

**EFICACIA DEL
ENTRENAMIENTO
NEUROMUSCULAR EN
LA READAPTACIÓN
POST QUIRÚRGICA DE
LCA EN DEPORTISTAS**

**GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD
FÍSICA Y DEL DEPORTE**

FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD
FÍSICA Y EL DEPORTE



Realizado por: Candela Álvarez Guede

Nº Expediente:

Grupo TFG: MIX61

Año Académico: 2021-2022

Tutor/a: Nicolás de la Plata Caballero

Área: Revisión bibliográfica

RESUMEN

Introducción: La rotura de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más comunes en el deporte, especialmente en aquellos con predominancia de maniobras dinámicas y explosivas unipodales. Generalmente, los deportistas se someten a una cirugía reconstructiva, con el objetivo de recuperar la estabilidad articular. Sin embargo, la reciente bibliografía evidencia la existencia de déficits biomecánicos en tareas como la marcha, la carrera o los aterrizajes, incluso una vez superados satisfactoriamente los criterios para volver al deporte, demostrando la necesidad de protocolos de readaptación globales, que incidan a nivel del sistema nervioso central. Por ello, el uso en deportistas del entrenamiento neuromuscular en la readaptación post quirúrgica del LCA puede resultar beneficioso.

Objetivos: Determinar la eficacia del entrenamiento neuromuscular sobre deportistas en la readaptación post quirúrgica de LCA, así como su influencia sobre la biomecánica en aterrizajes unipodales y conocer los protocolos empleados actualmente.

Metodología: Se realizó una revisión sistemática en las siguientes plataformas: Medline Complete, SPORTDiscus with Full Text, E-Journals, CINAHL with Full Text, Rehabilitation & Sports Medicine Source, a través de la base de datos de la UEM.

Resultados: Los resultados muestran los principales ejercicios empleados en el entrenamiento neuromuscular, y evidencian la eficacia del mismo, incidiendo positivamente sobre la biomecánica de los aterrizajes unipodales.

Conclusión: El uso del entrenamiento neuromuscular en la readaptación post quirúrgica de LCA favorece la recuperación global de los deportistas.

Palabras clave: Entrenamiento Neuromuscular, Reconstrucción de Ligamento Cruzado Anterior.

ABSTRACT

Introduction: Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is one of the most common injuries in sports, especially in those with predominance of dynamic and explosive unipodal maneuvers. Generally, athletes undergo reconstructive surgery, with the aim of restoring the stability of the joint. However, recent literature shows the existence of biomechanical deficits in common task such as walking, running or landis, even once the criteria for return to sport (RTP) have been satisfactorily met, demonstrating the need of global readaptation protocols that affect the central nervous system. Therefore, the use of neuromuscular training in athletes in the post-surgical readaptation of the ACL may be beneficial.

Objectives: To determine the efficacy of neuromuscular training on athletes in the post-surgical readaptation of ACL, as well as its influence on biomechanics in single legged landings, and to know the protocols currently used.

Methodology: A systematic review was carried out in the following platforms: Medline Complete, SPORTDiscus with Full Text, E-Journals, CINAHL with Full Text, Rehabilitation & Sports Medicine Source, through the UEM database.

Results: The results show the main exercises used in neuromuscular training, and evidence of its efficacy, positively affecting the biomechanics of single legged landings.

Conclusion: The use of neuromuscular training in the post-surgical readaptation of ACL supports the global recovery of the athletes.

Key words: Neuromuscular Training, Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivo específico.....	3
3 Metodología.....	4
3.1 Diseño.....	4
3.2 Estrategia de búsqueda.....	4
3.3 Criterios de selección.....	4
3.4 Diagrama de flujo.....	5
4 Resultados.....	7
4.1 Cuadro resumen de los artículos empleados.....	7
4.2 Resumen de los artículos empleados.....	10
5 Discusión.....	31
5.1 Eficacia del entrenamiento neuromuscular.....	31
5.2 Biomecánica del aterrizaje unipodal.....	32
5.3 Entrenamiento neuromuscular actual en readaptación de LCA..	33
6 Futuras líneas.....	35
7 Conclusiones.....	36
8 Referencias.....	37
9 Anexos.....	40

Índice de tablas

1. Tabla 1. <i>Cuadro resumen de artículos empleados</i>	7
2. Tabla 2. <i>Protocolo de entrenamiento neuromuscular</i>	13
3. Tabla 3. <i>Ejemplo de sesión</i>	15
4. Tabla 4. <i>Protocolo de progresión de entrenamiento</i>	16
5. Tabla 5. <i>Detalles del programa neuromuscular</i>	19
6. Tabla 6. <i>Resultados obtenidos pre y post ennto grupo ACLR</i>	21
7. Tabla 7. <i>Protocolo de entrenamiento neuromuscular</i>	25
8. Tabla 8. <i>Protocolo de entrenamiento del grupo control</i>	28
9. Tabla 9. <i>Protocolo de entrenamiento del grupo experimental</i>	29
10. Tabla 10. <i>Resultados obtenidos pre y post entrenamiento</i>	30

Índice de figuras

1. Figura 1. <i>Diagrama de flujo</i>	
2. Figura 2. <i>Comparación de resultados en vGRF en grupo ACLR y control</i>	22

1. Introducción

La rotura de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más comunes en el deporte, suponiendo un gran coste físico, emocional y financiero para los deportistas y clubes. (Di Stasi et al., 2013).

Este tipo de lesión es especialmente frecuente en aquellos deportes que realizan maniobras dinámicas y explosivas unipodales, tales como saltos, aterrizajes, pivotes o cambios de dirección; siendo el principal mecanismo lesional el aterrizaje unipodal con la rodilla en extensión seguido de un colapso medial en valgo (Nageli et al., 2019a), produciéndose en la mayoría de los casos en acciones sin contacto (Nageli et al., 2019b).

De forma habitual, los deportistas se someten a una cirugía reconstructiva del ligamento, con el objetivo de restablecer la estabilidad articular (Soussi et al., 2011).

Anteriormente, se consideraba una lesión meramente fisiológica, por lo que la rehabilitación y readaptación post-quirúrgica se centraba simplemente en promover la curación del tejido lesionado y la musculatura adyacente. Sin embargo, en la actualidad, la bibliografía científica evidencia que esta lesión supone una afectación a nivel global, alterando el sistema nervioso central (SNC) (Grooms et al., 2017).

Estos cambios en el SNC se deben a la presencia de mecanorreceptores en el ligamento, como los receptores de Ruffini, Paccini, Golgi, terminaciones nerviosas libres, etc (Nyland et al., 2017).

La rotura del LCA produce la pérdida de mecanorreceptores; los cuales, unidos a la inflamación, el derrame articular, dolor, inestabilidad y compensaciones propias de la lesión, da lugar a una alteración en las aferencias que llegan al SNC (Grooms et al., 2017). Este mecanismo, a su vez, producirá un cambio en el mapa cortical del cerebro, lo cual modificará las eferencias, el plan motor, causando distintas variaciones cinéticas, cinemáticas, biomecánicas, etc, que supondrán el automatismo de compensaciones por parte del deportista.

A su vez, la reciente evidencia muestra cómo estas compensaciones se mantienen a lo largo de los años, pese a haber recuperado la funcionalidad de la rodilla, lo cual puede influir negativamente en la estabilidad postural y el control neuromuscular del miembro inferior (MMII) (Ghaderi et al. 2020).

Ghaderi et al. (2021) afirma la existencia de alteraciones biomecánicas en los aterrizajes tales como la disminución de los ángulos de flexión de cadera y rodilla, el aumento de la fuerza de reacción del suelo y de la abducción de rodilla, dando lugar a un valgo dinámico de la misma.

Asimismo, Di Stasi et al. (2013) considera como déficits neuromusculares comunes a la reconstrucción de LCA (ACLR) la debilidad de cuádriceps y de isquiotibiales (estos últimos fundamentales en la prevención de lesiones, evitando el desplazamiento anterior de la tibia), y las asimetrías cinéticas y cinemáticas de rodilla y cadera en tareas básicas como la marcha, así como aquellas relacionadas con el deporte, como saltos y aterrizajes.

