

MH*Salud*

Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud

Doi <https://doi.org/10.15359/mhs.21-1.16694>

Análisis bibliométrico de la investigación en genética y la ruptura de ligamento cruzado anterior en deporte: una revisión

Bibliometric Analysis Of
Research In Genetic And
Anterior Cruciate Ligament
Rupture In Sport: A Review

Análise Bibliométrica da
Pesquisa em Genética e Ruptura
do Ligamento Cruzado Anterior
no Esporte: Uma Revisão

Wilson Arroyo-Moya¹, Alonso Rodríguez-Buitrago², Jorge Buitrago-Espitia³

Recibido: 8/4/2022- Aceptado: 12/4/2023

- 1  0000-0002-6383-2870 Universidad ECCI, Bogota, Colombia. warroyom@ecci.edu.co
- 2  0000-0003-3093-7198 Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, UDCA, Bogotá, Colombia. alonsor@udca.edu.co
- 3  0000-0003-4490-7774 Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, UDCA, Bogotá, Colombia. jorge.buitrago@udca.edu.co



RESUMEN

Introducción: El componente genético se ha establecido como un factor de riesgo considerable para la ruptura del ligamento cruzado anterior (RLCA). La investigación actual se ha centrado en conocer los genes candidatos que pueden influir y predisponer a un sujeto a padecer esta lesión. **Objetivo:** Se llevó a cabo un análisis bibliométrico para rastrear los resultados de la indagación e identificar las tendencias globales, así como las brechas en el conocimiento sobre la relación entre el componente genético y la RLCA. **Metodología:** Los datos fueron extraídos de las bases Pubmed y Scopus, igual que analizados en el paquete Bibliometrix del software R. Se identificó un total de 63 estudios publicados a partir del 2007. **Resultados:** La mayoría de las publicaciones identificadas fueron artículos de investigación (85.71 %). Los autores con mayor número de aquellas se encuentran en Polonia y Sudáfrica. El análisis a través del mapa de coocurrencias reveló que hay una línea principal de investigación basada en el estudio de polimorfismos genéticos, especialmente en los genes de las familias del colágeno (COL1A1, COL5A1, COL12A1, en mayor frecuencia). Un total de 54 genes candidatos fueron identificados en los estudios. **Conclusión:** Esperamos que este estudio pueda contribuir a encontrar puntos claves y vacíos de investigación, al proporcionar análisis integrales e información estructurada sobre este tema.

PALABRAS CLAVE: polimorfismo genético, genes, ligamento cruzado anterior, colágeno.

ABSTRACT

Introduction: Genetic component has been established as a significant risk factor for anterior cruciate ligament rupture (ACLR). Current research has focused on knowing the candidate genes that can influence and predispose a subject to this injury. **Objective:** A bibliometric analysis was carried out to trace the results of the research and identify global trends and gaps in knowledge about the relationship between the genetic component and ACLR. **Methodology:** Data were extracted from the Pubmed and Scopus databases and analyzed in the Bibliometrix package of the R software. A total of 63 studies published since 2007 were identified. **Results:** Most of the publications recovered were research articles (85.71%). The authors with the highest number of those are in Poland and South Africa. The analysis through the co-occurrence map reveals that there is a mainline of research based on the study of genetic polymorphisms, especially in the genes of the collagen families (COL1A1, COL5A1, COL12A1, in greater frequency). A total of 54 candidate genes were identified within the studies. **Conclusion:** We hope that this study can help to find key points and research gaps by providing a comprehensive analysis and structured information on this topic.

KEYWORDS: genetic polymorphism, genes, anterior cruciate ligament, collagen.

