





# Optimizando la vuelta al terreno de juego: Doble tarea vs. entrenamiento de fuerza tradicional para la rehabilitación del ligamento cruzado anterior (LCA)

Optimizing return to play: Double task vs. Traditional strength training for anterior cruciate ligament (ACL) rehabilitation

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> 

<sup>1</sup> Centro de Saúde e Movemento (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

\* Correspondence: Alberto Mouriño Cabaleiro, Mail: albertomourinocabaleiro@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17398/1885-7019.21.265>

Recibido: 23/10/2024; Aceptado: 11/01/2025; Publicado: 15/03/2025

## OPEN ACCESS

Sección / Section:  
Physiology of Sport and Exercise

Editor de Sección / Edited by:  
Sebastián Feu  
Universidad de Extremadura,  
España

Citación / Citation:  
Mouriño-Cabaleiro, A., Vila, H., Saavedra-García, M. A., & Fernández-Romero, J. J. (2025). Optimizando la vuelta al terreno de juego: Doble tarea vs. entrenamiento de fuerza tradicional para la rehabilitación del ligamento cruzado anterior (LCA). *E-balonmano Com*, 21(2), 265-276.

Fuentes de Financiación / Funding:  
there is no funding-

Agradecimientos/  
Acknowledgments:  
-

Conflicto de intereses /  
Conflicts of Interest:  
All authors declare no conflict of  
interest

## Resumen

La utilización del entrenamiento de doble tarea en medidas preventivas para lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) o en el proceso de rehabilitación post-reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCAr) ha despertado interés dentro de la comunidad científica debido a sus posibles impactos en el fortalecimiento de los músculos periarticulares. El propósito de esta investigación fue evaluar la efectividad de un programa de entrenamiento de fuerza convencional (grupo experimental 1, G1; n= 5) en comparación con un entrenamiento de fuerza que incorpora la toma de decisiones (grupo experimental 2, G2; n= 6), en jugadores de deportes de equipo que han sido sometidos a LCAr. Se llevó a cabo un ensayo clínico aleatorio, controlado y simple ciego, en el que los atletas con LCAr fueron asignados al azar. Se realizó una evaluación isométrica de la extensión de cadera en la posición de 0° grados de cadera, la flexión de rodilla tanto a 90° como a 15° y la extensión de rodilla con 90° de flexión de cadera y la rodilla en 90°, así como dos tipos de saltos unilaterales, el salto a una pierna con contramovimiento (CMJu) y el salto medial a distancia (MHD). Ambos grupos de participantes recibieron ejercicios de fortalecimiento muscular de miembros inferiores, realizados dos veces por semana durante un período de 12 semanas. Sin embargo, los atletas en G2 realizaron una tarea adicional en doble tarea, respondiendo a señales luminosas para llevar a cabo las repeticiones del ejercicio. Además, ambos grupos realizaron un conjunto adicional de ejercicios destinados a corregir asimetrías detectadas. Las variables analizadas incluyeron la extensión de cadera, la flexión de rodilla a 15° y 90°, la extensión de rodilla, el CMJu y el MHD. Se realizaron pruebas no paramétricas para muestras no relacionadas, para comparar las rodillas sana y lesionada. Como resultado, se observaron mejoras significativas en la extensión de cadera (p=0.046) y la flexión de rodilla a 90° (p=0.028) y 15° (p=0.028) en la rodilla lesionada en el G2. En conclusión, los hallazgos sugieren que la inclusión de actividades de toma de decisiones en doble tarea puede mejorar la fuerza y la capacidad de salto en comparación con el entrenamiento de fuerza tradicional para atletas de deportes de equipo con LCAr.

**Palabras clave:** LCA; cognición; tarea dual.

## Abstract

The use of dual-task training to prevent anterior cruciate ligament (ACL) injuries or in the post-reconstruction rehabilitation process of the anterior cruciate ligament (ACLr) has aroused interest within the scientific community due to its possible impacts on strengthening, of the periarticular muscles. This research was to evaluate the effectiveness of a conventional strength purpose program (experimental group 1, G1; n= 5) compared to a strength training that incorporates decision making (experimental group 2, G2; n= 6), in team sports players who have undergone reconstruction anterior cruciate ligament (ACLr)cr. A randomized, controlled, single-blind clinical trial was conducted, in which athletes with ACLr were randomly assigned. An isometric evaluation of hip extension was performed in the position of 0° degrees of hip, knee flexion at both 90° and 15° and knee extension with 90° of hip flexion and the knee at 90°, as well as two types of unilateral jumps, the one-leg jump with countermovement (CMJu) and the

medial distance jump (MHD). Both groups of participants received lower limb muscle strengthening exercises, performed twice a week for a period of 12 weeks. However, athletes in G2 performed in dual task, responding to light cues to perform exercise repetitions. In addition, both groups performed an additional set of exercises aimed at correcting detected asymmetries. The variables analyzed include hip extension, knee flexion at 15° and 90°, knee extension, CMJu and MHD. Nonparametric tests were performed for unrelated samples to compare healthy and injured knees. As a result, significant improvements were observed in hip extension ( $p=0.046$ ) and knee flexion at 90° ( $p=0.028$ ) and 15° ( $p=0.028$ ) in the injured knee in G2. In conclusion, the findings suggest that the inclusion of dual-task decision-making activities may improve strength and jumping ability compared to traditional strength training for team sport athletes with ACLr.

**Key Words:** ACL; cognition; dual task.

## Introducción

El Return To Play (RTP) se refiere al tiempo necesario después de una lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) para que el atleta pueda volver a competir al nivel previo de la misma (Paterno et al., 2017). Su valoración y seguimiento ha sido objeto de gran interés y atención por parte de la comunidad científica (Ardern et al., 2011; Blanch, 2016; Brophy et al., 2012; Goes et al., 2020; Grindem et al., 2011; Gustavsson et al., 2006; Myklebust, 2005; Shrier, 2015; Zaffagnini et al., 2014; Ramos Pastrana et al., 2024). El seguimiento del entrenamiento de fuerza, saltos, equilibrio, etc., sirve para ofrecer información a los equipos médicos, entrenadores y al propio lesionado de en qué condiciones se encuentra la articulación; pero aun así el riesgo de recaída es alto, afectando a uno de cada cuatro deportistas (Villa, 2021). Es importante destacar que existen pocas evidencias que respalden la efectividad de este tipo de evaluaciones en el contexto deportivo (Bahr, 2016). La falta de éxito puede ser porque este tipo de propuestas presentan un enfoque reduccionista para explicar la etiología lesiva y están obviando multitud de factores que pueden afectar a una lesión (Bittencourt et al., 2016; Gokeler et al., 2023). La crítica principal se centra en que las diversas pruebas y entrenamientos sugeridos implican que el atleta comience el ejercicio sin influencias externas, en un entorno seguro y sin la necesidad de tomar decisiones instantáneas, ya que se enfoca únicamente en una tarea específica. La relevancia de la relación entre el individuo y su entorno, así como la influencia del procesamiento de información en la ejecución motora pueden estar detrás de la etiología lesiva (Bittencourt et al., 2016). Después de una lesión, se observan déficits corticales que afectan funciones esenciales del control motor, como la respuesta inhibitoria, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva (Begalle et al., 2012; Kotsifaki, Whiteley et al., 2021; Larsen et al., 2015; Swanik et al., 2007). Estos déficits repercuten en la capacidad del deportista para adaptarse a un entorno cambiante y afectando al rendimiento en actividades dinámicas y en la seguridad del atleta (Swanik et al., 2007). Por ello en los años recientes, ha surgido una nueva línea de investigación que se enfoca en la etiología lesiva y su relación con la neurocognición. (Bertozzi et al., 2023; Brochin et al., 2023; Gokeler, Neuhaus, Benjaminse, Grooms, & Baumeister, 2019; Herman & Barth, 2016; Herman, Zaremski, Vincent, & Vincent, 2015; Mas-Mas, Arnau Mollá, & Romero Naranjo, 2023; Piskin, Benjaminse, Dimitrakis, & Gokeler, 2021; Swanik C, 2015; Swanik et al., 2007). La literatura sugiere que los estímulos cognitivos tienen un rol importante en la coordinación, rendimiento deportivo y en el mecanismo lesivo. El rendimiento cognitivo se caracteriza por la capacidad para desempeñarse en tareas que involucran aspectos sensoriales, como la atención visual, el autocontrol y la agilidad, y su interacción con el rendimiento motor fino (Herman et al., 2015). Además, abarca la relación entre el tiempo de reacción y la velocidad de la tarea, así como la ejecución en doble tarea. Todas estas interacciones influyen en la habilidad motora.

