios de la escala de calidad metodológica PEDro (More *et al.*, 1993). Finalmente se seleccionaron 8 artículos (Tabla II).

## DISCUSIÓN

Debido a la etiología multifactorial de la lesión, no se puede señalar únicamente a un grupo muscular como responsable; pero el óptimo funcionamiento de todo el conjunto muscular que envuelve la rodilla será importante para evitar situaciones de riesgo. El grupo muscular infravalorado en la prevención de la lesión de LCA son los músculos isquiosurales (Buckthorpe & Della Villa, 2020; Buckthorpe, 2021; Buckthorpe *et al.*, 2021). A parte de la función de flexionar la rodilla en situaciones concéntricas, uno de los objetivos de los músculos isquiotibiales es incrementar la tracción posterior de tibia. De este modo, reducirá el cajón anterior producido por la contracción del músculo cuádriceps e incrementará la rigidez en la articulación (More *et al.*, 1993; Li *et al.*, 1999; Behrens *et al.*, 2013).

La TTA es una de las acciones articulares más comunes de ruptura de LCA (Krosshaug *et al.*, 2007; Koga *et al.*, 2010; Waldén *et al.*, 2015). Este movimiento conlleva a diferentes grados de estrés tensional sobre el LCA, pudiendo causar lesiones en el ligamento. Por lo tanto, a pesar de ser dos valoraciones diferentes están relacionadas, ya que, a mayor desplazamiento anterior de la tibia sobre el fémur, mayor estrés tensional tendrá que absorber el ligamento.

Existe cierta controversia sobre si el músculo cuádriceps en ausencia de los músculos isquiosurales tienen o no capacidad por sí sólo de generar daño en el ligamento (Renstrom *et al.*, 1986; Beynnon *et al.*, 1992; DeMorat *et al.*, 2004; Withrow *et al.*, 2008). DeMorat *et al.* (2004) y Li *et al.* (1999) han estudiado cómo se comporta tanto el estrés



tensional como la TTA después de una recepción tras un salto y la relación que puede tener la contracción del músculo cuádriceps. En la TTA con una fuerza aislada de cuádriceps sin la presencia de los músculos isquiosurales, el desplazamiento anterior de tibia se incrementó significativamente entre la máxima extensión y cerca de los 30° de flexión de rodilla, pudiendo llegar a tener capacidad de generar daño en el ligamento. Sin embargo, Howell (1990) contrapone que la TTA ejercida por el músculo cuádriceps no es mayor que la provocada en las distintas valoraciones de cajón anterior de manera pasiva ( $p < 0.001$ ) y, a su vez, no tiene la capacidad de generar daño en el ligamento. No obstante, al añadir carga en los músculos isquiosurales, la TTA se redujo en todas las intervenciones analizadas (Howell, 1990; Li *et al.*, 1999; More *et al.*, 1993), lo que viene a corroborar la capacidad de los músculos isquiosurales para controlar el desplazamiento anterior de la tibia y, como consecuencia, el estrés tensional sobre el ligamento.

Añadir una activación de los músculos isquiosurales a la de los músculos cuádriceps en un ejercicio como la extensión de rodilla, el estrés tensional del LCA se redujo significativamente entre los 10° y los 20° de flexión de rodilla; llegando a anular cualquier tipo de tensión sobre el ligamento (Draganich & Vahey, 1990). Teniendo en cuenta que la

angulación promedio en la que se produce la lesión es entre 10° y 20°, la mejora de la función de los músculos isquiosurales será importante (Krosshaug *et al.*, 2007).

En investigaciones con un gesto deportivo como es una recepción después de un salto, Withrow *et al.* (2006, 2008) obtuvieron resultados similares. Al añadir la función de los músculos isquiotibiales (Withrow *et al.*, 2008), el estrés tensional se reducía significativamente; mientras que cuando se incrementaba la fuerza del músculo cuádriceps en ausencia del músculo isquiotibial el estrés sobre el ligamento se incrementaba (Withrow *et al.*, 2006). Li *et al.* (1999) en una investigación con un ejercicio de flexión extensión de rodilla, se comparaba el estrés tensional cuando se añadía una contracción isquiotibial a cuando no se hacía en diferentes grados de flexión de rodilla. Los investigadores observaron que a 30° se produjo la máxima TTA, pero sin embargo el máximo estrés sobre el ligamento se produjo a los 15°. Además, observaron que la contracción isquiotibial redujo las fuerzas tensiles del LCA en 15°, 30° y 60° de flexión de rodilla, protegiendo al ligamento de posibles tracciones que puedan generar daño. Además, los investigadores se decantan más por la co-activación que por un trabajo aislado de isquiotibial porque se pierde la ventaja mecánica, motivado por la compleja geometría e interacción del tejido de la rodilla (Li *et al.*, 1999).