RESUMO

Introdução: O componente genético foi estabelecido como um fator de risco significativo para a ruptura do ligamento cruzado anterior (RLCA). As pesquisas atuais têm se concentrado em identificar os genes candidatos que podem influenciar e predispor um indivíduo a essa lesão. **Objetivo:** Foi realizada uma análise bibliométrica para rastrear os resultados das pesquisas e identificar tendências globais e lacunas no conhecimento sobre a relação entre o componente genético e a RLCA. **Metodologia:** Os dados foram extraídos das bases de dados Pubmed e Scopus e analisados no pacote Bibliometrix do software R. Um total de 63 estudos publicados desde 2007 foram identificados. **Resultados:** A maioria das publicações recuperadas foram artigos de pesquisa (85,71%). Os autores com o maior número dessas publicações estão na Polônia e na África do Sul. A análise por meio do mapa de coocorrência revela que há uma linha principal de pesquisa baseada no estudo de polimorfismos genéticos, especialmente nos genes das famílias de colágeno (COL1A1, COL5A1, COL12A1, com maior frequência). Um total de 54 genes candidatos foram identificados nos estudos. **Conclusão:** Esperamos que este estudo possa ajudar a encontrar pontos-chave e lacunas de pesquisa, fornecendo uma análise abrangente e informações estruturadas sobre este tema.

PALAVRAS-CHAVE: polimorfismo genético, genes, ligamento cruzado anterior, colágeno.

INTRODUCCIÓN

Los estudios iniciales que relacionaron la genética y el rendimiento físico-deportivo buscaban determinar la heredabilidad de distintos fenotipos con características funcionales del consumo máximo de oxígeno, la capacidad de resistencia, el tipo de fibras musculares, entre otros (Bouchard *et al.*, 1995; Bouchard *et al.*, 2011). Hoy, la evidencia científica ofrece estudios de genes candidatos y de asociación de todo el genoma (GWAS) (Bouchard *et al.*, 2011). Estos dos enfoques son los más utilizados para determinar asociaciones con el rendimiento deportivo y han proporcionado nuevas oportunidades de comprender la susceptibilidad de los y las atletas a ciertos estados patológicos heredables vinculados con cardiomiopatías, muertes súbitas, lesionabilidad, entre otros (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015). En cuanto a la ruptura de ligamento cruzado anterior (RLCA), el componente genético se ha establecido como un factor de riesgo considerable (Smith *et al.*, 2012). Por ejemplo, se tiene evidencia de que existe una alta predisposición familiar y diversos polimorfismos genéticos de nucleótido simple (SNPs) que se enlazan a esta lesión (Kaynak *et al.*, 2017; Westin *et al.*, 2016). Adicionalmente, una publicación reciente mostró que la RLCA presenta una alta contribución genética donde se observó una heredabilidad cercana al 69 % (Magnusson *et al.*, 2021).

En este estudio, se realiza un análisis bibliométrico que incluye los autores, revistas y estudios con mayor impacto en dicha área investigativa. La metodología permite observar y evaluar el progreso de las publicaciones e identificar tanto tendencias como brechas en el conocimiento (Valera-Gran *et al.*, 2020). Recientemente, se han llevado a cabo análisis bibliométricos sobre los artículos más citados en medicina deportiva y del ejercicio (Khatra *et al.*, 2021), al igual que de hallazgos en biomecánica deportiva (Knudson, 2020). Con este análisis, se puede ilustrar la trayectoria de la investigación sobre la relación entre la genética y la RLCA, notando el cambio en la producción y el impacto, a lo largo del tiempo, de este campo. En la búsqueda realizada, no se encontraron valoraciones bibliométricas acerca de la temática, por lo cual este es el primer trabajo en emplearlas. El análisis efectuado permite resumir los genes candidatos que han sido objeto de estudio en los diferentes artículos, proporcionando un mapeo general.

MÉTODO

Para este estudio, se llevaron a cabo dos fases.

Fase I. Revisión de la literatura

Se realizó una búsqueda detallada de estudios en las bases de datos PubMed y Scopus, utilizando las ecuaciones: (Genetics factors OR Genes OR Polymorphism) AND (anterior cruciate ligament rupture OR ACL injur*). Se incluyeron los trabajos que analizaban SNPs y su relación con la RLCA en seres humanos, excluyéndose investigaciones efectuadas en animales, ya que se desea exponer su vínculo con el deporte.