La relación entre la cognición y el movimiento como un conjunto no está clara, ya que cuando hay un componente cognitivo en un movimiento voluntario, este deja de ser automático (McIsaac, Lamberg, & Muratori, 2015). La cognición está intrínsecamente ligada al movimiento, requiriendo atención y memoria, lo que significa que ambos dominios se influyen mutuamente. La dinámica se complica aún más cuando se incorporan más actividades, como sucede el deporte. Además, resulta difícil determinar el impacto que una actividad tiene sobre la otra. La dependencia cognitiva se

manifiesta a través de la inhibición artrogénica (Hopkins & Ingersoll, 2000; Norte, Rush, & Sherman, 2021; Rice & McNair, 2010; Young, 1993) en los músculos periarticulares de la rodilla siendo observada tanto en el déficit en la función muscular como en la atrofia. Esto resalta la relevancia de la función cognitiva en la regulación muscular, siendo una herramienta a tener en cuenta para mejorar la capacidad profiláctica sobre la articulación.

La doble tarea consiste en realizar dos actividades simultáneamente, y ambas pueden medirse de forma independiente (Mclsaac et al., 2015; Ness, Zimney, Schweinle, & Cleland, 2020). Por ejemplo, realizar una sentadilla mientras se recita el abecedario. La primera tarea independiente sería el ejercicio en sí mismo, mientras que la segunda sería el proceso cognitivo de recitar el abecedario. Esta combinación de tareas puede llegar a tener una bajada de rendimiento (Grooms et al., 2023). Existen varios tipos de tareas cognitivas que podamos incorporar al estímulo motor, como pueden ser ejercicios numéricos (sumas, restas, etc.), las semánticas (recitar abecedarios, saltarse letras del abecedario, etc) y las denominadas tareas Go/No-Go (Mclsaac et al., 2015; Raud, Westerhausen, Dooley, & Huster, 2020). La tarea Go/No-Go implica que el sujeto debe realizar una tarea motora específica en respuesta a un estímulo externo lo más rápido posible, ya sea para iniciarla o detenerla.

Incorporar estímulos cognitivos a las pruebas propuestas del RTP en una reconstrucción de ligamento cruzado anterior (LCAr) se ha estudiado en multitud de ocasiones (Grooms et al., 2023; Herman & Barth, 2016; Nagamatsu et al., 2016; Piskin et al., 2021; Simon, Millikan, Yom, & Grooms, 2020; Walker, Brunst, Chaput, Wohl, & Grooms, 2021), obteniendo resultados diferentes con respecto a las diferentes pruebas convencionales ejecutadas (Brochin et al., 2023). La interacción entre estos elementos y el procesamiento de información del entorno desempeña un papel fundamental en la adaptación de los patrones motores a las demandas específicas del medio. La inclusión de la incertidumbre tanto en el proceso de entrenamiento como en las evaluaciones añade una carga cognitiva adicional debido a la necesidad de gestionar la variabilidad. Al aplicar estímulos cognitivos estamos incorporando parámetros de medidas indirectas de rendimiento cerebral como la mejora la velocidad de reacción, el procesamiento veloz, la memoria visual (Swanik et al., 2007). Se plantea la hipótesis de que integrar una doble tarea en el entrenamiento después de un LCAr contribuirá significativamente a mejorar los niveles de fuerza de los músculos periarticulares de la rodilla en comparación con un entrenamiento de fuerza tradicional. El objetivo de esta investigación fue, evaluar la eficacia sobre la fuerza de la musculatura periarticular de rodilla de un programa de entrenamiento de fuerza tradicional frente a un entrenamiento de fuerza con toma de decisión en jugadores de deportes colectivos con lesión de LCAr.

## Material y método

Se ha llevado a cabo un ensayo clínico aleatorizado, controlado, simple ciego. Dieciocho deportistas federados de ambos sexos con edades comprendidas entre los 18 y 40 años fueron reclutados para este estudio. En la tabla 1 se puede observar las características de la muestra. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: presentar una LCAr; estar federado y participar activamente en deportes que impliquen cambios de ritmo y dirección; haber sido sometido a cirugía al menos un año antes del inicio de la intervención; y garantizar una asistencia mínima del 90% a las sesiones programadas. Por otro lado, los criterios de exclusión incluyeron: la presencia de lesiones en el ligamento cruzado posterior, lesiones meniscales, fracturas óseas, luxaciones o daño severo en el cartílago; así como el abandono de la práctica deportiva federada. Se recibió el consentimiento informado por escrito de todos los sujetos después de una explicación detallada sobre los procedimientos, beneficios y riesgos potenciales con esta investigación. El diseño y el protocolo del estudio se adhirieron a los principios de la Declaración de Helsinki y fueron aprobados por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad (2021/475). Se conformaron dos grupos experimentales para el estudio. El Grupo 1 (G1) realizó un entrenamiento de fuerza tradicional, en el cual los participantes iniciaban las repeticiones a su propio ritmo, sin estímulos externos, complementado con una serie adicional enfocada en la corrección de la asimetría. Por otro lado, el Grupo 2 (G2) implementó un entrenamiento de fuerza con doble tarea, donde los participantes debían iniciar cada repetición en respuesta a un estímulo externo, añadiendo igualmente una serie

adicional para abordar las asimetrías. La asignación aleatoria se realizó en proporción 1:1 para G1 y G2 en una hoja de Excel anónima. Durante el período de intervención, 7 sujetos abandonaron el estudio por diversos motivos: 3 debido a lesiones en otras articulaciones y 4 por falta de asistencia. Es importante destacar que ninguno de los abandonos estuvo relacionado con el protocolo de entrenamiento, ya que requería la existencia durante 12 semanas. En total, 11 sujetos completaron la intervención.

