

Progresión de ejercicios para la prevención de lesiones del tren inferior en el fútbol: una propuesta en base a criterios mecánicos, observacionales y acelerometría



Alumno: Rubén de la Cruz

Tutora: Amaya Prat

Curso: 2022-2023

Titulación: Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Universidad Miguel Hernández

Índice	
<b>Metodología</b> .....	2
<b>Resultados</b> .....	4
<b>Discusión</b> .....	6
<b>Conclusiones</b> .....	7
<b>Bibliografía</b> .....	7



## Introducción

La articulación de la rodilla juega un papel muy importante en el control postural, ya que una mayor estabilidad incrementa la capacidad para controlar los movimientos cuando está sometida a cargas externas como por ejemplo durante la práctica deportiva (Domnick et al., 2016; Alentorn-Geli et al., 2009). Uno de los elementos que juega un papel relevante en su estabilización es el ligamento cruzado anterior (LCA), el cual impide la traslación anterior de la articulación, así como la rotación interna de la tibia (Arundale et al., 2022). Dentro de las lesiones de la articulación de la rodilla, se ha observado que la rotura de LCA tiene una alta prevalencia (Arundale et al., 2022), especialmente en algunos deportes colectivos como el fútbol y el baloncesto (Larwa et al., 2021).

El fútbol es el deporte más practicado y con más popularidad del mundo tanto entre hombres como en mujeres, donde se ha observado que los hombres tienen un mayor riesgo de lesión de LCA por contacto mientras que las mujeres lo tienen sin contacto (Arundale et al., 2022; Larwa et al., 2021). Un mecanismo común y frecuente de lesión de LCA es el valgo de rodilla con rotación interna de cadera sin contacto (Domnick et al., 2016). En este sentido, las situaciones más peligrosas en deportes como el fútbol son el aterrizaje después de un salto y/o la parada brusca con cambio de dirección y la rodilla flexionada (Mehl et al., 2018). Debido a que la mayoría de las lesiones en fútbol se encuentran en las extremidades inferiores, se han desarrollado varias estrategias para reducir la incidencia de lesiones como la de LCA (Sadigursky et al., 2017). Así, en la literatura se pueden encontrar diferentes programas preventivos orientado a aspectos como la educación sobre los mecanismos de lesión típicos, ejercicios para mejorar el equilibrio y la propiocepción, entrenamiento neuromuscular para la coordinación inter e intramuscular (especialmente de musculatura del tren inferior), así como ejercicios de técnica carrera (Mehl et al., 2018). Entre los diferentes programas implementados en fútbol, destacan el FIFA 11+ (Sadigursky et al., 2017), el *Prevent Injury and Enhance Performance* (Rodríguez et al., 2018), o el *Sportsmetrics* (Noyes & Barber Westin, 2012; Mattu et al., 2022), los cuales han mostrado tener un impacto positivo para reducir el número de lesiones en jugadores de fútbol. Aunque los elementos incorporados pueden diferir entre los programas, los ejercicios que habitualmente se encuentran en estos programas son algunos como las sentadillas, zancadas, planchas frontales y laterales, saltos y aterrizajes (Petushek et al., 2019; Taylor et al., 2020; Wilczyński et al., 2020; Sadigursky et al., 2017; Noyes & Barber Westin, 2012), donde algunos de estos ejercicios involucran altas demandas de estabilización del tren inferior para una ejecución adecuada. Estos programas se implementan generalmente antes del entrenamiento específico (Petushek et al., 2019), con un tiempo destinado alrededor de los 24 minutos por sesión y con una frecuencia 2-3 veces por semana, suponiendo entre el 30-50% del total de la sesión de prevención (Sadigursky et al., 2017; Noyes & Barber Westin, 2012). Por otro lado, estos programas suelen iniciarse en la pretemporada, ya que influye en la eficacia de la reducción del riesgo de lesión (Mehl et al., 2018), así como una mayor dosis (i.e., duración de las sesiones >20min frecuencia semanal >3 veces).