Del mismo modo, Elias et al. (2018) expone la importancia del aumento del índice de co-contracción de cuádriceps/isquiotibiales en tareas de aterrizaje posterior a la cirugía reconstructiva de LCA, dando lugar a una menor absorción de fuerza por parte de la musculatura y, por ende, produciendo un aterrizaje rígido, el cual tiene un impacto negativo sobre el cartílago articular, pudiendo desencadenar artrosis temprana (10-15 años posteriores a la cirugía).

En la actualidad, es conocido que dichos déficits de control neuromuscular, tanto de MMII, como de estabilidad de tronco y musculatura central (CORE), producen una alteración en la dirección de las fuerzas que absorbe la articulación de la rodilla (Nageli et al., 2018), aumentando significativamente, junto a otros factores intrínsecos y extrínsecos, el riesgo de lesión de LCA. Además, estos déficits se producen de forma bilateral.

Todo ello da lugar a una vuelta al deporte (RTP) en la que un alto porcentaje de los atletas son incapaces de recuperar su nivel previo a la lesión; tal y como muestra Ghaderi et al. (2021), donde tan solo el 65% de los deportistas consiguen un RTP satisfactorio tras 3 años y medio posteriores a la reconstrucción de LCA,

de los cuales, a los 7 años, solo continuarán al mismo nivel de competición un 36%.

Además, existe un alto riesgo de recidiva, pudiendo alcanzar valores de hasta el 29% (Ghaderi et al., 2021), el cual se incrementa en deportistas jóvenes, menores de 20 años (Nyland et al., 2020), tanto en la rodilla homolateral como contralateral (7% y 8%, respectivamente).

Como consecuencia, surge la necesidad de una readaptación global, que permita incidir sobre las aferencias que llegan al SNC, con el objetivo de lograr un adecuado output motor y normalizar la biomecánica previa a la lesión.

Para ello, la reciente evidencia posiciona al entrenamiento neuromuscular como una herramienta efectiva en la prevención de lesiones de LCA (Di Stasi et al., 2013).

El entrenamiento neuromuscular se basa en ejercicios de fortalecimiento y potencia de MMII, pliometría, equilibrio y estabilidad de CORE y tronco, agilidad, y movimientos propios del deporte (cambios de dirección, velocidad, etc) (Ghaderi et al., 2021).

Asimismo, Ghaderi et al. (2020) lo considera un elemento relevante en la readaptación propioceptiva de la rodilla, ya que los ejercicios se realizan con un alto grado de atención en la posición y el movimiento del tronco y MMII.

Este trabajo surge con el objetivo de revisar la última bibliografía con respecto al entrenamiento neuromuscular y valorar su papel en la prevención de segunda lesión de ligamento cruzado anterior.

2. Objetivos

- Objetivo principal:
Determinar la eficacia del entrenamiento neuromuscular sobre deportistas en la readaptación post quirúrgica de LCA.
- Objetivos secundarios:
 - o Conocer la influencia del entrenamiento neuromuscular sobre la biomecánica de los aterrizajes unipodales en deportistas ACLR.

- Indagar sobre los tipos de ejercicios de entrenamiento neuromuscular empleados en la actualidad (últimos diez años) en la readaptación post quirúrgica de LCA.

3. Metodología

3.1. Diseño

Se llevó a cabo una revisión sistemática de artículos electrónicos sobre el entrenamiento neuromuscular en sujetos con reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

3.2. Estrategia de búsqueda

Inicialmente, se realizó una búsqueda en la base de datos de la Universidad Europea de Madrid, concretamente en los recursos digitales de Ciencias de la Salud. Dentro de esta área, se seleccionaron las siguientes bases de datos: Medline Complete, SPORTDiscus with Full Text, E-Journals, CINAHL with Full Text, Rehabilitation & Sports Medicine Source. A continuación, con el objetivo de precisar la búsqueda, se seleccionó el método de búsqueda avanzada y se plantearon las siguientes palabras clave: “Neuromuscular training OR NMT” AND “ACL reconstruction OR anterior cruciate ligament reconstruction OR acl repair OR anterior cruciate ligament repair”. Asimismo, se seleccionó como delimitación aquellos artículos que poseen texto completo, así como los publicados entre los años 2011 y 2021; obteniendo con ello 328 resultados. Con el propósito de lograr un menor número de artículos, se limitó a publicaciones académicas y se eliminaron los repetidos, logrando un cómputo final de 213 documentos. Por último, para garantizar la fiabilidad de los mismos, se analizaron las referencias bibliográficas.

3.3. Criterios de selección

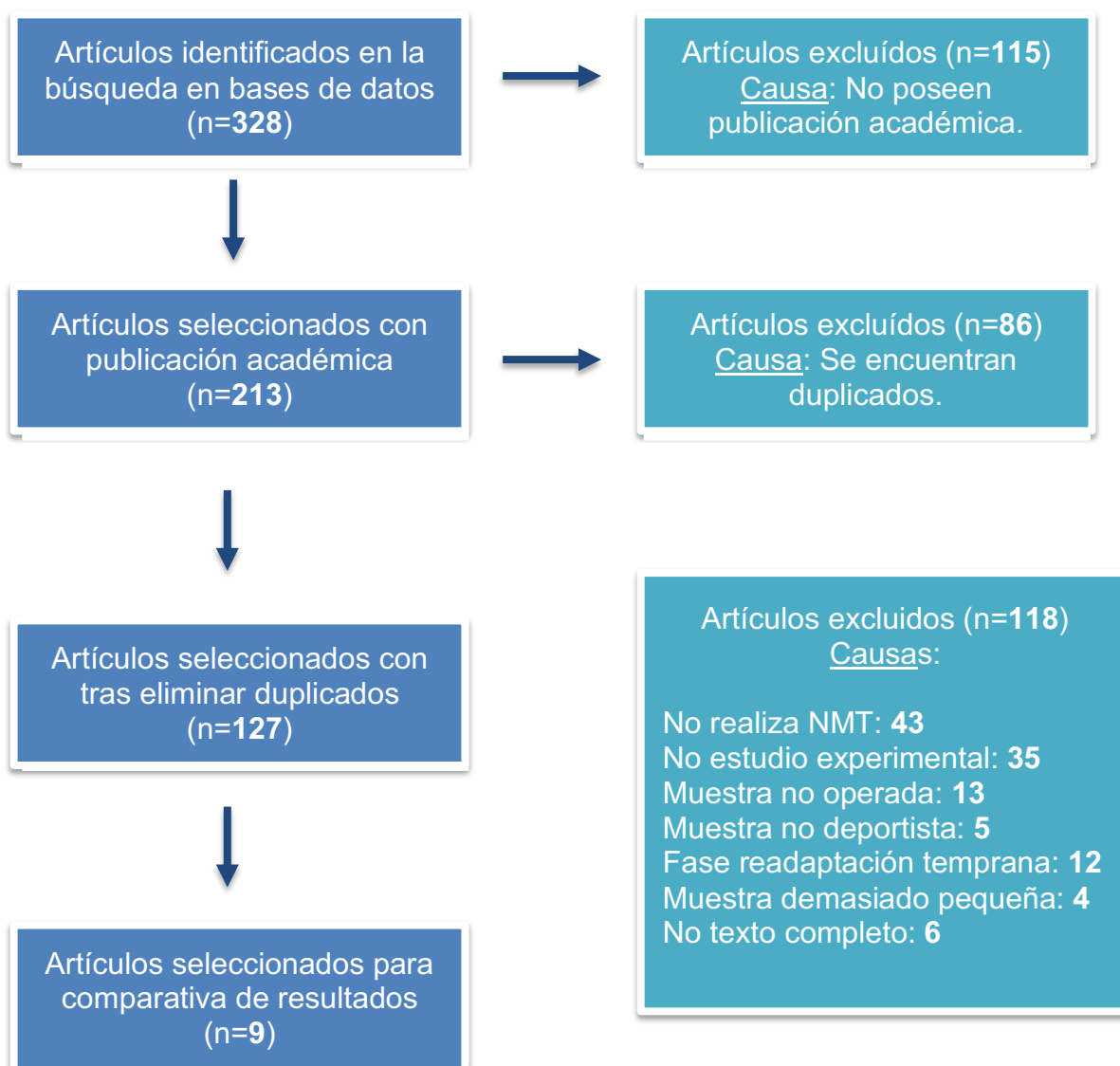
Se empleó como criterio de selección los artículos que presentasen como muestra a sujetos operados de ligamento cruzado anterior (LCA), buscando especialmente que se tratara de deportistas. Además, la intervención debía