**Tabla 1.** Características de los participantes. G1, grupo fuerza tradicional; G2 grupo fuerza con estímulo para iniciar la repetición.

	G1	G2
Edad, años	25,4 ± 3,8	27,1 ± 5,2
Mujeres: Hombres	50%:50%	34%:66%
Altura, centímetros	169,4 ± 10,3	176,1 ± 9,8
Masa corporal, kilogramos	65,5 ± 65,5	72,7 ± 10,1
Meses desde la cirugía	35,8 ± 6	45, 2 ± 26,9

## Evaluaciones

Las principales variables analizadas para este estudio han sido:

**Muscle Isometric Test (MIT)** (Meldrum, Cahalane, Conroy, Fitzgerald, & Hardiman, 2007): Se empleó un dinamómetro de laboratorio (Chronojump, Force Sensor Kit) para capturar la curva Fuerza Tiempo (F-T) con la extensión de rodilla a 90°; flexión de rodilla a 15°; flexión de rodilla a 90° y extensión cadera a 0° (Alvarenga, Kiyomoto, Martinez, Polesello, & Alves, 2019). La Máxima Contracción Isométrica Voluntaria (MVIC) fue medida en Newtons. Las contracciones se ejecutaron con la instrucción de "lo más rápido y fuerte posible cuando aparezca el color previamente asignado", tuvieron una duración de 5 segundos, seguidas de períodos de descanso de 15 a 20 segundos (Maffiuletti et al., 2016). La producción de fuerza fue iniciada mediante un Power Point (PPT) programado con colores asignados al azar, previamente especificando el color de inicio. Se realizaron 3 repeticiones por prueba, calculando la media. La pantalla utilizada tenía unas medidas de 24 cm x 17 cm y se colocó a dos metros del participante. En los ejercicios que no se podía respetar los 2 metros, como es el caso de los que está en tendido prono, el participante tenía colocada la Tablet a una distancia más cercana, sin producir interferencias en la realización de las pruebas.

**Test de Saltos:** Los sujetos realizaron 2 test de salto. El primer test utilizado fue un salto a una pierna con contramovimiento (CMJu) con las manos los costados (Gustavsson et al., 2006). El primer salto lo realizaron con el miembro inferior correspondiente a la rodilla no intervenida quirúrgicamente, continuando con el miembro que había sufrido dicha intervención. Se realizaron los tres saltos seguidos con un hemicuerpo y a continuación otros tres con el otro. Los saltos se realizaron sobre una plataforma de saltos (Chronojump, plataforma de contacto). Se registró la longitud de cada salto, calculando la media.

El salto horizontal utilizado ha sido el salto medial a distancia de 90° (MDH) (Dingenen, Truijen, Bellemans, & Gokeler, 2019). Se instruyó a los participantes para que realizaran un salto horizontal girando hacia medial anzando la mayor distancia posible, acabando con el antepié colocado hacia donde se realizó el salto y las manos en los costados en todo momento. Después del salto, el protocolo establece que el sujeto debe mantener durante 2 segundos la posición, y el evaluador midió la distancia utilizando una cinta dispuesta en la perpendicular del talón. Comenzaron con la rodilla no intervenida quirúrgicamente, seguida de la pierna lesionada. Se registró la longitud de cada salto desde el inicio al talón del participante, calculando la media.

Se enfatizó la importancia de realizar los dos saltos de la manera "más rápida y alta posible tras la señalización lumínica preestablecida". Las mediciones obtenidas en ambos saltos se expresaron en centímetros. Todos los saltos

fueron iniciados mediante un Power Point (PPT) programado con colores asignados al azar, previamente especificando el color de inicio. La pantalla utilizada tenía unas medidas de 24 cm x 17 cm y se colocó a dos metros del participante.

**Tabla 2.** Protocolo de Evaluación para las Pruebas de MIT y de Salto de G1 y G2 (adaptado de Lahti et al., 2020). 1: Cadena anterior rodilla; 2: Cadena posterior cadera; 3 y 4: Cadena posterior rodilla. 5: Salto a una pierna con contramovimiento; 6: Salto medial por distancia.

Pruebas	Instrucción	15% asimetría	
<b>Test MIT</b>	Extensión rodilla	Aplica la máxima fuerza y lo más rápido posible cuando el color verde aparezca	Una serie más en el entrenamiento sólo con la pierna afectada
	Flexión rodilla 90°	Aplica la máxima fuerza y lo más rápido posible cuando el color verde aparezca	Una serie más en el entrenamiento sólo con la pierna afectada
	Flexión rodilla 15°	Aplica la máxima fuerza y lo más rápido posible cuando el color verde aparezca	Una serie más en el entrenamiento sólo con la pierna afectada
	Extensión cadera	Aplica la máxima fuerza y lo más rápido posible cuando el color verde aparezca	Una serie más en el entrenamiento sólo con la pierna afectada
<b>Test de salto</b>	Salto vertical unilateral	Salta lo más alto posible cuando aparezca el color rojo	
	Medial hop a distancia	Salta lo más lejos posible cuando aparezca el color amarillo	

## Intervención

La intervención constó de 24 sesiones de entrenamiento dirigida por un Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en un centro de entrenamiento deportivo. El programa de intervención comenzó con un calentamiento de 20 minutos (incluidos 10 minutos de estiramiento estático activo y ejercicios de las extremidades inferiores) y una parte principal con una duración de entre 30-40 minutos para ambos grupos. Se han diseñado ejercicios para la cadena anterior con extensión de rodilla, entrenamientos de cadena posterior con extensión de cadera y flexión de rodilla (ver Tabla 2). Para la selección del protocolo de ejercicios realizamos una selección de tres ejercicios para cada grupo muscular, en el que había siempre un ejercicio bilateral y dos unilaterales (Lahti et al., 2020). En el caso de presentar asimetrías superiores al 15% entre la pierna lesionada y la rodilla no intervenida quirúrgicamente en las pruebas MIT, fueron requeridos a realizar una única serie adicional de ejercicios focalizados en el grupo muscular asociado a la asimetría detectada (Barber-Westin & Noyes, 2011; Meldrum et al., 2007). La asimetría se determinó mediante el Limb Symmetry index (LSI) (Gustavsson et al., 2006), mostrando así las diferencias entre miembros y estableciendo de forma cuantitativa cómo se presenta dicha desigualdad. El LSI se calculó mediante la siguiente fórmula:  $LSI = (\text{Valor de la extremidad intervenida quirúrgicamente} / \text{valor de la extremidad sana}) \times 100$ .