Pese al impacto positivo que se observa con la implementación de este tipo de programas, una de las grandes limitaciones observadas es la falta de criterios establecidos para controlar la carga de entrenamiento y progresar y cuantificar de manera objetiva el desafío que supone cada ejercicio para la persona, donde normalmente se realiza a través de criterios subjetivos que no siempre se describen (Heebner et al., 2015). Actualmente existen herramientas para medir el equilibrio corporal general, como las plataformas de fuerzas o la acelerometría (Heebner et al., 2015), las cuales han sido utilizadas para analizar la intensidad de algunos de los ejercicios de estabilidad de tronco más comunes como las planchas frontales,

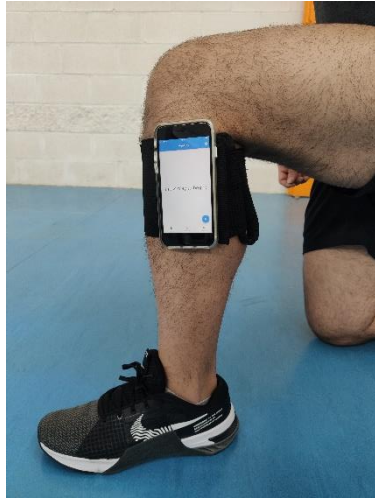
laterales, dorsales o el perro de muestra (Barbado et al., 2018; Vera-Garcia et al., 2020). Además, en un reciente estudio realizado por Heredia-Elvar et al., (2021) relacionaron criterios observacionales sobre la ejecución de estos ejercicios con la aceleración registrada durante los mismos, proporcionando una relación entre ambos criterios que puede ayudar a la toma de decisiones a la hora de progresar en este tipo de programas.

En base a lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo final de grado reside en realizar una propuesta de progresión de los ejercicios con altas demandas de estabilidad más comunes en los programas preventivos de lesiones en fútbol (zancada, *dropjump* y equilibrio unipodal). La progresión se establecerá en base a criterios mecánicos, en los que se tendrá en cuenta criterios observacionales para determinar si el ejercicio se realiza de manera adecuada y le supone un estímulo suficiente a la persona. Además, esto se relacionará con datos objetivos proporcionados por acelerometría integrada en smartphone, el cual ha mostrado ser un instrumento válido y fiable para medir el control postural (Heebner et al., 2015).

## Metodología

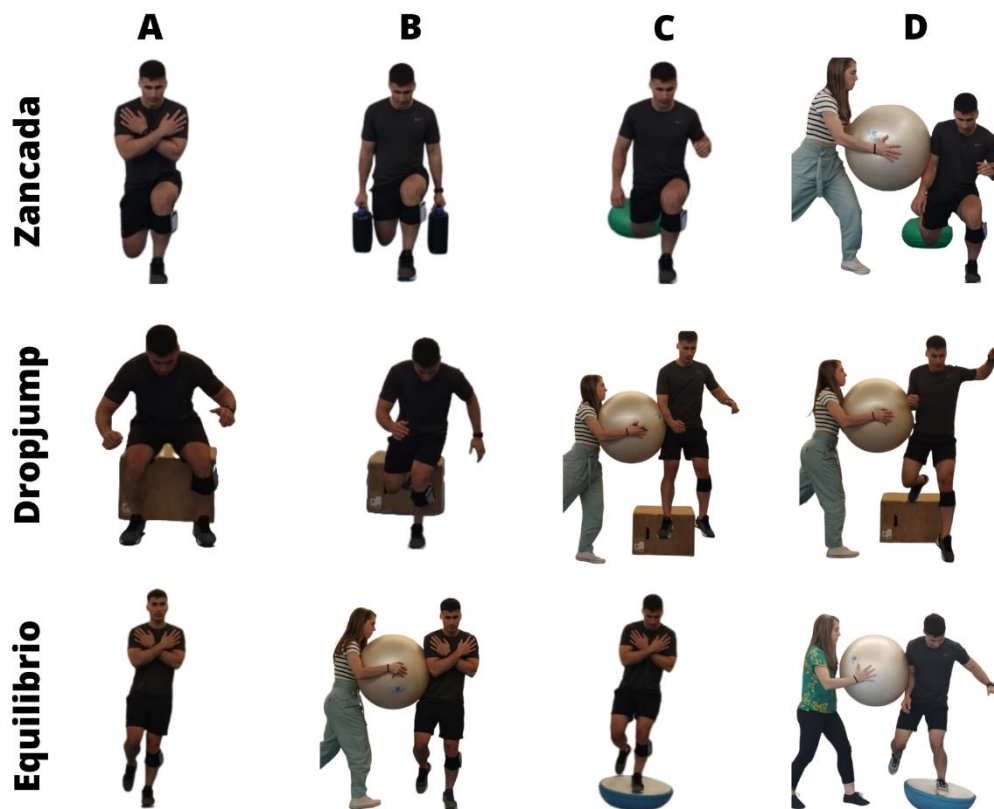
El presente trabajo final de grado fue un estudio de caso con un hombre físicamente activo de 28 años (altura: 175 cm, peso: 80 kg). El registro de la sesión se realizó en el Centro de Investigación del Deporte de la Universidad Miguel Hernández de Elche, la cual tuvo una duración aproximada de 60 minutos.