estar basada en el uso de entrenamiento neuromuscular (NMT) durante un periodo mínimo de 5 semanas; y los resultados analizados debían mostrar la eficacia del mismo, bien de forma cuantitativa o cualitativa, aportando datos inmediatos al protocolo o tras un seguimiento de 1 o 2 años, evidenciando mejoras en la reducción del riesgo de segunda lesión de LCA. El principal criterio de exclusión fue que los artículos no presentaran ningún tipo de intervención ni entrenamiento neuromuscular, o que la muestra no se tratara de sujetos con cirugía reconstructiva de LCA.

3.4. Diagrama de flujo

Figura 1.

Diagrama de flujo.



4. Resultados

4.1. Cuadro resumen de los artículos

Tabla 1

Cuadro resumen de artículos empleados

AUTOR	AÑO	MÉTODO	POBLACIÓN	VARIABLES	INTERVENCIÓN	RESULTADOS
Arundale, A. J. H., Capin, J. J., Zarzycki, R., Smith, A. H., & Snyder-Mackler, L.	2018	Análisis secundario de ensayo clínico aleatorizado.	40 atletas hombres post ACLR. -Grupo experimental: 20 sujetos. -Grupo control: 20 sujetos.	Evaluación clínica (inflamación, rango articular sin dolor, valoraciones isocinéticas) y pruebas funcionales de return to play mediante test pliométricos.	10 sesiones de entrenamiento durante 5 semanas basadas en ejercicios de fuerza de MMII, pliometría y agilidad, con tareas propias del deporte individualizadas. Además, el grupo experimental realizó las mismas tareas con perturbación.	Tras un seguimiento de 1 y 2 años, el porcentaje de deportistas que recuperó su nivel previo a la lesión fue significativamente superior a la evidencia reciente con respecto al índice lesional. Además, tan solo se produjo en este tiempo una segunda lesión de LCA.
Elias, A. R. C., Harris, K. J., LaStayo, P. C., & Mizner, R. L.	2018	Ensayo clínico aleatorizado	19 atletas post ACLR con déficits biomecánicos. -9 atletas JTBW (entrenamiento pliométrico con peso corporal). -10 atletas JTBWS (entrenamiento pliométrico con soporte de peso corporal).	IKDC, single-legged hop for distance (SLHD), máxima contracción isométrica, estudio biomecánico en aterrizajes.	8 semanas de entrenamiento, mediante 2 sesiones semanales basado en ejercicios pliométricos, donde la diferencia principal entre grupos reside en el número de saltos totales durante la sesión, así como la intensidad.	Mejora de ambos grupos en la funcionalidad, distancia en los saltos, coordinación muscular y control neuromuscular durante los aterrizajes.

<p>Ghaderi, Mohammad, Letafatkar, A., Almonroeder, T. G., & Keyhani, S.</p>	<p>2020</p>	<p>Ensayo clínico aleatorizado</p>	<p>24 atletas post ACLR. -Grupo experimental: 12 sujetos. -Grupo control: 10 sujetos.</p>	<p>Valoración mediante dinamometría isocinética de la rodilla.</p>	<p>Grupo experimental: 8 semanas de entrenamiento neuromuscular basadas en 22 sesiones de entrenamiento de pliometría, mecánica de aterrizaje, fuerza de MMII, estabilidad, etc. Grupo control: Continúa con sus sesiones de entrenamiento habitual.</p>	<p>El grupo experimental logra una mejoría del 51% en los errores de posición de la articulación de la rodilla, mientras que el grupo control tan sólo mostró una disminución de los mismos en un 4%.</p>
<p>Ghaderi, M., Letafatkar, A., Thomas, A. C., & Keyhani, S</p>	<p>2021</p>	<p>Ensayo clínico aleatorizado.</p>	<p>24 atletas hombres post ACLR (entre 6 y 12 meses). -Grupo experimental: 12 sujetos. -Grupo control: 12 sujetos.</p>	<p>IKDC, evaluación clínica (ROM, inflamación, fuerza de cuádriceps) y evaluación biomecánica en distintas tareas pliométricas (mediante análisis con cámara y plataformas de fuerza) y valoración isocinética de la rodilla.</p>	<p>Grupo experimental: 8 semanas de entrenamiento neuromuscular basado en 8 ejercicios de fuerza y pliometría que buscan mejorar la fuerza y potencia de MMII, el equilibrio, control neuromuscular y la técnica de aterrizaje. Grupo control: Continúa con su entrenamiento habitual, no realiza entrenamiento neuromuscular.</p>	<p>El entrenamiento neuromuscular supuso una mejora en la flexión de tronco, cadera y rodilla, disminuyendo así la fuerza de reacción del suelo, realizando aterrizajes más blandos. Además, disminuyó el desplazamiento anterior de la tibia.</p>
<p>Nagelli, C. V., Di Stasi, S., Wordeman, S. C., Chen, A., Tatarski, R., Hoffman, J., & Hewett, T. E.</p>	<p>2019</p>	<p>Ensayo de laboratorio controlado.</p>	<p>28 atletas. -Grupo experimental: 18 atletas post ACLR. -Grupo control: 10 atletas sanos.</p>	<p>Evaluación clínica (ROM, inflamación, fuerza de cuádriceps) y evaluación biomecánica en tareas de aterrizaje.</p>	<p>12 sesiones de entrenamiento neuromuscular basado en ejercicios pliométricos, de estabilidad y CORE.</p>	<p>Mejora en los ángulos de flexión durante el aterrizaje, dando lugar a una menor fuerza de reacción del suelo. El grupo experimental, gracias al entrenamiento neuromuscular, logró parámetros similares al control.</p>