Para ajustar la carga para cada participante y así optimizar el estímulo del entrenamiento el participante detuvo la serie cuando quedaban 2 repeticiones para alcanzar el fallo muscular (Helms, Cronin, Storey, & Zourdos, 2016). Los participantes fueron instruidos para finalizar la serie según el protocolo. Este método implica que la carga de entrenamiento se cuantifica según las repeticiones que un participante podría realizar antes de llegar al fallo muscular. Para el entrenamiento centrado en la corrección de las asimetrías se han diseñado sesiones separadas, y organizadas en función de la necesidad individual de cada participante. Todos los sujetos tenían experiencia en el entrenamiento avanzado de fuerza, ya que podían hacer todos los ejercicios con la técnica idónea. Se elaboraron ejercicios adicionales diseñados para fortalecer los grupos musculares asociados a las asimetrías identificadas (pruebas MIT). La intervención diseñada tuvo una duración de 12 semanas (ver Tabla 2), con tres sesiones semanales de 30-40 minutos de duración. La primera y última semana se realizaron las valoraciones.

Se realizaron dos grupos de trabajo; el G1 realizó el trabajo de fuerza tradicional. El G2 realizó el mismo entrenamiento que el G1, pero con la adición de un estímulo externo para iniciar cada repetición, integrando así un componente de doble tarea. Se utilizó un dispositivo PPT que proyectaba colores previamente asignados a cada pierna o tipo de acción.

El procedimiento fue el siguiente: cada color estaba asociado a una respuesta específica, como realizar el salto con la pierna derecha, la pierna izquierda o ambas piernas. Al proyectarse un color, el deportista debía identificarlo y ejecutar la acción correspondiente de forma inmediata, lo que implicaba un procesamiento cognitivo rápido antes de realizar el movimiento físico.

**Tabla 3.** Ejercicios y carga de entrenamiento para las sesiones.

<b>ENTRENAMIENTO CADENA ANTERIOR, EXTENSIÓN DE RODILLA</b>		
<b>GRADOS</b>	<b>Día 1: 2-3 series x 6-8 RPT</b>	<b>Día 2: 2-3 series x 6-8 RPT</b>
<b>0-60°</b>	Sentadilla	Sentadilla búlgara
<b>60°-90°</b>	Sentadilla unilateral	Lunge
<b>90°-110°</b>	Curl cuádriceps	Nórdico inverso
<b>ENTRENAMIENTO CADENA POSTERIOR, EXTENSIÓN CADERA</b>		
<b>GRADOS</b>	<b>Día 1: 2-3 series x 6-8 RPT</b>	<b>Día 2: 2-3 series x 6-8 RPT</b>
<b>0-60°</b>	Thruster cadera	Thruster cadera unilateral
<b>60°-90°</b>	Subir a banco bajo	60° hiperextensión GHD
<b>90°-110°</b>	Peso muerto romano unilateral	Subir a banco alto
<b>ENTRENAMIENTO CADENA POSTERIOR, EXTENSIÓN CADERA</b>		
<b>GRADOS</b>	<b>Día 1: 2-3 series x 6-8 RPT</b>	<b>Día 2: 2-3 series x 6-8 RPT</b>
<b>0-60°</b>	Banco Romano	Pull Rodilla con rodilla estirada
<b>60°-90°</b>	Nórdico	Slide unilateral
<b>90°-110°</b>	Tantrums supino alterno	Flexión rodilla prono

Abreviaturas: RPT: repeticiones.

### **Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados utilizando IBM SPSS Statistics para Windows, versión 23.0 (IBM Corp., Armonk, N.Y., EE. UU.). Las variables continuas se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar (SD). Debido a la ausencia de normalidad (prueba de Saphiro-Wilk), se ha seguido la vía no paramétrica. Para comparar entre los resultados antes y después de cada grupo, y para comparar la rodilla lesionada con la rodilla no intervenida quirúrgicamente de cada sujeto

en cada grupo, se utilizaron las pruebas de Signos y la prueba de Wilcoxon, debido a que son dos pruebas complementarias. Para comparar la situación inicial del miembro inferior de ambos grupos, se ha utilizado la prueba de Mann-Whitney. Todas las comparaciones entre grupos fueron de dos lados y se estableció un nivel de significancia estadística de  $p < 0.05$ .

## Resultados

La tabla 3 muestra la media de los valores de las pruebas realizadas a los participantes. Sin embargo, en los saltos no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los grupos, en el G1 se han registrado valores inferiores después de la intervención en la pierna no lesionada. En ambos grupos se observaron mejoras en las variables analizadas relacionadas con la fuerza, excepto en la extensión de rodilla lesionada en el G1. Estas mejoras fueron significativas en el G2 para la extensión de cadera ( $p=0.046$ ), así como para la flexión de rodilla a  $90^\circ$  ( $p=0.028$ ) y a  $15^\circ$  ( $p=0.046$ ) en la pierna lesionada. Además, se registraron diferencias significativas en la flexión de rodilla a  $90^\circ$  de la pierna no lesionada ( $p=0.028$ ). No se han encontrado diferencias significativas entre las situaciones iniciales entre ambas rodillas en ninguna de las variables del estudio.

**Tabla 4.** Valores de las pruebas realizadas al G1 y G2.

Test	G1		G2	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
<b>MIT. N</b>				
Extensión Cadera Lesionada	201.7 ± 66.1	238.5 ± 107.6	236.1 ± 57.8	339 ± 74.3* $p= 0.046$
Extensión Cadera No lesionada	202.6 ± 48.6	259 ± 139	244.4 ± 76.6	280.7 ± 70.8
Flexión Rodilla $90^\circ$ Lesionada	88.0 ± 20.1	103.4 ± 21.2* $p= 0.028$	110,9 ± 23,7	133.8 ± 13.6* $p= 0.028$
Flexión Rodilla $90^\circ$ no Lesionada	156.0 ± 31.2	156.3 ± 36.1	153.8 ± 24.6	172,8 ± 39.4* $p= 0.116$
Flexión Rodilla $15^\circ$ Lesionada	188.6 ± 34.6	221.4 ± 63.5	222 ± 73.4	292.6 ± 67.4* $p= 0.028$
Flexión Rodilla $15^\circ$ no Lesionada	213.1 ± 40.6	221.1 ± 55.4	235.8 ± 81.5	271 ± 54.1
Extensión Rodilla Lesionada	323.7 ± 64	308.6 ± 95.5	423.2 ± 126.8	454.2 ± 101.1
Extensión Rodilla no Lesionada	334.7 ± 66.5	343.5 ± 74.2	405.6 ± 168.4	461 ± 136.1
<b>Test de Salto. Cm</b>				
MHD Lesionada (cm)	88.5 ± 37.1	91.1 ± 33.6	109.6 ± 19.6	115.5 ± 20.1
MHD no Lesionada (cm)	99.3 ± 37.6	98.2 ± 34.9	111.9 ± 23.9	117.4 ± 18.9
CMJu Lesionada (cm)	10.3 ± 3.5	11.7 ± 5.2	12.6 ± 3.85	14.3 ± 3.1
CMJu no Lesionada (cm)	11.5 ± 4.2	10.2 ± 0.9	13.6 ± 3.99	15.1 ± 2.6

Abreviaturas: MIT= Muscle isometric test. G1= Grupo de entrenamiento de fuerza + 1 serie por asimetría. G2= Grupo de entrenamiento de fuerza + 1 serie por asimetría + doble tarea con toma de decisión. 2= Significación de la prueba de Wilcoxon ( $p < 0.05$ ); \*= Significación de la prueba de los signos ( $p < 0.05$ ). MHD = salto medial a distancia. CMJu = salto a una pierna con contramovimiento. Newtons = (N). Centímetros = (cm).