Tabla II. Características de los estudios seleccionados.

Autor	Muestra	Tipo de intervención	Prueba	Conclusiones
Draganich & Vahey (1990)	M = 6	Estrés tensil	Rodilla flexión-extensión.	Los isquiotibiales tienen la habilidad para reducir significativamente la tensión del LCA (antero-medial) en una contracción del cuádriceps entre 10° y 20° de flexión.
Withrow <i>et al.</i> (2008)	M = 10	Estrés tensil	Una recepción después de un salto.	Incrementar la fuerza de los isquiotibiales en la flexión de rodilla después de aterrizar en un salto reduce significativamente el estrés tensional del LCA.
Withrow <i>et al.</i> (2006)	M = 11	Estrés tensil	Una recepción después de un salto.	El incremento de la flexión de rodilla sin la presencia de los isquiotibiales durante un salto unilateral incrementa significativamente el estrés tensional en el LCA.
Renstrom <i>et al.</i> (1986)	M = 7	Estrés tensil	Extensión de rodilla.	Los cuádriceps incrementan significativamente el MSV en el LCA, desde la extensión completa hasta 45°. Los isquiotibiales no pueden reducir al estrés tensional generado desde la extensión completa hasta 30° de extensión.
Beynon <i>et al.</i> (1992)	M = 10	TTA	Extensión de rodilla.	La actividad del cuádriceps, sin la presencia del isquiotibial, a 30° produce un gran aumento de MSV.
Li (Li <i>et al.</i> , 1999)	M = 10	TTA	Extensión de rodilla.	La contracción de los isquiotibiales y los cuádriceps es efectiva para reducir las fuerzas de tensión en el LCA, particularmente entre 15° y 60° de flexión de la rodilla.
DeMorat <i>et al.</i> (2004)	M = 30	TTA	Una carga en una rodilla bloqueada.	La carga agresiva del cuádriceps, con la rodilla en ligera flexión, produce una importante TTA y puede generar una posible lesión del LCA.
Howell (1990)	M = 22	TTA	Extensión de rodilla.	La TTA se produjo durante la extensión isométrica de la rodilla desde una flexión de 15° a 60°. Al estar controlada por los efectos interactivos de las fuerzas compresivas y las superficies articulares congruentes, y no por el LCA, no sería suficiente para dañar el ligamento del LCA.

En la misma línea que el anterior estudio, Renstrom *et al.* (1986) observaron que el músculo cuádriceps incrementa el estrés en el LCA hasta los 45° pudiendo generar daño en el tejido. Sin embargo, considera que los músculos isquiotibiales no tienen capacidad para reducir el estrés significativamente en una contracción conjunta con el músculo cuádriceps desde la extensión completa hasta los 30° de flexión. Pero clínicamente argumentan que el trabajo del músculo isquiotibial se debe añadir en fases tempranas de la rehabilitación ya que no genera ningún estrés sobre el ligamento y colabora en el incremento de la fuerza de músculos que envuelven a la rodilla. Beynnon *et al.* (1992) en una investigación con flexión extensión de rodilla observó como la función del músculo cuádriceps a 30° de flexión de rodilla incrementó significativamente el estrés tensional sobre el LCA cuando no se acompañaba de la contracción de los músculos isquiosurales.

La evidencia científica ha demostrado que la co-activación de los músculos isquiosurales - cuádriceps tienen capacidad de reducir el cajón anterior (Draganich & Vahey, 1990; Howell, 1990; Beynnon *et al.*, 1992; Li *et al.*, 1999; DeMorat *et al.*, 2004; Withrow *et al.*, 2008) y por ende, el estrés que puede tolerar el ligamento (Renstrom *et al.*, 1986; Draganich & Vahey, 1990; Beynnon *et al.*, 1992; Li *et al.*, 1999; DeMorat *et al.*, 2004; Withrow *et al.*, 2006, 2008) Entonces, la contracción músculo isquiotibial puede servir de elemento profiláctico para la lesión de LCA.