<p>Nagelli, C., Di Stasi, S., Tatarski, R., Chen, A., Wordeman, S., Hoffman, J., & Hewett, T. E.</p>	<p>2020</p>	<p>Ensayo de laboratorio controlado.</p>	<p>28 atletas. -Grupo experimental: 18 atletas post ACLR. -Grupo control: 10 atletas sanos.</p>	<p>IKDC, evaluación clínica (ROM sin dolor, inflamación, fuerza de cuádriceps) y evaluación biomecánica en tareas de aterrizaje.</p>	<p>12 sesiones progresivas de entrenamiento neuromuscular basadas en 7 ejercicios con el objetivo de mejorar estabilidad de CORE, mecánica de aterrizaje y la fuerza de cadena posterior de MMII.</p>	<p>Mejora en la biomecánica del aterrizaje, los cuales son menos rígidos, suponiendo una disminución de riesgo para la rodilla. Además, el grupo experimental obtiene después del protocolo, datos parecidos al grupo control, restableciendo la biomecánica fisiológica.</p>
<p>Nagelli, C. V., Wordeman, S. C., Di Stasi, S., Hoffman, J., Marulli, T., & Hewett, T.</p>	<p>2019</p>	<p>Estudio de cohortes</p>	<p>28 atletas. -Grupo experimental: 18 atletas post ACLR. -Grupo control: 10 atletas sanos.</p>	<p>Evaluación clínica (rango articular, inflamación, fuerza de cuádriceps) y evaluación biomecánica de los aterrizajes en tareas pliométricas.</p>	<p>12 sesiones de entrenamiento neuromuscular progresivo para mejorar la fuerza y coordinación neuromuscular de MMII, estabilidad y CORE, mecánica de aterrizaje.</p>	<p>El grupo experimental logra una mejora en la biomecánica de la rodilla en plano sagital, obteniendo valores generales similares a los del grupo control, lo cual sugiere que el entrenamiento neuromuscular puede normalizar la biomecánica previa a la lesión y cirugía.</p>
<p>Nyland, J., Greene, J., Carter, S., Brey, J., Krupp, R., & Caborn, D.</p>	<p>2020</p>	<p>Estudio de cohortes retrospectivo</p>	<p>150 sujetos deportistas post ACLR.</p>	<p>Evaluación de la función percibida, laxitud de rodilla, test funcionales, de agilidad, potencia de MMII, estabilidad dinámica y demandas propias del deporte.</p>	<p>8 semanas de entrenamiento neuromuscular de tronco y MMII, agilidad, potencia, sprints, tareas propias del deporte, etc.</p>	<p>Después de un seguimiento de estos deportistas durante 2 años, se produjeron tan solo un 1,3% de lesiones en la rodilla homolateral, y un 2,7% en la contralateral, disminuyendo significativamente el riesgo de segunda lesión en comparación con los valores actuales de incidencia.</p>
<p>Souissi, S., Wong, D. P., Dellal, A., Croisier, J. L., Ellouze, Z., & Chamari, K.</p>	<p>2011</p>	<p>Ensayo clínico aleatorizado</p>	<p>16 atletas post ACLR. -Grupo experimental: 8 atletas. -Grupo control: 8</p>	<p>Evaluaciones clínicas (inflamación, rango articular, valoración isocinética) y test funcionales de pliometría,</p>	<p>Grupo experimental: 8 semanas de entrenamiento funcional para mejorar potencia, control neuromuscular, propiocepción, velocidad y agilidad, etc.</p>	<p>El grupo experimental obtiene una mejora significativa en todos los parámetros (agilidad, distancia de saltos, potencia ...) en ambas extremidades comparado con el grupo</p>

			atletas.	potencia y agilidad.	Grupo control: 8 semanas de entrenamiento de pliometría a baja intensidad, fuerza y carrera.	control.
--	--	--	----------	----------------------	--	----------

4.2. Resumen artículos empleados

Con la intención de hallar respuestas a los objetivos planteados, se realizó una minuciosa estrategia de búsqueda de la cual se seleccionaron finalmente 9 estudios, siendo estos los más relevantes en base a su muestra (deportistas jóvenes) y tipo de intervención, así como duración de la misma.

Arundale et al. (2018) analiza, de forma secundaria sobre un ensayo controlado aleatorizado, la eficacia de un programa de readaptación preventivo de segunda lesión de LCA (ACL-SPORTS). Para ello, fueron seleccionados 40 hombres jóvenes, con una edad media de 21,5 años, todos ellos atletas de distintos niveles, los cuales participan de forma regular en deportes con maniobras de pivotes y cambios de dirección, relacionados con mayor incidencia de lesión de LCA. Además, todos los deportistas deben haber sido sometidos a una cirugía reconstructiva de LCA, encontrándose entre el tercer y noveno mes del post operatorio, y habiendo superado previamente unos criterios clínicos de selección (mínima inflamación articular, ausencia de dolor, rango articular completo, $\geq 80\%$ fuerza cuádriceps en comparación con la pierna contralateral, y hallarse en progresión a la carrera). El entrenamiento neuromuscular se basaba en 10 sesiones, de entre 60-90' cada una, 2 veces por semana, durante un total de 5 semanas, en las que todos los deportistas realizaron una serie de ejercicios progresivos, como se puede observar en la tabla 2, basados en el desarrollo de la fuerza, pliometría, agilidad, y prevención de LCA, tales como nordic hamstrings, standings squats, drop jumps, triple single hopping, y tuck jumps; todos ellos guiados por un preparador físico, con el objetivo de incidir en la técnica correcta. Además, el grupo experimental (SAP+PERT) realizó también un protocolo de entrenamiento de perturbación en una superficie inestable, mientras que el grupo control (SAP) tan solo seguía un protocolo de equilibrio en superficie estable (single leg balance). Una vez completado el entrenamiento, se valoraron las capacidades de los deportistas en base a un protocolo de return to play (RTP), en el que los atletas debían obtener $\geq 90\%$ fuerza cuádriceps en comparación con la contralateral, $\geq 90\%$ simetría en test de saltos (single, crossover y triple hops for distance, y 6m timed hop), y $\geq 90\%$ de puntuación en KOS-ADLS (escala sobre actividades de la vida diaria). En cuanto a los resultados, y tras realizar un

seguimiento de 2 años a los deportistas, en el primer año el 95% habían vuelto al deporte, cumpliendo con el 100% a los dos años, de los cuales el 95% consiguieron recuperar su nivel previo a la lesión, produciéndose tan solo una segunda rotura de LCA, lo que supone un riesgo de re-rotura de 2,5%, siendo este muy inferior al hallado en otros estudios.

Tabla 2.

Protocolo de entrenamiento neuromuscular

Table 1. Exercises performed by each group as part of this study⁶				
Group(s) performing		Sessions 1-3	Sessions 4-6	Sessions 7-10
Training program (SAP and SAP+PERT)⁶	Nordic Hamstrings	2x5 (~30-45°)	3x5 (~30-45°)	3x5 (~60°)
	Standing Squat (Bilateral to 90°)	Session 1: 3x10 focusing on proper technique Session 2 and 3: Add green or blue (per physical therapist discretion) theraband around knees	3x10 progression to black theraband around knees	Not performed
	Drop Jump	3x10 Taking off and landing bilaterally Step height progresses as appropriate for the athlete from 4 to 6 to 8 inches tall	3x10 Taking off bilaterally, landing on the involved limb Step height progresses as appropriate for the athlete from 4 to 6 to 8 inches tall	3x10 Taking off and landing on the involved limb Step height progresses as appropriate for the athlete from 4 to 6 to 8 inches tall
	Triple Single Leg hopping	Forward/backwards (3 hops forward, 3 hops backwards) x10 Side to Side (3 consecutive hops laterally) x10 Overground	Forward/backwards (3 hops forward, 3 hops backwards) x15 Side to Side (3 consecutive hops laterally) x15 Over a low object approximately 2 inches high (such as cup or low cone)	Forward/backwards (3 hops forward, 3 hops backwards) x15 Side to Side (3 consecutive hops laterally) x15 Over an object the height appropriate for the patient such as 4 in cones or 6 in hurdles
	Tuck Jumps	Not performed	Not performed	2 sets for 10-20 seconds Progressing to 3 sets for 20-30 seconds
SAP Only	Single-leg balance with hip flexor resistance	3 x 30 seconds	3 x 45 seconds	3 x 1 minute
SAP+PERT Only	Perturbation Training (Appendix A) ^{6,12} Progressed according to athlete response, not by treatment session number -As athlete progresses the speed of perturbations is increased -Perturbations begin in anterior/posterior and medial/lateral and are advanced to include rotations			
	Roller board	Double limb support Single limb support in parallel bars Single limb support out of parallel bars		
	Roller board and stationary platform (one foot on roller board one foot on platform)	Perturbations with feet parallel to each other in a straddle stance Add perturbations with feet in a diagonal stance Add functional task during perturbations		
	Tilt board	Double limb support Single limb support Add functional task during perturbation		

Nota. Adaptado de “Two year ACL reinjury rate of 2,5%: Outcomes report of the men in a secondary ACL injury prevention program (ACL-SPORTS)”, de Arundale, A. J. H., Capin, J. J., Zarzycki, R., Smith, A. H., & Snyder-Mackler, L., 2018, *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(3), p.425 (<https://doi.org/10.26603/ijsp20180422>).