## Discusión

En el presente estudio, se identificaron mejoras significativas en la rodilla lesionada en las pruebas MIT en la extensión de cadera ( $p=0.046$ ), en la flexión de rodilla a  $90^\circ$  ( $p=0.028$ ) y en la flexión de rodilla a  $15^\circ$  ( $p=0.028$ ) comparándolo con G1. Los resultados resaltan la efectividad de incorporar estímulos cognitivos en la readaptación de rodilla, de acorde con investigaciones previas que realzan las demandas cognitivas en el rendimiento físico.

El incremento de la fuerza de los flexores de rodilla representa uno de los principales desafíos en la recuperación tras una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). En este artículo se evidencia una asimetría en este grupo muscular, probablemente influenciada por el tipo de cirugía realizada.

El déficit de fuerza en los isquiosurales es uno de los principales factores de riesgo de recaída de LCA, siendo más común que el déficit en la extensión de rodilla (Buckthorpe, 2021; Buckthorpe et al., 2020; Cristiani, Mikkelsen,

Forsssblad, Engström, & Stålman, 2019; Mouriño-Cabaleiro, Vila, Saavedra-García, & Fernández-Romero, 2023). La recuperación funcional es clave, ya que desempeña un papel fundamental en la estabilidad articular al tener capacidad para frenar la translación tibial cuando la rodilla se encuentra a los 15° de flexión (Mouriño-Cabaleiro et al., 2023).

Después de una lesión se manifiestan déficits corticales que afectan a variables cruciales para el control motor y el movimiento (Begalle et al., 2012; Kotsifaki, Whiteley et al., 2021; Larsen et al., 2015; Swanik et al., 2007). Este hecho produce una disminución en las habilidades cognitivas, desajustando el proceso de integración de los aspectos cognitivos, emocionales y motores. La discordancia produce errores motores a la hora de responder a las señales y situaciones variables del entorno (Swanik et al., 2007). La habilidad cognitiva alterada se observa en el movimiento de los lesionados, manifestándose en una disminución en la respuesta inhibitoria, interferencias en el control de la información, errores en la memoria de trabajo, atención y/o la flexibilidad cognitiva, y, por lo tanto, mostrando déficits en la producción de fuerza de la pierna intervenida (Herman et al., 2015).

Uno de los motivos que podría explicar las mejoras significativas observadas en el presente estudio es la incorporación de la doble tarea. Este enfoque no solo incrementa la producción de fuerza, sino que también potencia la activación muscular debido al aumento en la demanda cognitiva (Brochin et al., 2023; Burcal, Needle, Custer, & Rosen, 2019; Chaaban, Turner, & Padua, 2023; Piskin et al., 2021). La combinación de estímulos físicos y cognitivos favorece un mayor control neuromotor, lo que podría justificar los resultados significativos en la extensión de cadera y la flexión de rodilla a diferentes ángulos. Este incremento en la carga cognitiva genera una incertidumbre constante en la respuesta motora, ya que el sistema nervioso debe adaptarse y reaccionar a estímulos externos, lo que mantiene la atención focalizada y, a su vez, propicia una situación de riesgo para la articulación (Bittencourt et al., 2016). No obstante, la incertidumbre gradual que se presenta puede ayudar a restaurar tanto los aspectos cognitivos como el estado físico sin que se produzca un potencial riesgo (Piskin et al., 2021). Por lo tanto, añadir este tipo de estímulos puede contribuir a una mayor estabilización del sistema neuromuscular y a la reducción de los factores de riesgo asociados a la lesión (Bittencourt et al., 2016). Al presentar una tarea cognitiva visual, como la realizada por G2, se están entrenando áreas corticales como la corteza prefrontal, y en mayor medida, la corteza parietal posterior y la corteza occipital (Baddeley, 2012; Burcal et al., 2019). Estas áreas del cerebro son claves para la mejora de la marcha y el equilibrio. Sin embargo, el descenso en el rendimiento en determinados ejercicios puede deberse a que los participantes ponen mayor énfasis en el estímulo visual que en el propio ejercicio. Esto se produce por la competencia de los recursos de procesamiento visual entre la tarea motora y la cognitiva (Baddeley, 2012).

Smeets relacionó las respuestas musculares al realizar un descenso en escalón bajo diferentes condiciones de doble tarea, comparando sujetos con LCAr con un grupo sin lesiones (Smeets et al., 2021). El estudio concluyó que los sujetos con LCAr en la pierna lesionada mostraban una menor activación de los músculos vasto medial, vasto lateral y gastrocnemius realizando una actividad impredecible respecto a una actividad conocida. Además, al incrementar la carga cognitiva, los sujetos con LCAr mostraban una menor activación de los isquiosurales mediales y una co-contracción de todo el grupo muscular, obteniendo peores resultados en pruebas de estabilidad.

Respaldando esta hipótesis, una revisión sistemática sobre cómo afecta la doble tarea en diferentes articulaciones concluyó que la simbiosis entre la tarea física y la tarea cognitiva tiene implicaciones sobre el resultado final del ejercicio (Burcal et al., 2019). Los autores consideran que incorporar actividades cognitivas es interesante para mejorar el movimiento y las deficiencias cognitivas presentes, aunque resulte complejo valorar si existen compensaciones entre las tareas motoras y cognitivas. Estas conclusiones son coherentes con los resultados de nuestra intervención, ya que, si bien se han observado mejoras en los valores de fuerza, no podemos determinar con certeza si dichas mejoras se han producido a expensas de una reducción de las compensaciones motoras.

Por otro lado, Grooms señala que cuando la doble tarea reduce el rendimiento motor en más de un 10%, la actividad cognitiva está siendo demasiado desafiante (Grooms et al., 2023). En estos casos la doble tarea influye negativamente en la activación muscular, motivando un descenso del rendimiento para poder aportar seguridad a la articulación. Se ha comprobado que los atletas con peor rendimiento cognitivo muestran más factores de riesgo para la lesionarse del LCA, debido a su menor capacidad para gestionar la información y seleccionar respuestas adecuadas en situaciones de alta exigencia (Gokeler, McKeon, & Hoch, 2020; Herman & Barth, 2016; Swanik et al., 2007).

La doble tarea integra variables importantes tanto del rendimiento motor como del cognitivo como son la velocidad de reacción, el procesamiento de información, la atención y la concentración (Herman et al., 2015). La rapidez exigente, provocada por la incorporación del estímulo cognitivo, impacta directamente en los procesos perceptuales-motores, generando incertidumbre al no conocer la acción a realizar en la siguiente repetición (Gokeler et al., 2020). En los



deportes abiertos, donde los cambios de dirección son constantes, el mecanismo percepción-acción es crucial para evitar retrasos en la respuesta o errores que puedan derivar en gestos lesivos.