Los ejercicios se grabaron en vídeo mediante un *Smartphone* (Xiaomi Mi9 lite) para analizar si el participante cumplía con los criterios establecidos a la hora de determinar si este nivel de ejercicio supone un estímulo de entrenamiento suficiente y si lo realizaba de manera adecuada. Estos criterios fueron los siguientes: (1) es capaz de realizar el ejercicio con una alineación correcta de los segmentos tobillo, rodilla, pelvis y tronco, (2) se observa tremor en los segmentos del tren inferior, pero controla el movimiento durante la ejecución del ejercicio. En este sentido, el participante no podría pasar de nivel dentro de las progresiones para cada ejercicio si: (1) no es capaz de alinear correctamente los segmentos tobillo, rodilla, pelvis y tronco, (2) se observa tremor descontrolado del tren inferior, (3) el participante no es capaz de realizar el ejercicio. Asimismo, durante la sesión se registraron las oscilaciones de la articulación de la rodilla a través de acelerometría integrada en smartphone (Iphone SE 2020) a través de la aplicación *Core Maker*. El Smartphone se colocó en la parte lateral de la pierna dominante (Figura 1).



**Figura 1.** Colocación del Smartphone.

Durante la sesión el participante realizó 3 progresiones para los ejercicios de zancada en condiciones estáticas, el *dropjump* (el participante se deja caer desde un cajón con el objetivo de estabilizar lo antes posible tras la recepción de la caída), y un ejercicio de equilibrio unipodal. Se realizaron 4 variaciones para cada ejercicio, con un total de 12 ejercicios (figura 2). Para el ejercicio de zancada se establecieron las siguientes progresiones: (1) zancada, (2) zancada con garrafas de peso desconocido, (3) zancada colocando la pierna no dominante sobre un bosu hemisférico atrás (54x24 cm; Medusa T1, Elksport ©, España) y (4) zancada con perturbaciones (*fitball* de 45 cm de diámetro; Amaya Sport, España) y colocando la pierna no dominante sobre un bosu hemisférico atrás. Para el ejercicio de *dropjump* (el deportista se deja caer desde un cajón de las siguientes dimensiones: 75x50x60cm): (1) en bipedestación, (2) en apoyo unipodal, (3) en bipedestación tras perturbación, y (4) en apoyo unipodal tras perturbación. Para el ejercicio de equilibrio unipodal las variantes fueron las siguientes: (1) tarea estática, (2) tarea estática con perturbación constante, (3) tarea estática sobre bosu (65x24 cm; Tortuga T2, Elksport ©, España) y (4) tarea estática sobre bosu con perturbación constante. Esta progresión de ejercicios se estableció en base a criterios mecánicos, en este caso el número de apoyos y el uso de superficies inestables. Estos ejercicios fueron realizados por el participante con la pierna dominante y con los pies a la anchura de los hombros. Además, en los diferentes niveles del ejercicio de zancada, se añadió un metrónomo a una velocidad de 70 latidos por minuto donde el participante realizaba a este ritmo flexo-extensiones de la pierna situada delante. La duración de los registros de acelerometría fue de 15 segundos.