Por otra parte, Elias et al. (2018), analizan mediante un ensayo controlado aleatorizado, la eficacia de 8 semanas de entrenamiento pliométrico en 19 atletas, los cuales se habían sometido a cirugía reconstructiva de LCA hace 18 meses de media. Dichos deportistas fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos, el grupo experimental (JTBWS), y el grupo control (JTBW), siendo la principal diferencia entre ambos el uso de soporte de peso corporal durante la realización de los ejercicios por parte del grupo experimental, por lo que estos realizarían un mayor número de repeticiones en cada sesión. Para participar en el estudio, los participantes debían superar unos determinados criterios clínicos de inclusión (puntuación menor a 75% en IKDC, simetría entre extremidades inferior a 75% en single leg hop for distance, y un pico de momento flexor de rodilla inferior a 80% en comparación con la contralateral en una tarea de aterrizaje unipodal), seleccionando con ello a los sujetos que presentaban déficits. Asimismo, también se valoró la percepción de los deportistas mediante GRoC (Global Rating of Change), y la contracción máxima isométrica del vasto medial y bíceps femoral, valorado con electromiografía, usando estos datos para analizar posteriormente la cinética y cinemática de la biomecánica de tareas de aterrizaje a una pierna, prestando especial atención a la fase de amortiguación. Estas pruebas se realizaron al inicio, mitad, final del protocolo, y tras un periodo de retención (16 semanas). El entrenamiento pliométrico se llevó a cabo en 16 sesiones supervisadas, de 1 hora cada una (ver tabla 3), en la que los deportistas iban progresando en función de la aparición o no de dolor, debilidad muscular, inflamación, etc, así como la ejecución con una técnica correcta (ver tabla 4). En lo que respecta a los resultados, se observa una mejora en todos los parámetros (percepción de los atletas, en IKCD y GRoC; mecánica y control motor de las tareas de aterrizaje, donde se aprecia una menor co-contracción de la musculatura de cuádriceps e isquiotibiales y un mayor ángulo de flexión de rodilla, dando lugar a un patrón de aterrizaje menos rígido, el cual se relaciona con menor riesgo de recidiva de LCA; y función, apreciando mejoras en los datos de test de salto). Por ello, consideran el entrenamiento pliométrico una herramienta eficaz en la prevención de segundas lesiones de LCA o rodilla.

Tabla 3.

Ejemplo de sesión

TABLE 1
Treatment Session Protocol, Performed Twice Weekly for 8 Weeks^a

Treatment Component	Specific Task
Joint reaction check ^b (for previous treatment)	Knee pain rating on 0-10 VAS Report of muscle soreness and fatigue Stroke test for joint effusion
Warm-up	5-min treadmill walking (3-3.5 mph) High knee running Heel-to-gluteal running High kick walking Hip wrap walking with heel raise Walking lunges
Jump training	Contacts ^c —JTBW
Week 1 and 2	80-100
Week 3 and 4	80-160
Week 5 and 6	120-200
Week 7 and 8	120-200
Cool-down	5-min treadmill walking (3-3.5 mph) Quadriceps stretch (30 s) Hamstrings stretch (30 s) Calf stretch (30 s) Hip abductor stretch (30 s)
Joint reaction check ^d (for current treatment)	Knee pain rating on 0-10 VAS Report of muscle soreness and fatigue Stroke test for joint effusion

Nota. Adaptado de “Clinical Efficacy of Jump Training Augmented With Body Weight Support After ACL Reconstruction: A Randomized Controlled Trial”, de Elias, A. R. C., Harris, K. J., LaStayo, P. C., & Mizner, R. L., 2018, *American Journal of Sports Medicine*, 46(7), p.5 (<https://doi.org/10.1177/0363546518759052>).

Tabla 4.

Protocolo de progresión de entrenamiento.

TABLE 2
Jump Training Treatment Progression Protocol^a

	Phase	Contacts ^b	Tasks
Jump training—normal body weight			
Week 1	Technique	80-100	Vertical jumps, lateral jumps, broad jumps, spinning jumps, split jumps, tuck jumps, stationary bounding
Week 2			
Week 3	Fundamentals	80-160	Above, plus triple jumps, vertical hops, lateral hops
Week 4			
Week 5	Performance	120-200	Above, plus combination jumps, lateral cutting, triple broad hops, box hops
Week 6			
Week 7	Specificity	120-200	Above, plus lateral box hops, agility drills
Week 8			
Jump training—body weight supported ^c			
Week 1	30%	200-350	Vertical jumps, lateral jumps, broad jumps, spinning jumps, split jumps, vertical hops, lateral hops, broad hops
Week 2			
Week 3	20%	250-500	Above, plus triple broad hops, box hops, bounding
Week 4			
Week 5	10%	200-350	Above, plus combination jumps, lateral cutting
Week 6			
Week 7	0%	120-200	Above, plus lateral box hops, agility drills
Week 8			

^aThis progression is adapted from multiple current neuromuscular training protocols for injury prevention. Twice-weekly sessions were separated by at least 48 hours. Progression to a lower body weight support level was determined by tolerance as described in Table 1.

^bContact is defined as an instance of landing or changing direction on the surgical leg: eg, landing a hop, landing a jump, or cutting/pivoting on surgical side. The number of contacts listed is the range of actual contacts performed by participants during that session.

^cBody weight support is defined as the delivered vertical force expressed as the percentage of body weight.

Nota. Adaptado de “Clinical Efficacy of Jump Training Augmented With Body Weight Support After ACL Reconstruction: A Randomized Controlled Trial.” de Elias, A. R. C., Harris, K. J., LaStayo, P. C., & Mizner, R. L., 2018, *American Journal of Sports Medicine*, 46(7), p.6 (<https://doi.org/10.1177/0363546518759052>).

En el siguiente ensayo clínico aleatorizado, Ghaderi et al. (2020), plantean como objetivo evaluar la repercusión de 8 semanas de entrenamiento neuromuscular sobre la propiocepción de rodilla. Para este fin, selecciona a 24 atletas, todos ellos hombres, sometidos a cirugía de reconstrucción de LCA entre los 6 y 12 meses previos. Además, deben haber completado el return to play (RTP), y regresado a la competición. La muestra inicial se divide en dos subgrupos, de 12 deportistas cada uno. El grupo experimental realizó 8 semanas de entrenamiento, en un total de 22 sesiones, con el objetivo de lograr un incremento de fuerza y

potencia de miembros inferiores, equilibrio, y mejora en la técnica en tareas de aterrizaje, mediante ejercicios de saltos unipodales o bilaterales en forma de squats, lunges, drop jumps, CMJ, long jumps, horizontal bounds; y estabilidad unipodal en plataformas inestables. Por otra parte, el grupo control continuó con sus tareas propias del deporte, sin realizar ningún tipo de entrenamiento neuromuscular. Los resultados a nivel propioceptivo se analizaron comparando los datos obtenidos al inicio y final del protocolo, los cuales se obtuvieron mediante la realización de una prueba de reconocimiento de posición articular de la rodilla, llevada a cabo por medio de un dinamómetro. Los datos muestran como al inicio del estudio, los sujetos presentaban déficits propioceptivos, habiendo incluso superado sus protocolos de readaptación y logrando la vuelta al deporte. Una vez finalizado el periodo de entrenamiento, el grupo experimental mostró una mejora del 51,7%, superando con creces a la del grupo control (4,4%), evidenciando así la eficacia del entrenamiento neuromuscular en aumento de la propiocepción de rodilla en deportistas con reconstrucción de LCA.