La mejora del control inhibitorio puede producir mejoras en la producción de fuerza de la rodilla lesionada (Gokeler et al., 2018, 2019, 2023; Piskin et al., 2021). La doble tarea Go/No-Go permite realizar un ejercicio, entrenando la anulación de una respuesta preparada (Gokeler et al., 2023; Janczyk & Huestegge, 2017; Raud et al., 2020). Gokeler y cols. (2023) señalan que la mayoría de las lesiones de LCA se producen por errores neurocognitivos en la toma de decisión. Según los autores, el 76% de las lesiones ocurren en el momento de realizar el gesto deportivo en un entorno variable. Durante la toma de decisión del propio deporte se producen errores a la hora de inhibir la respuesta motora y/o errores atencionales debido a que el sujeto está siguiendo visualmente el balón y respondiendo a los diferentes estímulos. Por lo tanto, incorporar la doble tarea, y más en concreto la Go/No-Go tiene como función mejorar el control inhibitorio.

El incremento de la capacidad de salto del G2, sin llegar a ser significativo, está en línea con otras intervenciones (Grooms et al., 2023; Simon et al., 2020), en las cuales se han observado diferencias significativas entre las pruebas convencionales y aquellas que involucraban una doble tarea. Simon et al. (2020) encontraron diferencias significativas al agregar un estímulo cognitivo durante las evaluaciones, especialmente en saltos más largos, como los saltos múltiples. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas al realizar un CMJu, posiblemente debido a la simplicidad del proceso de toma de decisiones a nivel cognitivo. Es plausible que la mejora observada en el G2 al incorporar entrenamiento en doble tarea se deba a la implicación de la atención, lo que podría motivar mejoras en la ejecución del salto.

No obstante, diferentes intervenciones han puesto en entredicho la fiabilidad de la altura de salto entre la rodilla no intervenida quirúrgicamente y la lesionada porque puede enmascarar déficits en otras variables importantes (Giesche et al., 2022; Grooms et al., 2023; Kotsifaki et al., 2020; Kotsifaki, Korakakis et al., 2021; Kotsifaki, Whiteley et al., 2021; Simon et al., 2020). Giesche et al. (2022) realizaron un estudio que comparaba la actividad cortical y diversos parámetros de estabilidad tanto en el despegue como en la recepción después de un salto, llevados a cabo en una tarea simple o en una doble tarea, en sujetos con LCA y sujetos sanos. Los resultados mostraban diferencias significativas en la actividad cortical de los sujetos lesionados con una mayor actividad en aspectos como la atención, orientación o rendimiento a pesar no haber presentado diferencias en las variables biomecánicas como es la altura del salto.

Otra razón podría estar vinculada al hecho de que, al agregar un estímulo cognitivo, la tarea se vuelve lo suficientemente compleja como para disminuir la producción motora, posiblemente como un mecanismo de protección de la articulación (Grooms et al., 2023). Además, en el presente estudio, a pesar de que se llevaron a cabo mediciones conforme al protocolo establecido, las participantes han empleado distintas técnicas tanto en la fase de despegue como en la fase de aterrizaje del salto contribuyendo con una mayor flexión de tronco, la pelvis en tilt anterior y una mayor flexión de cadera.

## Conclusiones

Se han observado mejorías en las pruebas MIT y en los saltos, pero es importante ser cautelosos al interpretar estos resultados debido al tamaño reducido de la muestra. No obstante, se han identificado mejoras significativas en la producción de fuerza en diversas pruebas MIT en el grupo que realizó un entrenamiento con tarea dual en comparación con el entrenamiento tradicional. La mejora de las demandas cognitiva y en el control inhibitorio pueden ser las responsables de las mejorías producidas. Las mejoras de aspectos como la atención, la velocidad de reacción, el procesamiento de información y la concentración conllevan a que el deportista reciba mejor la información del entorno. De este modo podrá integrar mejor la información y responder de manera más eficiente al ambiente variable.

La respuesta a la doble tarea puede tener efectos tanto positivos como negativos en el rendimiento. Cuando los efectos son positivos los participantes pueden utilizar la información para reducir las demandas de las tareas a una sola. Esto puede ser producido por la facilidad que produce la cognición en la tarea. Por otro lado, cuando la tarea tiene un efecto negativo es probablemente porque la tarea cognitiva está produciendo una demandada inhibitoria lo suficientemente compleja como para reducir la probabilidad de preparación anticipada (Janczyk & Huestegge, 2017). La incertidumbre presente entre en el terreno de juego por la propia tarea y el entorno obliga al participante a adaptarse continuamente y a suprimir respuestas automáticas en favor de respuestas adecuadas. Este desafío constante presente el entrenamiento es esencial para el entrenamiento del control inhibitorio, debido a que requiere la supresión de

respuesta premeditadas y fomenta la flexibilidad cognitiva y la capacidad de adaptarse continuamente a un estímulo externo.

### Limitaciones del estudio

En gran parte de las pruebas hemos visto como los participantes utilizaban estrategias diferentes con la rodilla lesionada y con la rodilla no intervenida quirúrgicamente. Además, hemos observado como alcanzaban la MVIC en momentos diferentes. Por ello, en futuras investigaciones se recomienda la valoración de la ratio de fuerza desarrollado y cuantificar el tiempo de retardo entre el inicio del estímulo externo y el momento en el que se inicia la producción de fuerza. Esta valoración supone una mejora cualitativa en la comprensión de este tipo de entrenamiento.

En este sentido, se sugiere una mayor investigación sobre la capacidad inhibitoria, siendo de vital interés el tiempo de respuesta entre el inicio del estímulo externo y el inicio de la producción de fuerza.

Por otro lado, los participantes mostraron niveles muy diferentes de recuperación, ya que alguno presentaba dolor recurrente en la articulación. En futuras intervenciones recomendamos que los participantes realicen un cuestionario sobre bienestar de la rodilla antes de empezar el protocolo. Además del dolor recurrente, los hallazgos han estado influidos por la duración del estudio, lo que ha conllevado a una elevada tasa de abandono.

### Aplicaciones prácticas.

El uso de la doble tarea es una herramienta interesante durante la recuperación de la lesión de LCA. Existen numerosas posibilidades a la hora de integrar la doble tarea dentro del entrenamiento, pero se recomienda tener en cuenta el objetivo, que ser valoradas y cuantificadas. Para su correcta aplicación se debe tener en cuenta tanto el tipo de ejercicio como la tarea cognitiva involucrada.

La tarea cognitiva se puede incorporar tanto al entrenamiento de fuerza, como al trabajo pliométrico. Según las preferencias del participante, se recomienda seleccionar el tipo de estímulo más adecuado, ya sea tareas semánticas, numéricas o respuestas a estímulos externos como los colores propuestos en la intervención.

Si el objetivo es incrementar la demanda cognitiva debemos seleccionar una tarea cognitiva que no descienda el rendimiento de la tarea total en menos de un 10% (Baddeley, 2012; Mclsaac et al., 2015). Sin embargo, si el objetivo es el entrenamiento del control inhibitorio, la sesión será más desafiante, ya que la mayor complejidad de la tarea puede propiciar la aparición de errores (Gokeler et al., 2023; Janczyk & Huestegge, 2017; Raud et al., 2020). En todo caso, resulta esencial tener presente la situación individual de cada lesionado para no generar situaciones de riesgo.