Fase II. Análisis y visualización de los datos bibliométricos

El análisis bibliométrico se concretó utilizando el paquete Bibliometrix del software R (v. 4.1.1) (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria; <http://www.r-project.org>). Este paquete realiza un examen cuantitativo de las matrices de datos, con lo que se obtiene un mapeo científico completo (Aria & Cuccurullo, 2017). De cada publicación se analiza la información como revista que publica, tipo de artículo, nombres y afiliaciones de los autores, palabras clave, fecha de publicación, área de investigación y resumen. En primer lugar, se graficó la producción científica anual, desde la primera publicación hasta la más reciente. Para este paso, se usó Microsoft Excel 2016, con el fin de tabular la base de datos y construir una figura de tendencia de la cantidad de publicaciones con los años. Además, se empleó el software SPSS Statistics 26.0, con el propósito de lograr un análisis de correlación de Pearson del año y la cantidad de publicaciones. En segundo lugar, la información fue organizada en el *top 5* de autores, artículos y revistas más citadas. Por otro lado, se realizó un mapa de coocurrencia de las palabras clave de los autores, mediante el software VOSviewer (v.1.6.17. Leiden University, Holanda; <https://www.vosviewer.com>), y, por último, se hizo un análisis detallado de los trabajos, para identificar los genes candidatos que han sido objeto de estudio.

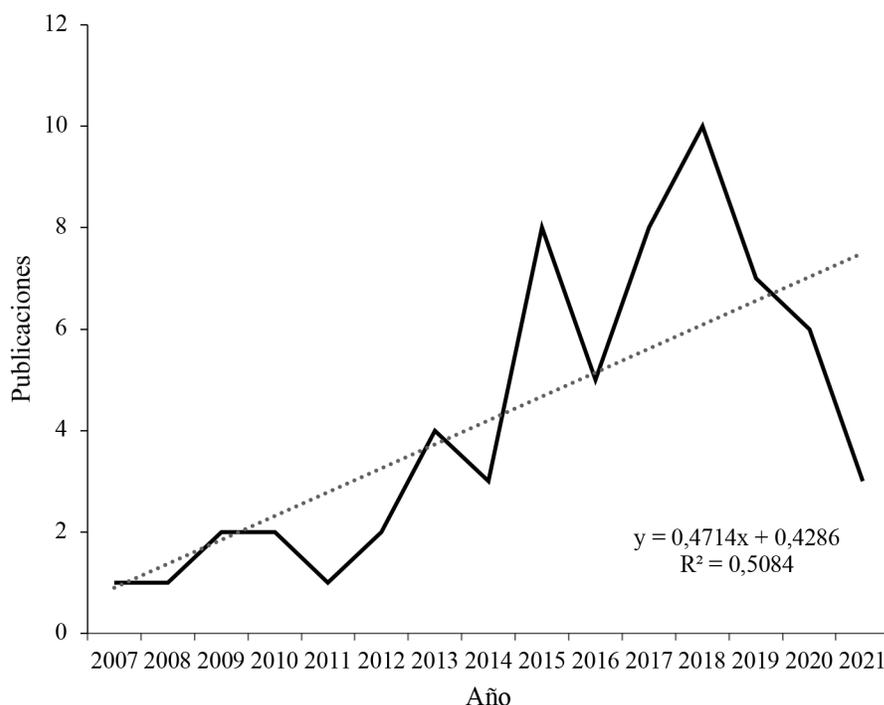
RESULTADOS

Producción anual

Un total de 63 referencias incluidas en el análisis. Como se muestra en la figura 1, el primer estudio fue publicado en el 2007; resultó mayor la frecuencia de publicación de indagaciones en los años 2015, 2017 y 2018. El análisis estadístico reveló que la cantidad de publicaciones se correlacionó positivamente con el año en el cual fueron

realizadas ($r = 0.713$, $p = 0.003$). La mayoría de las publicaciones recuperadas fueron artículos de investigación ($n = 54$, 85.71 %) y otros documentos eran revisiones sistemáticas ($n = 4$, 6.35 %), metaanálisis ($n = 3$, 4.76 %) y capítulos de libros ($n = 2$, 3.17 %).