De otro modo, Ghaderi et al. (2021) examinan los efectos del entrenamiento neuromuscular con foco atencional externo sobre deportistas con cirugía de ACL. Convencionalmente, la readaptación se ha planteado con ejercicios en los que los deportistas prestan atención a un foco interno, a un aspecto concreto del movimiento. Este estudio expone el uso del foco externo, con el objetivo de que los atletas se fijen en el efecto que causa su movimiento, dando lugar a una mayor retención, transferencia y automatismo del mismo. A este respecto, se seleccionó como muestra a 24 hombres deportistas, operados de ACL entre los 6 y 12 meses previos; además, debían superar unos criterios de selección previos (rango articular completo, ausencia de dolor e inflamación, $\geq 80\%$ de fuerza de cuádriceps en comparación con la contralateral y 80% de simetría en test de salto: single leg forward hop, triple hop, crossover hop, y 6m timed hop, en comparación con la pierna contralateral). Una vez determinada la muestra, se evaluó mediante cámara de análisis de movimiento y plataformas de fuerza, la biomecánica de tareas de aterrizaje (single leg drop landing), así como la propiocepción de rodilla, con dinamómetro, y la percepción del sujeto, mediante el cuestionario de funcionalidad IKDC. El entrenamiento neuromuscular consistió (ver tabla 5), para

el grupo experimental, en 8 semanas de entrenamiento progresivo enfocados en la mejora de fuerza y potencia de miembro inferior, control neuromuscular, equilibrio, y técnica de aterrizajes, comprendido en 8 ejercicios (double leg squats, walking lunges, single leg squats, double leg drop jumps, single leg stance en superficie inestable, single leg CMJ, horizontal bounds y single leg long jumps), todos ellos realizados con instrucciones que promovían el foco atencional externo, y supervisados por profesionales de las ciencias del deporte. Los resultados muestran una mejora en todos los aspectos; a nivel biomecánico, se obtuvo un aumento en la flexión de rodilla, cadera y tronco en los aterrizajes posteriores al entrenamiento, dando lugar a una disminución del vector de fuerza de reacción del suelo, disminuyendo así el impacto en la rodilla y, por ende, el riesgo de re-lesión de LCA. A nivel funcional, se apreció una mejora de 17% en IKDC, y a nivel propioceptivo, del 51%; demostrando los beneficios del entrenamiento neuromuscular en la reducción de riesgo de futuras segundas lesiones de LCA.

Tabla 5.

Detalles del programa neuromuscular.

Neuromuscular training program details

Exercise	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8
Double-leg squats	3 × 6	3 × 6	–	–	–	–	–	–
Walking lunges	3 × 6	3 × 6	–	–	–	–	–	–
Single-leg squats	3 × 6	3 × 6	4 × 8	4 × 8	4 × 12	–	–	–
Double-leg drop jumps	–	–	3 × 6	4 × 10	4 × 12	–	–	–
Single-leg stance, unstable surface	–	–	3 x 30s	3 x 30s	4 x 30s	4 x 30s	3 x 30s	3 x 30s
Single-leg countermovement jumps	–	–	3 × 6	3 × 8	4 × 8	4 × 10	3 × 8	3 × 6
Horizontal bounds	–	–	–	–	–	4 × 8	5 × 10	3 × 8
Single-leg standing long jumps	–	–	–	–	–	4 × 8	5 × 8	3 × 8

^aSets and repetitions or time for each exercise across the 8-week period

^bWk = week

^cAthletes given 30–60 s of rest between sets

Nota. Adaptado de “Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial” de Ghaderi, M., Letafatkar, A., Thomas, A. C., & Keyhani, S., 2021, *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), p.5 (<https://doi.org/10.1186/s13102-021-00275-3>).

Debido a la importancia de la biomecánica del aterrizaje unipodal en la prevención de lesiones de LCA, Nageli et al. (2019a), evalúan el efecto del entrenamiento neuromuscular en la biomecánica de la rodilla durante tareas de aterrizaje. Para ello, se toma como muestra a 28 deportistas en total, de los cuales 18 forman el grupo experimental (ACLR), constituido por atletas jóvenes, de 19,4 años de media, los cuales fueron operados de LCA en los 8 meses previos; asimismo, debieron superar los criterios de selección (ausencia de inflamación, rango articular de movimiento completo, <30% déficit de fuerza cuádriceps en comparación con la contralateral, y 5 single leg hops seguidos sin dolor y ejecutados con control corporal y del plano frontal de la rodilla, siendo excluidos

aqueellos que presentaban valgo de rodilla excesivo). Por otra parte, el grupo control lo forman 10 sujetos sanos, sin historial previo de lesión de rodilla. Con respecto a la intervención, todos los sujetos realizaron durante 12 semanas un protocolo de 7 ejercicios, fundamentados en tareas de saltos bipodales y unipodales, activación de la cadena posterior, y desarrollo de fuerza de CORE y tronco, con 4 niveles de progresión en base a la técnica de ejecución y la consiguiente aprobación del preparador físico. Para valorar la eficacia del entrenamiento, se analizó previa y posteriormente al mismo, la biomecánica de 5 aterrizajes (single leg drop) mediante un sistema de análisis de movimiento y plataformas de fuerzas. Los datos obtenidos evidencian en el grupo ACLR, como se puede apreciar en la tabla 6, un aumento en la flexión de rodilla, y disminución del momento de flexión de rodilla y del vector de fuerza de reacción del suelo (ver figura 2), dando lugar a un patrón de aterrizaje similar al del grupo control, demostrando que el entrenamiento neuromuscular puede corregir los déficits biomecánicos en la rodilla consecuentes a la cirugía de LCA.

Tabla 6

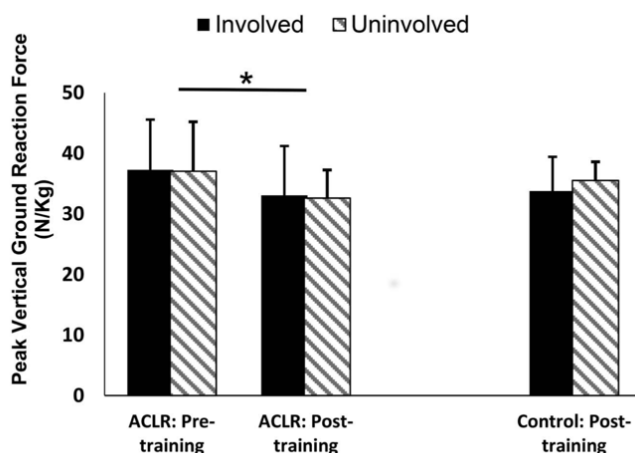
Resultados obtenidos pre y post entrenamiento en el grupo ACLR

TABLE 1. Pre- and Post-training Knee Kinematics and Kinetics for the ACLR Group During the Single-Leg Landing Task							
ACLR Group							
Biomechanical Variables	Pre-training		Post-training		Interactions/Main Effects and P	Desired Outcome	Result Found
	Involved	Uninvolved	Involved	Uninvolved			
Knee flexion angle, degrees	9.8 ± 5.5	9.4 ± 4.1	12.2 ± 5.4	11.9 ± 6.1	Session: $P < 0.02$	Increase flexion	Increase flexion
Knee sagittal plane excursion, degrees	49.7 ± 9.5	51.6 ± 9.7	52.0 ± 8.9	56.7 ± 8.4	Session: $P = 0.024$	Increase ROM	Increase ROM
Knee flexion moment, Nm/kg	0.51 ± 0.1	0.50 ± 0.1	0.40 ± 0.1	0.39 ± 0.1	Session: $P < 0.01$	Decrease flexion moment	Decrease flexion moment
Knee frontal plane angle, degrees	-0.61 ± 3.2	0.11 ± 2.0	0.33 ± 3.4	0.75 ± 1.9	Session: $P < 0.01$	Neutral or decrease knee abduction	Increase adduction
Knee frontal plane excursion, degrees	6.42 ± 3.0	6.27 ± 2.5	5.4 ± 1.4	4.69 ± 1.8	Session: $P < 0.01$	Decrease excursion	Decrease excursion
Knee frontal plane moment, Nm/kg	0.07 ± 0.07	0.12 ± 0.07	0.13 ± 0.04	0.12 ± 0.05	Session: $P < 0.01$ limb: $P < 0.04$	Neutral or decrease knee abduction	Increase adduction moment
Vertical ground reaction force, N/kg	37.3 ± 8.3	37.0 ± 8.1	33.1 ± 5.4	32.6 ± 4.6	Session: $P = 0.003$	Decrease vGRF	Decrease vGRF

Nota. Adaptado de “Knee Biomechanical Deficits During a Single-Leg Landing Task Are Addressed With Neuromuscular Training in Anterior Cruciate Ligament–Reconstructed Athletes” de Nagelli, C. V., Di Stasi, S., Wordeman, S. C., Chen, A., Tatarski, R., Hoffman, J., & Hewett, T. E., 2019, *Clinical Journal of Sport Medicine*, 31(6), p.3 (<https://doi.org/10.1097/jsm.0000000000000792>).