**Author Contributions:** “Conceptualización, AMC, HV, MASG, y JJFR, metodología, AMC, JJFR y MASG.; software, AMC, y MASG; validación, AMC, HV, MASG, y JJFR; análisis estadísticos, AMC, y MASG; investigación, AMC, HV, MASG, y JJFR; recursos, AMC; preparación de datos, AMC, y MASG; preparación del manuscrito, AMC, HV, y JJFR; redacción - revisión y edición, AMC, HV, MASG, y JJFR; visualización, AMC, HV, MASG, y JJFR; supervisión, HV, y JJFR. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

### Referencias

- Alvarenga, G., Kiyomoto, H. D., Martinez, E. C., Polesello, G., & Alves, V. L. dos S. (2019). Normative isometric hip muscle force values assessed by a manual dynamometer. *Acta Ortopedica Brasileira*, 27(2), 124–128. <https://doi.org/10.1590/1413-785220192702202596>
- Ardern, C. L., Webster, K. E., Taylor, N. F., & Feller, J. A. (2011, June). Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: A systematic review and meta-analysis of the state of play. *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 45, pp. 596–606. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.076364>
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-PSYCH-120710-100422>
- Bahr, R. (2016). Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will...: a critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), 776–780. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2016-096256>
- Barber-Westin, S. D., & Noyes, F. R. (2011). Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 27(12), 1697–1705. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.09.009>
- Begalle, R. L., DiStefano, L. J., Blackburn, T., & Padua, D. A. (2012). Quadriceps and hamstrings coactivation during common therapeutic exercises. *Journal of Athletic Training*, 47(4), 396–405. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.4.01>
- Bertozzi, F., Fischer, P. D., Hutchison, K. A., Zago, M., Sforza, C., & Monfort, S. M. (2023). Associations between cognitive function and ACL injury-related biomechanics: A systematic review. *Sports Health*. <https://doi.org/10.1177/19417381221146557>

- Bittencourt, N. F. N., Meeuwisse, W. H., Mendonça, L. D., Nettel-Aguirre, A., Ocarino, J. M., & Fonseca, S. T. (2016). Complex systems approach for sports injuries: Moving from risk factor identification to injury pattern recognition - Narrative review and new concept. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(21), 1309–1314. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2015-095850>
- Brochin, G., Stewart, A., Boone, T., Board, R., Astorino, T., Baker, J., ... Zhou, B. (2023). The need for neurocognitive tasks in ACL rehabilitation protocols: A critically appraised topic. *Official Research Journal of the American Society of Exercise Physiologists*, *26*(2).
- Buckthorpe, M. (2021, August 1). Recommendations for movement re-training after ACL reconstruction. *Sports Medicine*, Vol. 51, pp. 1601–1618. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01454-5>
- Buckthorpe, M., Danelon, F., La Rosa, G., Nanni, G., Stride, M., & Della Villa, F. (2020). Recommendations for hamstring function recovery after ACL reconstruction. *Sports Medicine*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01400-x>
- Burcal, C. J., Needle, A. R., Custer, L., & Rosen, A. B. (2019, August 1). The effects of cognitive loading on motor behavior in injured individuals: A systematic review. *Sports Medicine*, Vol. 49, pp. 1233–1253. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01116-7>
- Chaaban, C. R., Turner, J. A., & Padua, D. A. (2023). Think outside the box: Incorporating secondary cognitive tasks into return to sport testing after ACL reconstruction. *Frontiers in Sports and Active Living*, Vol. 4. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1089882>
- Cristiani, R., Mikkelsen, C., Forssblad, M., Engström, B., & Stålmán, A. (2019). Only one patient out of five achieves symmetrical knee function 6 months after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *27*(11), 3461–3470. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05396-4>
- Della Villa, F., Hägglund, M., Della Villa, S., Ekstrand, J., & Waldén, M. (2021). High rate of second ACL injury following ACL reconstruction in male professional footballers: An updated longitudinal analysis from 118 players in the UEFA Elite Club Injury Study. *British Journal of Sports Medicine*, *55*, 1350–1357. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103555>
- Dingenen, B., Truijien, J., Bellemans, J., & Gokeler, A. (2019). Test–retest reliability and discriminative ability of forward, medial and rotational single-leg hop tests. *Knee*, *26*(5), 978–987. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2019.06.010>
- Giesche, F., Vieluf, S., Wilke, J., Engeroff, T., Niederer, D., & Banzer, W. (2022). Cortical motor planning and biomechanical stability during unplanned jump landings in men with anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*, *57*(6), 547–556. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0544.20>
- Goes, R. A., Cossich, V. R. A., França, B. R., Campos, A. S., Souza, G. G. A., Bastos, R. D. C., & Neto, J. A. G. (2020). Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, *26*(6), 478–486. [https://doi.org/10.1590/1517-8692202026062019\\_0056](https://doi.org/10.1590/1517-8692202026062019_0056)
- Gokeler, A., McKeon, P. O., & Hoch, M. C. (2020). Shaping the Functional Task Environment in Sports Injury Rehabilitation: A Framework to Integrate Perceptual-Cognitive Training in Rehabilitation. *Athletic Training & Sports Health Care*, *12*(6), 283–292. <https://doi.org/10.3928/19425864-20201016-01>
- Gokeler, A., Neuhaus, D., Benjaminse, A., Grooms, D. R., & Baumeister, J. (2019, June 1). Principles of motor learning to support neuroplasticity after ACL injury: Implications for optimizing performance and reducing risk of second ACL injury. *Sports Medicine*, Vol. 49, pp. 853–865. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01058-0>
- Gokeler, A., Seil, R., Kerkhoffs, G., & Verhagen, E. (2018, December 1). A novel approach to enhance ACL injury prevention programs. *Journal of Experimental Orthopaedics*, Vol. 5. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1186/s40634-018-0137-5>
- Gokeler, A., Tosarelli, F., Buckthorpe, M., & Della Villa, F. (2023). Neurocognitive errors are common in non-contact ACL injuries in professional male soccer players. *Journal of Athletic Training*. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0209.22>
- Grooms, D. R., Chaput, M., Simon, J. E., Criss, C. R., Myer, G. D., & Diekfuss, J. A. (2023). Combining Neurocognitive and Functional Tests to Improve Return-to-Sport Decisions Following ACL Reconstruction. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, (8), 1–5. <https://doi.org/10.2519/jospt.2023.11489>
- Gustavsson, A., Neeter, C., Thomeé, P., Grävare Silbernagel, K., Augustsson, J., Thomeé, R., & Karlsson, J. (2006). A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *14*(8), 778–788. <https://doi.org/10.1007/s00167-006-0045-6>
- Helms, E. R., Cronin, J., Storey, A., & Zourdos, M. C. (2016). Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for Resistance Training. *Strength and Conditioning Journal*, *38*(4), 42–49. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000218>
- Herman, D. C., & Barth, J. T. (2016). Drop-Jump landing varies with baseline neurocognition: Implications for anterior cruciate ligament injury risk and prevention. *Am J Sports Med*, *44*(9), 2347–2353. <https://doi.org/10.1177/0363546516657338>
- Herman, D. C., Zaremski, J. L., Vincent, H. K., & Vincent, K. R. (2015). *Effect of Neurocognition and Concussion on Musculoskeletal Injury Risk*. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000157>
- Hopkins, J. T., & Ingersoll, C. D. (2000). Arthrogenic muscle inhibition: A limiting factor in joint rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation*, *9*(2), 135–159. <https://doi.org/10.1123/JSR.9.2.135>
- Janczyk, M., & Huestegge, L. (2017). Effects of a no-go Task 2 on Task 1 performance in dual - tasking: From benefits to costs. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *79*(3), 796–806. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1257-6>
- Kotsifaki, A., Korakakis, V., Graham-Smith, P., Sideris, V., & Whiteley, R. (2021). Vertical and Horizontal Hop Performance: Contributions of the Hip, Knee, and Ankle. *Sports Health*, *13*(2), 128–135. <https://doi.org/10.1177/1941738120976363>
- Kotsifaki, A., Korakakis, V., Whiteley, R., Van Rossom, S., & Jonkers, I. (2020, February 1). Measuring only hop distance during single leg hop testing is insufficient to detect deficits in knee function after ACL reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 54, pp. 139–153. BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099918>