FIGURA 1.
Producción anual en genética y RLCA



Top 5 de revistas, autores y artículos

Dado que el tipo de documento más frecuente fue el artículo de investigación, se asumió que las revistas eran las fuentes informativas más destacadas. Se encontró un total de 34 fuentes entre revistas y libros. En la tabla 1, se muestran los datos generales de las 5 revistas más prolíficas que publican artículos sobre genética y RLCA; The American Journal of Sports Medicine es la que más publicaciones ha aceptado. Cabe resaltar que estas revistas están ubicadas en el *top 100* del área de ortopedia y medicina deportiva. Por otro lado, se añadió el Scimago Journal Rank (SJR), para observar la ponderación de las citas y el prestigio de la serie de estas. En cuanto al *top 5* de autores, tres de los más relevantes están localizados en Sudáfrica y los dos restantes en Polonia;

n = 14 es el número mayor de publicaciones por autor (tabla 2). El top 5 de artículos se presenta en la tabla 3, donde tres estudios alcanzan y superan las 100 citaciones.

TABLA 1
Top 5 de revistas que más publican sobre genética y RLCA

Rank	Revista	Artículos	SJR	Categorías (rank)
1	American Journal of Sports Medicine	9	3.021	Orthopedics and Sports Medicine (6/262) Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation (5/206)
2	Journal of Science and Medicine in Sport	6	1.724	Orthopedics and Sports Medicine (16/262) Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation (10/206)
3	British Journal of Sports Medicine	5	4.329	Orthopedics and Sports Medicine (1/262) Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation (1/206)
4	Biology of Sport	4	1.279	Orthopedics and Sports Medicine (62/262) Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation (40/206) Physiology (medical) (53/98)
5	Journal of Orthopaedic Research	3	1.041	Orthopedics and Sports Medicine (23/262)

TABLA 2
Top 5 de autores

Rank	Autor	NP	H-index	País	Universidad
1	September AV	14	24	Sudáfrica	University of Cape Town
2	Ficek K	14	16	Polonia	Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu
3	Collins M	14	43	Sudáfrica	Sports Science Institute of South Africa
4	Posthumus M	12	24	Sudáfrica	University of Cape Town
5	Sawczuk M	10	23	Polonia	Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu

Notas: NP, número de publicaciones

TABLA 3
Top 5 de artículos

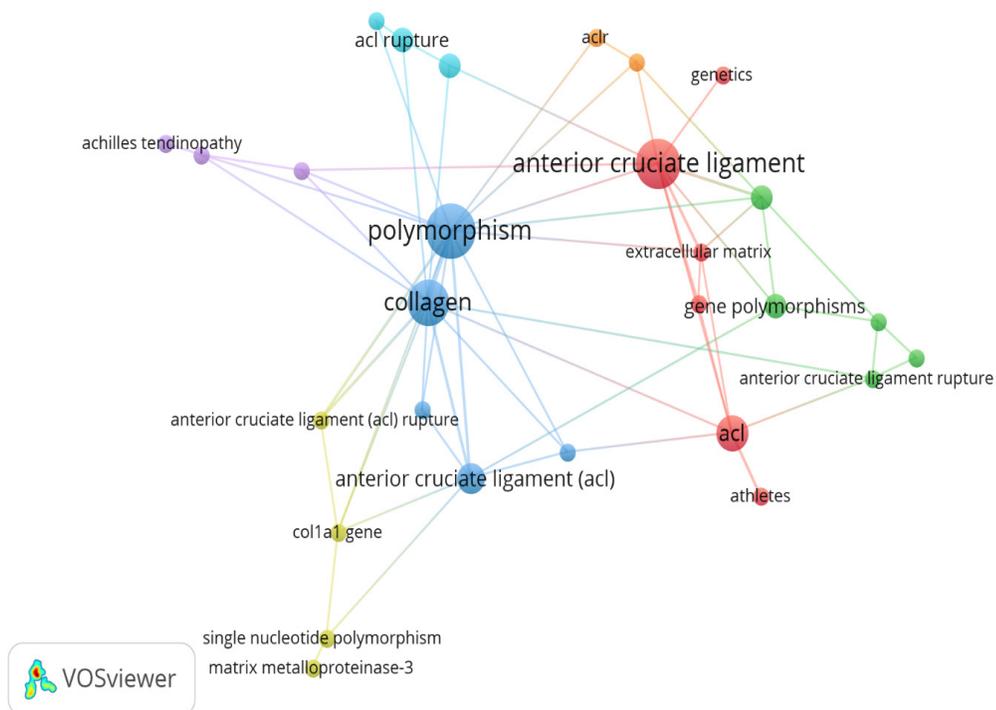
Rank	Autores	Título	Año	Revista	TC
1	Posthumus <i>et al.</i>	The COL5A1 Gene is Associated with Increased Risk of Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Female Participants	2000	The American Journal of Sports Medicine	158
2	Posthumus <i>et al.</i>	Genetic risk factors for anterior cruciate ligament ruptures: COL1A1 gene variant	2009	British Journal of Sports Medicine	126
3	September <i>et al.</i>	Tendon and ligament injuries: the genetic component	2007	British Journal of Sports Medicine	100
4	Khoschnau <i>et al.</i>	Type I collagen alpha1 Sp1 polymorphism and the risk of cruciate ligament ruptures or shoulder dislocations	2008	The American Journal of Sports Medicine	92
5	Posthumus <i>et al.</i>	The association between the COL12A1 gene and anterior cruciate ligament ruptures	2010	British Journal of Sports Medicine	91