## CONCLUSIONES

Los músculos isquiosurales, en una co-activación con el músculo cuádriceps, pueden liberar el LCA de tensión siendo un elemento importante de cara a la recuperación y prevención. Ejercen un rol clave en la prevención de la TTA y consecuentemente en el estrés tensional que puede tolerar el ligamento.

La mejora de la capacidad contráctil de los músculos isquiosurales incrementa la tracción posterior de tibia, decelerando el movimiento anterior de la tibia. La mejora de la capacidad contráctil en el rango de angulación entre 10° y 30° puede ser de vital importancia por su estrecha relación con un mayor porcentaje de lesiones del LCA cerca de la extensión de rodilla.

**Limitaciones del estudio.** Cada intervención utiliza un protocolo distinto y no existe una metodología unificada, por lo que es complejo poder llegar a conclusiones. Las muestras son muy poco numerosas debido a la complejidad que supone tanto trabajar con anatomía cadavérica, como con la

utilización de los dispositivos necesarios para valorar el estrés tensional o la TTA en vivo. Las investigaciones que se realizan con anatomía cadavérica acaban utilizando gestos muy analíticos y lejos de la realidad deportiva.

---

**MOURIÑO-CABALEIRO, A.; VILA, H.; SAAVEDRA-GARCÍA, M. A. & FERNÁNDEZ-ROMERO, J. J.** The hamstrings muscle and their prophylactic capacity on anterior tibial translation in anterior cruciate ligament injury: A systematic review. *Int. J. Morphol.*, 41(4):1009-1014, 2023.

**SUMMARY:** Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is the most common knee injury to undergo surgery in the sports setting. The main objective of this review was to analyze the importance of hamstring function as a risk factor for potential ACL injury. It was conducted following the Preferred Reported Item for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) guidelines. The source of data collection was direct consultation of the Pubmed, Sportdiscus, Web of Science and Scopus databases. For documentary retrieval, several key words were used and the quality of the studies that were selected was assessed using the PEDro scale. Muscle function deficits in the hamstrings have been related to increased anterior tibial translation and, as a consequence, increased tensional stress on the ACL between 10° and 45° of knee flexion. A co-activation of the hamstrings with the quadriceps may be helpful in reducing the risk factors for ACL injury.

**KEY WORDS:** Tension stress; Anterior cruciate ligament; Team sports.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beaulieu, M. L.; Oh, Y. K.; Bedi, A.; Ashton-Miller, J. A. & Wojtys, E. M. Does limited internal femoral rotation increase peak anterior cruciate ligament strain during a simulated pivot landing? *Am. J. Sports Med.*, 42(12):2955-63, 2014.
- Behrens, M.; Mau-Moeller, A.; Wassermann, F. & Bruhn, S. Effect of fatigue on hamstring reflex responses and posterior-anterior tibial translation in men and women. *PLoS One*, 8(2):e56988, 2013.
- Behrens, M.; Mau-Moeller, A.; Wassermann, F.; Plewka, A.; Bader, R. & Bruhn, S. Repetitive jumping and sprinting until exhaustion alters hamstring reflex responses and tibial translation in males and females. *J. Orthop. Res.*, 33(11):1687-92, 2015.
- Beynnon, B. D. & Fleming, B. C. Anterior cruciate ligament strain in-vivo: A review of previous work. *J. Biomech.*, 31(6):519-25, 1998.
- Beynnon, B. D.; Fleming, B. C.; Johnson, R. J.; Nichols, C. E.; Renström, P. A. & Pope, M. H. Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises *in vivo*. *Am. J. Sports Med.*, 23(1):24-34, 1995.
- Beynnon, B.; Howe, J. G.; Pope, M. H.; Johnson, R. J.; Fleming, B. C. The measurement of anterior cruciate ligament strain *in vivo*. *Int. Orthop.*, 16(1):1-12, 1992.
- Blackburn, J. T.; Norcross, M. F.; Cannon, L. N. & Zinder, S. M. Hamstrings stiffness and landing biomechanics linked to anterior cruciate ligament loading. *J. Athl. Train.*, 48(6):765-72, 2013.
- Boden, B. P.; Sheehan, F. T.; Torg, J. S. & Hewett, T. E. Non-contact ACL injuries: Mechanisms and risk factors. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, 18(9):520-7, 2010.