**Figura 2.** Progresión de los ejercicios. Ejercicios de zancada: A) zancada, B) zancada con garrafas de peso desconocido, C) zancada colocando la pierna no dominante sobre un bosu hemisférico atrás y D) zancada con perturbaciones y colocando la pierna no dominante sobre un bosu hemisférico atrás. Ejercicios de *dropjump*: A) *dropjump* en bipedestación, B) *dropjump* en apoyo unipodal, C) *dropjump* en bipedestación tras perturbación y D) *dropjump* unipodal tras perturbación. Ejercicios de equilibrio unipodal: A) tarea estática, B) tarea estática con perturbación constante, C) tarea estática sobre bosu y D) tarea estática sobre bosu con perturbación.

## Resultados

En cuanto a los resultados a nivel observacional (i.e., a través del análisis de los vídeos) y en base a los criterios anteriormente descritos, el deportista cumple las dos condiciones en todas las variantes de zancada, en todas fue capaz de realizar el ejercicio con una alineación correcta de los segmentos tobillo, rodilla, pelvis y tronco, aunque en la variante D) se observa cierto tremor e inestabilidad en el tronco, pero es controlado en todo momento, aunque si esta perturbación fuera mayor, el nivel de intensidad sería demasiado elevado y terminaría por no cumplir alguna de las dos condiciones. El deportista cumple las dos condiciones en la variante *dropjump* en bipedestación, *dropjump* en apoyo unipodal y *dropjump* en bipedestación tras perturbación. Sin embargo, en la variante de *dropjump* unipodal tras perturbación se observa un mayor tremor e inestabilidad en el tronco al recibir la perturbación y aterrizar, por lo que no cumpliría el segundo criterio. El deportista cumple las dos condiciones en la variante equilibrio unipodal en tarea estática, tarea estática con perturbación constante y tarea estática sobre bosu, aunque existe cierto tremor en esta última, pero es controlado en todo momento. Sin embargo, en la variante tarea estática sobre bosu con perturbación se observa mucha inestabilidad en el tren inferior con un gran tremor que provoca incluso un gran valgo de rodilla y una gran inestabilidad en el tronco, por lo que no cumplirían ninguna de las dos condiciones, siendo así ejercicios demasiado intensos y debería quedarse en un nivel inferior en los dos ejercicios.

En cuanto a los resultados en base a criterios objetivos (i.e., acelerometría integrada en *Smartphone*), para el ejercicio de zancada, el orden establecido por acelerometría fue B>A>C>D, y en el caso del *dropjump* A>C>B>D. En el caso de las variantes de equilibrio el orden de la acelerometría fue el mismo que el establecido en base a los criterios mecánicos.

EJERCICIOS	VARIANTES	ACELERACIÓN (m/s <sup>2</sup> )
ZANCADA	A	1.245
	B	1.165
	C	1.462
	D	1.996
DROPJUMP	A	1.274
	B	1.832
	C	1.338
	D	1.994
EQUILIBRIO	A	0.5748
	B	0.926
	C	2.023
	D	2.472

**Tabla 3.** Resultados de aceleración de los ejercicios realizados.

## Discusión

Se ha observado que en el fútbol las lesiones más frecuentes se encuentran en el tren inferior, aunque más concretamente en la articulación de la rodilla (Arundale et al., 2022; Domnick et al., 2016). Dentro de las lesiones de rodilla, una de las más destacadas es la del LCA, por tener una mayor prevalencia, así como una mayor gravedad y tiempo de recuperación tras la lesión (Arundale et al., 2022). Debido a ello, se han estudiado los mecanismos de lesión para diseñar programas preventivos que pudieran disminuir este riesgo de lesión (Domnick et al., 2016). Sin embargo, hay una gran limitación en la literatura y es que, a pesar de conocer que los programas de prevención son útiles, faltan criterios objetivos para progresar dentro de los programas (Heebner et al., 2015). Es por esto por lo que el objetivo de este trabajo final de grado fue realizar una propuesta de progresión de ejercicios con altas demandas de estabilización en base a criterios observacionales y acelerometría integrada en *Smartphone*.