Notas: TC, total de citaciones

Análisis de coocurrencia de las palabras clave de los autores

Se recuperó un total de 156 palabras clave de autor. El mínimo de ocurrencias se estipuló en 2 por artículo. Las 31 palabras clave de autores más utilizadas ocurrieron desde un mínimo de 1 hasta un máximo de 20 veces. Basado en la mayor frecuencia de palabras clave y la proximidad de sus conexiones, como se refleja en el mayor tamaño de los nodos y el grosor de las líneas, respectivamente, el análisis de red de las coocurrencias de tales palabras clave del autor reveló una estructura de enlaces entre ellas divididas en 7 grupos diferentes (figura 2). Las palabras clave o términos del autor con mayor frecuencia fueron polymorphism (n = 20), collagen (n = 18) y anterior cruciate ligament (n = 13).

FIGURA 2
Mapa de red de coocurrencias de palabras clave



Mapeo de genes

Un total de 54 genes fue identificado en los estudios; COL1A1, COL5A1, COL12A1, VEGFA y BNG son los 5 de mayor tendencia (figura 3). El mapeo general de genes se realizó observando individualmente cada trabajo, revisando aquellos genes que habían sido objeto de estudio para cada una de las muestras.

FIGURA 3
Mapa de genes identificados



DISCUSIÓN

A partir de la terminación exitosa del proyecto genoma humano, el estudio de factores genéticos ha tomado un papel protagónico en las ciencias del deporte (Arroyo Moya, 2020), por lo cual resulta un factor clave en la predicción del rendimiento deportivo, la determinación del riesgo de lesiones y la identificación del talento deportivo (Ahmetov *et al.*, 2016; Arroyo Moya, 2020; Pickering *et al.*, 2019). El presente estudio bibliométrico muestra, por primera vez un análisis de la investigación académica sobre el enlace entre genética y la RLCA. El examen de la evolución de las publicaciones científicas permite observar que la indagación de este tema ha crecido y se ha convertido hoy en un campo investigativo relevante, pero que aún no ha llegado a su etapa de

madurez. Comparado con todos los hallazgos en genética y deporte, el número de publicaciones sobre esta y RLCA es considerablemente bajo, pero hay que tener en cuenta que la primera publicación se registra en el 2007, lo cual demuestra que es un ámbito de exploración reciente.

Los autores más relevantes que trabajan esta temática se encuentran, principalmente, en Sudáfrica y Polonia. Estos dos países son los referentes primordiales en el nivel mundial. Entre la observación de los estudios, no se halló ninguna investigación nacional y muy pocas en Latinoamérica. Esto puede deberse, más que todo, a que las naciones desarrolladas ocupan una posición dominante en la indagación, lo que demuestra las capacidades económicas y los niveles académicos de estas (Zheng *et al.*, 2016). Llevar a cabo este tipo de estudios en países latinoamericanos representaría un paso importante para el desarrollo científico y deportivo, debido que el componente genético es un factor importante en la caracterización del atleta (Arroyo-Moya *et al.*, 2020) y, a partir de allí, muy probablemente se puedan identificar los y las deportistas con una predisposición o un riesgo de lesión mayor. Esto también va en línea con la planteado por Gineviciene *et al.* (2022) acerca de que la investigación futura en grandes cohortes de atletas tiene el potencial de detectar nuevas variantes genéticas, así como de reafirmar las variantes y SNPs genéticos previamente identificados, los cuales pueden explicar la predisposición natural de algunas personas a ciertas habilidades deportivas, pero, igualmente, aquellas con mayores probabilidades de padecer alguna lesión.