- Buckthorpe, M. & Della Villa, F. Optimising the 'Mid-Stage' training and testing process after ACL reconstruction. *Sports Med.*, 50(4):657-78, 2020.
- Buckthorpe, M. Recommendations for Movement Re-training After ACL Reconstruction. *Sports Med.*, 51(8):1601-18, 2021.
- Buckthorpe, M.; Danelon, F.; la Rosa, G.; Nanni, G.; Stride, M. & Della Villa, F. Recommendations for hamstring function recovery after ACL reconstruction. *Sports Med.*, 51(4):607-24, 2021.
- Butler, D. L.; Noyes, N. R. & Grood, E. S. Ligamentous restraints to anterior drawer in the human knee: a biomechanical study. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 62(2):259-70, 1980.
- Cassidy, K.; Hangalur, G.; Sabharwal, P. & Chandrashekar, N. Combined *in vivo/in vitro* method to study anteriomedial bundle strain in the anterior cruciate ligament using a dynamic knee simulator. *J. Biomech. Eng.*, 135(3):35001, 2013.
- Cristiani, R.; Mikkelsen, C.; Forssblad, M.; Engström, B. & Stålmán, A. Only one patient out of five achieves symmetrical knee function 6 months after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 27(11):3461-70, 2019.
- Della Villa, F.; Buckthorpe, M.; Grassi, A.; Nabiuzzi, A.; Tosarelli, F.; Zaffagnini, S. & Della Villa, S. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br. J. Sports Med.*, 54(23):1423-32, 2020.
- DeMorat, G.; Weinhold, P.; Blackburn, T.; Chudik, S. & Garrett, W. Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am. J. Sports Med.*, 32(2):477-83, 2004.
- Draganich, L. F. & Vahey, J. W. An *in vitro* study of anterior cruciate ligament strain induced by quadriceps and hamstrings forces. *J. Orthop. Res.*, 8(1):57-63, 1990.
- Escamilla, R. F.; Macleod, T. D.; Wilk, K. E.; Paulos, L. & Andrews, J. R. Anterior cruciate ligament strain and tensile forces for weight-bearing and non-weight-bearing exercises: a guide to exercise selection. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 42(3):208-20, 2012.
- Escamilla, R. F.; Zheng, N.; Imamura, R.; MacLeod, T. D.; Edwards, W. B.; Hreljac, A.; Fleisig, G. S.; Wilk, K. E.; Moorman 3rd, C. T. & Andrews, J. R. Cruciate ligament force during the wall squat and the one-leg squat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41(2):408-17, 2009.
- Fleming, B. C.; Renstrom, P. A.; Ohlen, G.; Johnson, R. J.; Peura, G. D.; Beynon, B. D. & Badger, G. J. The gastrocnemius muscle is an antagonist of the anterior cruciate ligament. *J. Orthop. Res.*, 19(6):1178-84, 2001.
- Hannah, R.; Minshull, C.; Smith, S. L. & Folland, J. P. Longer electromechanical delay impairs hamstrings explosive force versus quadriceps. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46(5):963-72, 2014.
- Heijne, A.; Fleming, B. C.; Renstrom, P. A.; Peura, G. D.; Beynon, B. D. & Werner, S. Strain on the anterior cruciate ligament during closed kinetic chain exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36(6):935-41, 2004.
- Howell, S. M. Anterior tibial translation during a maximum quadriceps contraction: Is it clinically significant? *Am. J. Sports Med.*, 18(6):573-8, 1990.
- Huygaerts, S.; Cos, F.; Cohen, D. D.; Calleja-González, J.; Guitart, M.; Blazevich, A. J. & Alcaraz, P. E. Mechanisms of hamstring strain injury: interactions between fatigue, muscle activation and function. *Sports (Basel)*, 8(5):65, 2020.
- Imran, A. & O'Connor, J. J. Control of knee stability after ACL injury or repair: interaction between hamstrings contraction and tibial translation. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, 13(3):153-62, 1998.
- Jordan, M. J.; Aagaard, P. & Herzog, W. Rapid hamstrings/quadriceps strength in ACL-reconstructed elite alpine ski racers. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 47(1):109-19, 2015.