- Kotsifaki, A., Whiteley, R., Van Rossom, S., Korakakis, V., Bahr, R., Sideris, V., ... Jonkers, I. (2021). Single leg hop for distance symmetry masks lower limb biomechanics: Time to discuss hop distance as decision criterion for return to sport after ACL reconstruction? *British Journal of Sports Medicine*, 56(5), 2499–256. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103677>
- Lahti, J., Mendiguchia, J., Ahtiainen, J., Anula, L., Kononen, T., Kujala, M., ... Morin, J. B. (2020). Multifactorial individualised programme for hamstring muscle injury risk reduction in professional football: protocol for a prospective cohort study. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000758. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000758>
- Larsen, J. B., Farup, J., Lind, M., & Dalgas, U. (2015). Muscle strength and functional performance is markedly impaired at the recommended time point for sport return after anterior cruciate ligament reconstruction in recreational athletes. *Human Movement Science*, 39, 73–87. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.10.008>
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016, June 1). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 116, pp. 1091–1116. Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>
- Mas-Mas, D., Arnau Mollá, A., & Romero Naranjo, F. (2023). Dual-task and movement: a bibliometric study based on high-impact search engines. *Retos*, 995–1009.
- Mclsaac, T. L., Lamberg, E. M., & Muratori, L. M. (2015). Building a framework for a dual task taxonomy. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/591475>
- Meldrum, D., Cahalane, E., Conroy, R., Fitzgerald, D., & Hardiman, O. (2007). Maximum voluntary isometric contraction: Reference values and clinical application. *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, 8(1), 47–55. <https://doi.org/10.1080/17482960601012491>
- Miguel, L., Pastrana, R., María, J., Egido, G., & Zafra, A. O. (2024). Psychological aspects associated with ACL rehabilitation and recurrence in football players: a systematic review Aspectos psicológicos asociados a la rehabilitación del LCA y las recidivas en futbolistas: una revisión sistemática. In *Retos* (Vol. 55). Retrieved from <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/index>
- Mouriño-Cabaleiro, A., Vila, H., Saavedra-García, M. A., & Fernández-Romero, J. J. (2023). Los músculos isquiosurales y su capacidad profiláctica sobre la translación tibial anterior en lesión de ligamento cruzado anterior: Una revisión sistemática. In *Int. J. Morphol* (Vol. 41).
- Nagamatsu, L. S., Liang Hsu, C., Voss, M. W., Chan, A., Bolandzadeh, N., Handy, T. C., ... Gilles Kemoun, F. (2016). *The Neurocognitive Basis for Impaired Dual-Task Performance in Senior Fallers*. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00020>
- Ness, B. M., Zimney, K., Schweinle, W. E., & Cleland, J. A. (2020). Dual task assessment implications for anterior cruciate ligament injury: A systematic review. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(6), 840–855. <https://doi.org/10.26603/ijsp20200840>
- Norte, G., Rush, J., & Sherman, D. (2021). Arthrogenic Muscle Inhibition: Best Evidence, Mechanisms, and Theory for Treating the Unseen in Clinical Rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation*, 1–19. <https://doi.org/10.1123/jsr.2021-0139>
- Paterno, M. V., Huang, B., Thomas, S., Hewett, T. E., & Schmitt, L. C. (2017). Clinical Factors That Predict a Second ACL Injury After ACL Reconstruction and Return to Sport: Preliminary Development of a Clinical Decision Algorithm. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 5(12). <https://doi.org/10.1177/2325967117745279>
- Piskin, D., Benjaminse, A., Dimitrakis, P., & Gokeler, A. (2021). Neurocognitive and neurophysiological functions related to ACL injury: A framework for neurocognitive approaches in rehabilitation and return-to-sports tests. *Sports Health*. <https://doi.org/10.1177/19417381211029265>
- Raud, L., Westerhausen, R., Dooley, N., & Huster, R. J. (2020). Differences in unity: The go/no-go and stop signal tasks rely on different mechanisms. *NeuroImage*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116582>
- Rice, D. A., & McNair, P. J. (2010, December). Quadriceps Arthrogenic Muscle Inhibition: Neural Mechanisms and Treatment Perspectives. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, Vol. 40, pp. 250–266. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2009.10.001>
- Shrier, I. (2015). *Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making*. <https://doi.org/10.1136/bjsports>
- Simon, J. E., Millikan, N., Yom, J., & Grooms, D. R. (2020). Neurocognitive challenged hops reduced functional performance relative to traditional hop testing. *Physical Therapy in Sport*, 41, 97–102. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.12.002>
- Smeets, A., Verschueren, S., Staes, F., Vandenneucker, H., Claes, S., & Vanrenterghem, J. (2021). Athletes with an ACL reconstruction show a different neuromuscular response to environmental challenges compared to uninjured athletes. *Gait and Posture*, 83, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.09.032>
- Swanik C. (2015). Brains and Sprains: The Brain's Role in Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Journal of Athletic Training*, 50(10), 1100–1102. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.10.08>
- Swanik, C. B., Covassin, T., Stearne, D. J., & Schatz, P. (2007). The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 35(6), 943–948. <https://doi.org/10.1177/0363546507299532>
- Walker, J. M., Brunst, C. L., Chaput, M., Wohl, T. R., & Grooms, D. R. (2021). *Integrating neurocognitive challenges into injury prevention training: A clinical commentary*. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.05.005>
- Young, A. (1993). Current issues in arthrogenous inhibition. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 52(11), 829. <https://doi.org/10.1136/ARD.52.11.829>
- Zaffagnini, S., Grassi, A., Muccioli, G. M. M., Tsapralis, K., Ricci, M., Bragonzoni, L., ... Marcacci, M. (2014). Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players. *Knee*, 21(3), 731–735. <https://doi.org/10.1016/J.KNEE.2014.02.005>