Los criterios mecánicos y observacionales que se han utilizado han servido para ordenar previamente los ejercicios, coincidiendo en el orden únicamente en las tareas estáticas, mientras que en el *dropjump* y en la zancada se ha obtenido otro orden diferente. Esto se puede deber a varios motivos: 1) nivel objetivo (alineación y control de las estructuras); 2) nivel individual del deportista (e.g., nivel de entrenamiento previo, condición física...); y 3) nivel metodológico, ya que no se ha medido exactamente la fuerza de las perturbaciones aplicadas o el peso que llevaba el deportista en cada momento, lo que puede provocar que el ejercicio comprometa en mayor o menor medida el nivel de estabilización requerido. Por otro lado, los valores de acelerometría que se han utilizado para el presente estudio se corresponden con la aceleración media (i.e., módulo de aceleración resultante de los 3 ejes X,Y,Z), por lo que no se han analizado de manera aislada cada uno de los ejes. Esto es un aspecto relevante especialmente para los ejercicios de zancada y *dropjump*, debido a que la aceleración media puede que no sea el parámetro más adecuado para analizar estos ejercicios. Por suerte, el acelerómetro se podría utilizar no solo para obtener la aceleración media, sino que se podrían explorar otros parámetros de interés como el *jerk*, que se corresponde con la derivada de la aceleración, indicando así el ritmo con el que cambia la aceleración en cada eje (Kosik et al., 2021). Este es un parámetro que proporciona mucha más información con la que poder tomar decisiones, ya que esta información podría ser interesante para determinar el desplazamiento de las articulaciones del tren inferior, por ejemplo, en el eje X y su relación con el valgo de rodilla durante el movimiento. En este sentido, la herramienta de la acelerometría se presenta como un aspecto interesante que puede proporcionar información objetiva sobre la ejecución de estos ejercicios que ayude en la toma de decisiones.

Una de las limitaciones que tiene del trabajo es que sólo se han realizado pruebas con un único participante y que los resultados no pueden proporcionar conclusiones por sí mismos. Futuras investigaciones podrían aumentar el tamaño muestral y formar grupos entre los que poder comparar los diferentes resultados de acelerometría y análisis de vídeo, no solo en un único registro, sino en varios.

Además, se podría utilizar el acelerómetro no solo para obtener la aceleración media, sino que también se podrían explorar otros parámetros de interés como el *jerk*, que se corresponde con la derivada de la aceleración, indicando el ritmo con el que cambia la aceleración en cada eje (Kosik et al., 2021). Este último aspecto sería especialmente interesante en los ejercicios de *dropjump* y zancada, ya que son los ejercicios en los que la aceleración media no proporciona datos suficientes.



## Conclusiones

Se ha visto que las lesiones más prevalentes en fútbol son las que se producen en los miembros inferiores y la más grave es la lesión de LCA. Pese a que los programas preventivos en fútbol reducen el riesgo de este tipo de lesiones, existe una falta de control en la carga, ya que se basa especialmente en criterios subjetivos que no siempre se describen en los programas. En este trabajo final de grado se ha propuesto una progresión de ejercicios con altas demandas de estabilidad en base a criterios mecánicos, observacionales y acelerometría integrada en Smartphone. En cuanto a los resultados, el orden establecido previamente para los ejercicios solo se ha respetado en las variantes de equilibrio en relación a los resultados obtenidos a través del acelerómetro. No obstante, el presente trabajo ha sido un estudio de caso, siendo recomendable incrementar el tamaño muestral en futuros estudios.