- Kingma, I.; Aalbersberg, S. & van Dieën, J. H. Are hamstrings activated to counteract shear forces during isometric knee extension efforts in healthy subjects? *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 14(3):307-15, 2004.
- Koga, H.; Nakamae, A.; Shima, Y.; Iwasa, J.; Myklebust, G.; Engebretsen, L.; Bahr, R. & Krosshaug, T. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: Knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am. J. Sports Med.*, 38(11):2218-25, 2010.
- Krosshaug, T.; Nakamae, A.; Boden, B. P.; Engebretsen, L.; Smith, G.; Slauterbeck, J. R.; Hewett, T. E. & Bahr, R. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: Video analysis of 39 cases. *Am. J. Sports Med.*, 35(3):359-67, 2007.
- Li, G.; Rudy, T. W.; Sakane, M.; Kanamori, A.; Ma, C. B. & Woo, L. Y. The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. *J. Biomech.*, 32(4):395-400, 1999.
- Luque-Seron, J. A. & Medina-Porqueres, I. Anterior cruciate ligament strain *in vivo*: A systematic review. *Sports Health*, 8(5):451-5, 2016.
- Maier, C. G.; Sherrington, C.; Herbert, R. D.; Moseley, A. M. & Elkins, M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys. Ther.*, 83(8):713-21, 2003.
- McPherson, A. L.; Bates, N. A.; Schilaty, N. D.; Nagelli, C. V.; Krych, A. J. & Hewett, T. E. Ligament strain response between lower extremity contralateral pairs during *in vitro* landing simulation. *Orthop. J. Sports Med.*, 6(4):2325967118765978, 2018.
- More, R. C.; Karras, B. T.; Neiman, R.; Fritschy, D.; Woo, L. Y. & Daniel, D. M. Hamstrings—an anterior cruciate ligament protagonist. An *in vitro* study. *Am. J. Sports Med.*, 21(2):231-7, 1993.
- O'Donnell, S. R.; Eitan, D. N. & Roper, J. L. A comparison of quadriceps-to-hamstrings ratios during isokinetic testing, cutting, and drop landings in male soccer players. *Int. J. Exerc. Sci.*, 13(4):157-66, 2020.
- Oh, Y. K.; Lipps, D. B.; Ashton-Miller, J. A. & Wojtys, E. M. What strains the anterior cruciate ligament during a pivot landing? *Am. J. Sports Med.*, 40(3):574-83, 2012.
- Page, M. J.; McKenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C.; Mulrow, C. D.; Shamseer, L.; Tetzlaff, J. M.; Akl, E. A.; Brennan, S. E.; et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372:n71, 2021.
- Pamukoff, D. N.; Pietrosimone, B. G.; Ryan, E. D.; Lee, D. R. & Blackburn, J. T. Quadriceps function and hamstrings co-activation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Athl. Train.*, 52(5):422-8, 2017.
- Renstrom, M. P.; Arms, S. W.; Stanwyck, T. S.; Johnson, R. J.; Pope, M. H. & Johnson, R. J. Strain within the anterior cruciate ligament during hamstring and quadriceps activity. *Am. J. Sports Med.*, 14(1):83-7, 1986.
- Serpell, B. G.; Scarvell, J. M.; Pickering, M. R.; Ball, N. B.; Newman, P.; Perriman, D.; Warmenhoven, J. & Smith, P. N. Medial and lateral hamstrings and quadriceps co-activation affects knee joint kinematics and ACL elongation: A pilot study. *BMC Musculoskelet. Disord.*, 16:348, 2015.
- Waldén, M.; Krosshaug, T.; Bjørneboe, J.; Andersen, T. E.; Faul, O. & Hägglund, M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *Br. J. Sports Med.*, 49(22):1452-60, 2015.
- Withrow, T. J.; Huston, L. J.; Wojtys, E. M. & Ashton-Miller, J. A. The relationship between quadriceps muscle force, knee flexion, and anterior cruciate ligament strain in an *in vitro* simulated jump landing. *Am. J. Sports Med.*, 34(2):269-74, 2006.
- Withrow, T. J.; Huston, L. J.; Wojtys, E. M. & Ashton-Miller, J. A. Effect of varying hamstring tension on anterior cruciate ligament strain during *in vitro* impulsive knee flexion and compression loading. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 90(4):815-23, 2008.

Dirección de correspondencia:

Dra. M<sup>º</sup> Helena Vila  
Departamento Didácticas Especiais  
Facultade de Ciencias da Educación e do Deporte.  
Campus a Xunqueira s/n  
36005 Pontevedra (Vigo)  
ESPAÑA

□  
E-mail: evila@uvigo.es