Figura 2

Comparación de resultados en vGRF en grupo ACLR y control



Nota. Adaptado de “Knee Biomechanical Deficits During a Single-Leg Landing Task Are Addressed With Neuromuscular Training in Anterior Cruciate Ligament–Reconstructed Athletes” de Nagelli, C. V., Di Stasi, S., Wordeman, S. C., Chen, A., Tatarski, R., Hoffman, J., & Hewett, T. E., 2019, *Clinical Journal of Sport Medicine*, 31(6), p.4 (<https://doi.org/10.1097/jsm.0000000000000792>).

Puesto que la musculatura proximal (CORE, cadera) tiene un papel fundamental en el control del movimiento de la rodilla, evitando el colapso medial de la misma y, con ello, el riesgo de re-lesión de LCA, Nageli et al. (2020) investigan el impacto de 12 sesiones de entrenamiento neuromuscular en la biomecánica de la cadera durante tareas de aterrizaje unipodal, en atletas con reconstrucción de LCA en los 8 meses anteriores. Con este fin, se toma como muestra para el grupo experimental, una vez superados los criterios de inclusión (ausencia de inflamación, rango articular de movimiento completo, <30% déficit de fuerza cuádriceps en comparación con la contralateral, y 5 single leg hops consecutivos sin dolor y ejecutados con control corporal y del plano frontal de la rodilla, siendo excluidos aquellos que presentaban valgo de rodilla excesivo) a 18 deportistas. A su vez, se seleccionan a 10 sujetos deportistas sanos, sin historial previo de lesiones de rodilla, para el grupo control. Posteriormente, se realiza a cada grupo

un análisis de percepción, mediante el cuestionario IKDC, y de biomecánica de aterrizaje (cinco single leg drop de un cajón de 30,5 cm), evaluado gracias a un sistema de análisis de movimiento y plataformas de fuerza. Todos los deportistas realizan el mismo protocolo de entrenamiento neuromuscular supervisado, centrado en el desarrollo de fuerza de CORE, cadena posterior (glúteos y musculatura isquiotibial) y técnica adecuada de aterrizaje, mediante 7 ejercicios con 4 niveles de progresión. Finalmente, se analizaron los resultados, obteniendo un aumento en la excursión de cadera y disminución de momento de flexión de cadera y del vector de fuerza de reacción del suelo. Con ello, los deportistas presentaban una biomecánica de aterrizaje blando, que previene de lesiones de LCA, y es similar al del grupo control de sujetos sanos, concluyendo que este tipo de entrenamiento restablece el control neuromuscular y la correcta biomecánica de cadera en los aterrizajes unipodales.

Del mismo modo, Nageli et al. (2019b) analizan mediante un estudio de cohortes las posibles modificaciones en la biomecánica de la rodilla, tanto en plano sagital como frontal, una vez completado un protocolo de entrenamiento neuromuscular de 12 sesiones. Para este fin, fueron seleccionados 18 deportistas ACLR, siempre y cuando cumplieran con los criterios de inclusión (haber sido sometido a una cirugía reconstructiva de rodilla mediante autoinjerto de isquiotibiales en los 8 meses previos, rango articular completo sin dolor, ausencia de inflamación, <30% déficit de extensión de rodilla en comparación con la contralateral, y la capacidad de realizar 5 single leg hops continuos con adecuado equilibrio y control de la articulación de la rodilla, evitando el excesivo movimiento en plano frontal); y 10 deportistas sanos, sin historial previo de lesión de rodilla. Para examinar los posibles efectos del entrenamiento, previa y posteriormente al mismo, todos los sujetos fueron sometidos a un estudio biomecánico de una prueba de aterrizaje (drop vertical jump) realizada con ambas piernas; y analizada mediante el uso de retrorreflectores junto a un sistema de análisis de movimiento y plataformas de fuerza, prestando especial atención al momento del contacto inicial. Con respecto a la intervención, la muestra total de sujetos realizó un protocolo de entrenamiento neuromuscular de 7 ejercicios (ver tabla 7) centrados en el fortalecimiento y control motor de CORE, mecánica de aterrizajes, coordinación dinámica del

miembro inferior (MMII), estabilidad del tronco, y ejercicios unipodales y bipodales de MMII. Estos contaban con 4 niveles de progresión, en función de la capacidad de realizar correctamente al menos un 80% de las repeticiones, y valorado por un profesional de ciencias del deporte. Para concluir, se equipararon los datos biomecánicos obtenidos sobre el MMII quirúrgico y no quirúrgico del grupo ACLR, y se realizó una comparación con los deportistas sanos. Los resultados muestran una mejora significativa en el ángulo de flexión de rodilla, así como una disminución del momento de flexión, lo que se traduce en un perfeccionamiento de la biomecánica de rodilla en el plano sagital, obteniendo valores similares al grupo control. Esto demuestra la eficiencia del entrenamiento neuromuscular para restablecer la correcta biomecánica de rodilla en aterrizajes unipodales, solventando con ello los déficits de movimiento apreciados tras la cirugía reconstructiva de LCA.

Tabla 7

Protocolo de entrenamiento neuromuscular

TABLE 2. A Summary of the Neuromuscular Training Program	
Exercise Progression	Tasks
Single-leg hop	Phase I: single-leg lateral hop hold on Airex mat
	Phase II: single-leg 90-degree hop hold on Airex mat
	Phase III: single-leg lateral BOSU (round) hop hold
	Phase IV: single-leg 90-degree Airex hop hold reaction ball catch
Single-leg anterior	Phase I: step hold
	Phase II: jump-single-leg hold
	Phase III: hop hold
	Phase IV: hop-hop-hold
Romanian deadlift	Phase I: single-leg deadlift
	Phase II: single-leg deadlift on Airex
	Phase III: single-leg deadlift on BOSU
	Phase IV: single-leg deadlift with dumbbells
Lunge	Phase I: walking lunges
	Phase II: backward lunge walk
	Phase III: lunge jumps
	Phase IV: scissor jumps
Double-leg jump	Phase I: box butt touch
	Phase II: squat jumps
	Phase III: single tuck jump with hold
	Phase IV: double tuck jumps with hold
Prone trunk stability	Phase I: BOSU (round) toe-touch swimmers
	Phase II: BOSU (round) with partner perturbation
	Phase III: prone bridge (elbows and knees) hip extension w/opposed shoulder flexion
	Phase IV: prone bridge (elbows and toes) hip extension
Lateral trunk flexion	Phase I: BOSU (round) lateral crunch
	Phase II: box lateral crunch
	Phase III: BOSU (round) lateral crunch with ball catch
	Phase IV: Swiss ball lateral crunch

Nota. Adaptado de “Biomechanical Deficits at the Hip in Athletes With ACL Reconstruction Are Ameliorated With Neuromuscular Training” de Nagelli, C., Wordeman, S., Di Stasi, S., Hoffman, J., Marulli, T., & Hewett, T. E., 2019, *American Journal of Sports Medicine*, 31(2), p.3 (<https://doi.org/10.1177/0363546518787505>)