## Bibliografía

- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *17*(7), 705–729. <https://doi.org/10.1007/S00167-009-0813-1/FIGURES/2>
- Arundale, A. J. H., Silvers-Granelli, H. J., & Myklebust, G. (2022). ACL injury prevention: Where have we come from and where are we going? *Journal of Orthopaedic Research*, *40*(1), 43–54. <https://doi.org/10.1002/JOR.25058>
- Barbado, D., Irlés-Vidal, B., Prat-Luri, A., García-Vaquero, M. P., & Vera-García, F. J. (2018). Training intensity quantification of core stability exercises based on a smartphone accelerometer. *PLoS One*, *13*(12). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0208262>
- Domnick, C., Raschke, M. J., & Herbolt, M. (2016). Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques. *World Journal of Orthopedics*, *7*(2), 82. <https://doi.org/10.5312/WJO.V7.I2.82>
- Heebner, N. R., Akins, J. S., Lephart, S. M., & Sell, T. C. (2015). Reliability and validity of an accelerometry based measure of static and dynamic postural stability in healthy and active individuals. *Gait & Posture*, *41*(2), 535–539. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2014.12.009>
- Heredia-Elvar, J. R., Juan-Recio, C., Prat-Luri, A., Barbado, D., & Vera-García, F. J. (2021). Observational Screening Guidelines and Smartphone Accelerometer Thresholds to Establish the Intensity of Some of the Most Popular Core Stability Exercises. *Frontiers in Physiology*, *12*, 751569. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2021.751569/FULL>
- Kosik, K. B., Lucas, K., Hoch, M. C., Hartzell, J. T., Bain, K. A., & Gribble, P. A. (2021). Acceleration and Jerk After a Jump Stabilization Task in Individuals With and Without Chronic Ankle Instability. *Journal of Applied Biomechanics*, *37*(4), 359–364. <https://doi.org/10.1123/JAB.2020-0104>
- Larwa, J., Stoy, C., Chafetz, R. S., Boniello, M., & Franklin, C. (2021). Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: A systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(7). <https://doi.org/10.3390/IJERPH18073826/S1>

- Mattu, A. T., Ghali, B., Linton, V., Zheng, A., & Pike, I. (2022). Prevention of Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injuries among Youth Female Athletes: An Umbrella Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8). <https://doi.org/10.3390/IJERPH19084648>
- Mehl, J., Diermeier, T., Herbst, E., Imhoff, A. B., Stoffels, T., Zantop, T., Petersen, W., & Achtnich, A. (2018). Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 138(1), 51–61. <https://doi.org/10.1007/S00402-017-2809-5/TABLES/4>
- Noyes, F. R., & Barber Westin, S. D. (2012). Anterior cruciate ligament injury prevention training in female athletes: a systematic review of injury reduction and results of athletic performance tests. *Sports Health*, 4(1), 36–46. <https://doi.org/10.1177/1941738111430203>
- Petushek, E. J., Sugimoto, D., Stoolmiller, M., Smith, G., & Myer, G. D. (2019). Evidence-Based Best-Practice Guidelines for Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Young Female Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(7), 1744. <https://doi.org/10.1177/0363546518782460>
- Rodríguez, C., Echegoyen, S., & Aoyama, T. (2018). The effects of “Prevent Injury and Enhance Performance Program” in a female soccer team. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(5), 659–663. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07024-4>
- Sadigursky, D., Braid, J. A., De Lira, D. N. L., Machado, B. A. B., Carneiro, R. J. F., & Colavolpe, P. O. (2017). The FIFA 11+ injury prevention program for soccer players: A systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S13102-017-0083-Z/TABLES/3>
- Taylor, J. B., Nguyen, A. D., Shultz, S. J., & Ford, K. R. (2020). Hip biomechanics differ in responders and non-responders to an ACL injury prevention program. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(4), 1236–1245. <https://doi.org/10.1007/S00167-018-5158-1/FIGURES/1>
- Vera-Garcia, F. J., Irlles-Vidal, B., Prat-Luri, A., García-Vaquero, M. P., Barbado, D., & Juan-Recio, C. (2020). Progressions of core stabilization exercises based on postural control challenge assessment. *European Journal of Applied Physiology*, 120(3), 567–577. <https://doi.org/10.1007/S00421-020-04313-9>
- Wilczyński, B., Zorena, K., & Ślęzak, D. (2020). Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, 17(21), 8208. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17218208>
- Williams, J. M., Gara, M., & Clark, C. (2019). The Quantification of Hop Landing Balance Using Trunk-Mounted Accelerometry. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(8). <https://doi.org/10.1123/JSR.2018-0384>