En relación con el mapa de coocurrencias, que constituye uno de los métodos más eficaces para el descubrimiento de las tendencias y temas emergentes en un campo científico (Galvez, 2018), se pudo revelar que una de las líneas investigativas está enfocada en proporcionar conocimiento sobre los polimorfismos de nucleótido simple (SNPs) involucrados en la RLCA. Para comprender el término SNPs de manera sencilla, se tiene referencia de que el 99.9 % de la secuencia de ADN en dos sujetos distintos es similar y que el 0.1 % adicional radica en aquellas diferencias o incompatibilidades fenotípicas, es decir, color de ojo, tipo de cabellos o funciones fisiológicas, susceptibilidad a ciertas enfermedades, entre otras (Checa Caratachea, 2007). A este pequeño porcentaje es al que se le conoce como SNPs.

Uno de los hallazgos principales de esta revisión es incluir un mapeo general sobre los genes investigados en los estudios, con lo cual fue posible encontrar un total de 54 genes. La identificación de estos permite observar las amplias posibilidades que brinda el estudio de genes candidatos y GWAS. Este hallazgo puede ser tenido en cuenta para la escogencia genética en posteriores estudios. A partir de dicho mapeo

general, logró verse que los estudios sobre genes de la familia del colágeno aparecen en mayor frecuencia. Esto puede deberse, principalmente, a que el colágeno es el componente fundamental de los ligamentos, donde las fibrillas de aquel pueden estar compuestas de los tipos I, III, V, XII, entre otros (Stępień-Słodkowska *et al.*, 2015). Así mismo, en estas estructuras, el colágeno constituye entre el 70 y 80 % de su peso (O'Connell *et al.*, 2015). Los estudios incluidos en el *top 5* refieren que es necesario enfatizar en que probablemente existen múltiples trastornos del tejido conectivo, los cuales puedan ser explicados por el componente genético (September *et al.*, 2007). Por ejemplo, el COL1A1, el gen más estudiado, se ha asociado con una reducción del riesgo de RLCA del 85 %, donde portar un genotipo TT parece desempeñar un papel protector (Khoschnau *et al.*, 2008; Posthumus *et al.*, 2009a), al igual que el genotipo CC del COL5A1 (Posthumus *et al.*, 2009b), mientras que el genotipo AA parece incrementar el riesgo (Posthumus *et al.*, 2010).

Por último, este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, el número total de referencias incluidas fue muy poco, lo cual puede explicarse por lo reciente del tema, y eso quizás puede representar un sesgo en los resultados. Asimismo, podría deberse a la única utilización de las bases de datos Scopus y PubMed. Por otro lado, este tipo de trabajos aporta información sobre la cantidad de publicaciones, pero no acerca de su calidad (Camps, 2008), así que pueden estar incluidos trabajos de muy baja calidad. Sin embargo, es un ítem no tan relevante en estudios bibliométricos. En tercer lugar, aunque se muestra un mapeo general de genes, esto no quiere decir que todos tengan una relación directa con la RLCA, así que sugerimos hacer un análisis de replicación que permita esclarecer y confirmar las asociaciones con la lesión. Al considerar estas limitaciones, creemos que los hallazgos de esta investigación muestran conocimientos relevantes sobre la producción científica del ligamen entre genética y RLCA, lo que representa un recurso valioso para los investigadores científicos en este campo. En ese sentido, cabe destacar que el análisis bibliométrico realizado mediante el software Bibliometrix también lo han utilizado otros autores y, de alguna forma, nuestros resultados pueden ser comparados con más en el futuro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS

Este estudio muestra que la relación entre la genética y la RLCA es un tema investigativo que ha ganado relevancia en la última década. La evolución en esta área ha sido paulatina, aunque, en años recientes, se observa un crecimiento notable del número de publicaciones. Unas de las líneas de indagación en esta temática se centra

en el estudio de SNPs asociados con la lesión; los genes del colágeno son los más estudiados. Un total de 54 genes fue identificado, sin embargo, es importante realizar un análisis de replicación para confirmar asociaciones. El presente trabajo puede utilizarse como patrón bibliométrico para investigadores científicos en este campo. Es así como esperamos que lo alcanzado pueda contribuir a encontrar puntos claves y vacíos de exploración, al proporcionar análisis integrales e información estructurada sobre el tema.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE PERSONAS AUTORAS

Los autores del presente artículo declaran que todos han tenido un grado de contribución sustancial para elaborar el documento, ya sea desde su conceptualización y diseño, el análisis o interpretación de datos, la redacción y revisión crítica o el control de calidad para su publicación.

REFERENCIAS

- Ahmetov, I. I., Egorova, E. S., Gabdrakhmanova, L. J. & Fedotovskaya, O. N. (2016). Genes and Athletic Performance: An Update. *Medicine and Sport Science*, 61, 41-54. <https://doi.org/10.1159/000445240>
- Ahmetov, I. I. & Fedotovskaya, O. N. (2015). Current Progress in Sports Genomics. *Advances in Clinical Chemistry*, 70, 247-314. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.03.003>
- Aria, M. & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arroyo-Moya, W., Rodríguez-Buitrago, A. & Escarria-Moreno, A. (2020). La nueva frontera de la preparación deportiva, la genética y el polimorfismo ACE I/D en atletas de resistencia. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 2, 100-117. <https://doi.org/10.31910/rdafd.v6.n2.2020.1571>
- Arroyo Moya, W. (2020). Genética y fútbol: asociación de los polimorfismos genéticos ACTN3 y ACE-I/D en jugadores de fútbol: Revisión literaria (Genetic and soccer: association of ACTN3 and ACE-I/D genetic polymorphisms in soccer players: Literary review). *Retos*, 39, 1-12. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.79347>
- Bouchard, C., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., Wilmore, J. H. & Gagnon, J. (1995). The HERITAGE family study. Aims, design, and measurement protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(5), 721-729. <https://doi.org/10.1249/00005768-199505000-00015>

- Bouchard, C., Rankinen, T. & Timmons, J. A. (2011). Genomics and genetics in the biology of adaptation to exercise. *Comprehensive Physiology*, 1(3), 1603-1648. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100059>
- Camps, D. (2008). Limitaciones de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la actividad científica biomédica. *Colombia Medica*, 39, 74-79. <http://www.scielo.org.co/pdf/cm/v39n1/v39n1a9.pdf>
- Checa Caratachea, M. A. (2007). Polimorfismos genéticos: Importancia y aplicaciones. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*, 20(3), 213-221. <https://www.medigraphic.com/pdfs/iner/in-2007/in073h.pdf>
- Galvez, C. (2018). Análisis de co-palabras aplicado a los artículos muy citados en Biblioteconomía y Ciencias de la Información (2007-2017) [Co-word analysis applied to highly cited papers in Library and Information Science (2007-2017)]. *Transinformação*, 30(3), 277-286. <https://doi.org/10.1590/2318-08892018000300001>
- Gineviciene, V., Utkus, A., Pranckeviciene, E., Semenova, E., Hall, E. & Ahmetov, I. (2022). Perspectives in Sports Genomics. *Biomedicines*, 10, 298. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10020298>
- Kaynak, M., Nijman, F., van Meurs, J., Reijman, M. & Meuffels, D. E. (2017). Genetic Variants and Anterior Cruciate Ligament Rupture: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(8), 1637-1650. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0678-2>
- Khatra, O., Shadgan, A., Taunton, J., Pakravan, A. & Shadgan, B. (2021). A Bibliometric Analysis of the Top Cited Articles in Sports and Exercise Medicine. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(1). <https://doi.org/10.1177/2325967120969902>
- Khoschnau, S., Melhus, H., Jacobson, A., Rahme, H., Bengtsson, H., Ribom, E., Grundberg, E., Mallmin, H. & Michaëlsson, K. (2008). Type I collagen alpha1 Sp1 polymorphism and the risk of cruciate ligament ruptures or shoulder dislocations. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(12), 2432-2436. <https://doi.org/10.1177/0363546508320805>
- Knudson, D. (2020). Top cited research over fifteen years in Sports Biomechanics. *Sports Biomechanics*, 19(6), 808-816. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1518478>
- Magnusson, K., Turkiewicz, A., Hughes, V., Frobell, R. & Englund, M. (2021). High genetic contribution to anterior cruciate ligament rupture: Heritability ~69%. *British Journal of Sports Medicine*, 55(7), 385 LP - 389. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102392>

- O'Connell, K., Knight, H., Ficek, K., Leonska-Duniec, A., Maciejewska-Karlowska, A., Sawczuk, M., Stepien-Slodkowska, M., O'Cuinneagain, D., van der Merwe, W., Posthumus, M., Cieszczyk, P. & Collins, M. (2015). Interactions between collagen gene variants and risk of anterior cruciate ligament rupture. *European Journal of Sport Science*, 15(4), 341-350. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.936324>
- Pickering, C., Kiely, J., Grgic, J., Lucia, A. & Del Coso, J. (2019). Can Genetic Testing Identify Talent for Sport? *Genes*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/genes10120972>
- Posthumus, M., September, A. V., Keegan, M., O'Cuinneagain, D., van der Merwe, W., Schwellnus, M. P. & Collins, M. (2009a). Genetic risk factors for anterior cruciate ligament ruptures: COL1A1 gene variant. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 352-356. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.056150>
- Posthumus, M., September, A. V., O'Cuinneagain, D., van Der Merwe, W., Schwellnus, M. P. & Collins, M. (2009b). The COL5A1 gene is associated with increased risk of Anterior cruciate ligament ruptures in female participants. *American Journal of Sports Medicine*, 37(11), 2234-2240. <https://doi.org/10.1177/0363546509338266>
- Posthumus, M., September, A. V., O'Cuinneagain, D., van Der Merwe, W., Schwellnus, M. P. & Collins, M. (2010). The association between the COL12A1 gene and anterior cruciate ligament ruptures. *British Journal of Sports Medicine*, 44(16), 1160-1165. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.060756>
- September, A. V., Schwellnus, M. P. & Collins, M. (2007). Tendon and ligament injuries: the genetic component. *British Journal of Sports Medicine*, 41(4), 241-246; discussion 246. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.033035>
- Smith, H. C., Vacek, P., Johnson, R. J., Slauterbeck, J. R., Hashemi, J., Shultz, S. & Beynonn, B. D. (2012). Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature - part 1: neuromuscular and anatomic risk. *Sports Health*, 4(1), 69-78. <https://doi.org/10.1177/1941738111428281>
- Stępień-Słodkowska, M., Ficek, K., Kaczmarczyk, M., Maciejewska-Karłowska, A., Sawczuk, M., Leońska-Duniec, A., Stępiński, M., Ziętek, P., Król, P., Chudecka, M. & Cięszczyk, P. (2015). The Variants Within the COL5A1 Gene are Associated with Reduced Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury in Skiers. *Journal of Human Kinetics*, 45, 103-111. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0011>

- Valera-Gran, D., Prieto-Botella, D., Peral-Gómez, P., Hurtado-Pomares, M., Sánchez-Pérez, A. & Navarrete-Muñoz, E. M. (2020). Bibliometric analysis of research on telomere length in children: A review of scientific literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124593>
- Westin, M., Reeds-Lundqvist, S. & Werner, S. (2016). The correlation between anterior cruciate ligament injury in elite alpine skiers and their parents. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(3), 697-701. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-2974-9>
- Zheng, T., Wang, J., Wang, Q., Nie, C., Shi, Z., Wang, X. & Gao, Z. (2016). A bibliometric analysis of micro/nano-bubble related research: current trends, present application, and future prospects. *Scientometrics*, 109(1), 53-71. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2004-4>