A causa de la gran incidencia de recidivas de LCA, tanto en la pierna ipsilateral como homolateral, Nyland et al. (2020), comprueban mediante un estudio de cohortes prospectivo, la eficacia de un protocolo de RTS (Return to Sport Bridge Program) en 150 atletas operados de LCA, todos ellos lesionados en acciones deportivas. Para ello, se realizaron valoraciones de distintos parámetros

relevantes, tales como la laxitud ligamentaria (prueba de cajón anterior y pivot shift, realizada por el cirujano), la percepción funcional por parte del sujeto (Knee Outcome Survey Sports Activity Scale “KOS-SAS”); así como pruebas funcionales de movilidad (análisis cualitativo), estabilidad dinámica de rodilla mediante test de salto (single leg triple hop for distance, 20m single leg timed hop, y 20m single leg timed crossover hop symmetry test), potencia de MMII (20m bounding, 20m two legged horizontal hops for distance, y “kangaroo” hops unipodales y bipodales), agilidad (NFL “L”, 5-10-5 shuttle drill), y tareas propias del deporte y de sus demandas. Posteriormente, se propuso un protocolo de entrenamiento basado en una sesión semanal de ejercicios fuerza y potencia de MMII, control neuromuscular de tronco, sprints, agilidad y demandas deportivas; y otra sesión de trabajo autónomo de fuerza, carrera y sprints progresivos. Una vez finalizado, para superar el RTS, los atletas deben obtener un valor superior o igual a 85% en percepción funcional (KOS-SAS) y $\geq 90\%$ en el índice de simetría entre piernas en las pruebas funcionales de salto, y en al menos 8 de 10 repeticiones de prensa a una pierna; todo ello en ausencia de inflamación. Los datos obtenidos a medio y largo plazo muestran resultados positivos, logrando un RTS de todos los participantes a los 9 meses de media, de los cuales el 84% alcanzaron su nivel previo a la lesión, y con un índice lesivo de tan solo 1,3% ipsilateral y 2,7% contralateral, tras un seguimiento de 2 a 13 años. Además, todos ellos obtuvieron una percepción funcional normal (1,3 en KOS-SAS). La obtención de unos valores altos de índice de simetría entre piernas (LSI) respalda la eficacia de este tipo de entrenamiento, ya que es un dato inversamente proporcional al riesgo de recidiva de LCA.

Para finalizar, Soussi et al. (2011), se plantean como objetivo analizar en 16 deportistas ACLR, (los cuales se encuentran entre el 4º y 6º mes de post operatorio), los efectos de dos protocolos distintos de entrenamiento neuromuscular. Para formar parte del estudio, todos los sujetos debían participar en deportes de competición con demandas de pivotes y contacto, tanto a nivel regional como nacional. Además, se estableció como criterio de exclusión la existencia de inflamación o dolor en la extremidad operada, así como lesiones previas de MMII (al margen de lesiones meniscales parciales). Previamente al

inicio del entrenamiento, los deportistas superaron un protocolo de rehabilitación, basado en primer lugar en ejercicios de fortalecimiento, restablecimiento del rango articular, mejora de la coordinación, propiocepción y control neuromuscular; y, en segundo lugar, una vez superados los criterios establecidos (rango completo, ausencia de inflamación, habilidad de realizar saltos unipodales sin dolor, y déficit de fuerza extensora inferior al 70% en comparación con la contralateral) en tareas progresivas sobre ejercicios pliométricos y funcionales. Posteriormente, se realizó el protocolo de intervención, en el que el grupo experimental realizó dos sesiones semanales (4 horas/semana) de entrenamiento de alta intensidad basado en la mejora de fuerza y potencia, propiocepción, control neuromuscular, velocidad, agilidad y progresión a la carrera (ver tabla 9), gracias a la monitorización de un especialista en ciencias del deporte. Por otra parte, el grupo control realizó 3 sesiones semanales (6 horas/semana) de entrenamiento de fuerza y técnica de carrera, con ejercicios limitados de cambios de dirección y pliometría a baja intensidad, como se puede observar en la tabla 8. Con el fin de analizar la eficacia de ambos entrenamientos, se llevaron con anterioridad y posteriormente a los mismos, unas pruebas funcionales de salto horizontal (single leg hop, single leg triple hop, five jump test), de fuerza mediante salto vertical (squat jump, CMJ bipodal y unipodal, Arm CMJ) y de agilidad (Agility "T" test). Los resultados obtenidos tras la realización del entrenamiento muestran una mejora en ambos grupos en todos los test analizados (ver tabla 10); sin embargo, los valores alcanzados son significativamente superiores en el grupo experimental, especialmente en pruebas de fuerza vertical (CMJ unipodal y bipodal), y de funcionalidad (single leg hop) tanto en la pierna quirúrgica como la no quirúrgica, logrando unos datos elevados de índice de simetría entre piernas (LSI). Estos datos evidencian los beneficios del entrenamiento neuromuscular en la etapa de readaptación sobre el rendimiento, la funcionalidad y la disminución del riesgo de recidiva de LCA en deportistas una vez superada la cirugía reconstructiva.

Tabla 8

Protocolo de entrenamiento del grupo control

Week	Exercises			
	Strengthening	Jumps	Speed	Proprioception
1	Press 2-legs 3*50 1-leg curl 3*50 Chair 5*20	Forward barrier jump 2-legs 1*20 (50cm)		Balance with injured leg on unstable circle platform 10*15s
2	Press 2-legs 3*50 Injured leg curl 3*50 Chair 7*20	Forward barrier jump 2-legs 1*20 (50cm)		Balance with injured leg on unstable circle platform 10*15s
3	Press injured leg 3*50 Injured leg curl 3*50 Chair 5*30	Forward barrier jump Non injured leg 1*20 Injured leg 1*20 (50cm)	Moderate speed run forward 5*10m	Balance with injured leg on unstable circle platform 10*15s
4	Press injured leg 3*50 Injured leg curl 3*50 Chair 7*30	Forward barrier jump Non injured leg 1*20 Injured leg 1*20(50cm)	Moderate speed run ackward 5*10m	Balance with injured leg on unstable circle platform 10*15s
5	Press injured leg 3*50 Injured leg curl 3*50 Chair 5*40	Lateral barrier jump 2-legs 1*20 (50cm)	High speed run forward 5*10m+180°turn	Balance with injured leg on unstable rectangular platform 10*15s
6	Press injured leg 3*50 Injured leg curl 3*50 Chair 7*40	Lateral barrier jump 2-legs 1*20 (50cm)	High speed run backward 5*10m+180°turn	Balance with injured leg on unstable rectangular platform 10*15s
7	Press injured leg 3*50 Injured leg curl 3*50 Chair 5*50	Lateral barrier jump Non injured leg 1*20 Injured leg 1*20 (50cm)	Lateral sprint 5*10m	Balance with injured leg on unstable rectangular platform 10*15s
8	Press injured leg 3*50 Injured leg curl 3*50 Chair 7*50	Lateral barrier jump Non injured leg 1*20 Injured leg 1*20 (50cm)	Forward sprint+180° turn + backward sprint 5*10m	Balance with injured leg on unstable rectangular platform 10*15s

Add 5kg in leg press and 2kg in leg curl+chair every 2 weeks. Charge depending on individual capacity: Press (between 80-100 kg for 2 legs, 40-50kg for 1 leg). Leg curl+chair (between 40-50kg).

Nota. Adaptado de “Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction” de Souissi, S., Wong, D. P., Dellal, A., Croisier, J. L., Ellouze, Z., & Chamari, K., 2011, *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(4), p.657.

Tabla 9

Protocolo de entrenamiento del grupo experimental

Week	Exercises			
	Aerobic	Jumps/hops	Speed+ agility	Proprioception
1	2*10'(60-70%HRmax) 3*10'(60-70% HRmax)	Double leg vertical forward hops (3*10) Double leg vertical backward hops(3*10)		Jump with 2-legs in trampoline +floor landing 2*10 Jump with 2-legs in trampoline + floor landing 3*10
2	1*20'(70-75% HRmax) 1*25'(70-75% HRmax)	Double leg vertical forward + backward hops (3*10) Single leg vertical hops 3*10	Moderate speed run forward 5*10m Moderate speed run backward 3*10m Moderate speed run forward 8*10m Moderate speed run backward 5*10m	Jump with 1-leg in trampoline + floor landing on 1-leg 3*5 rope jumping with 2legs
3	1*15'(80% HRmax) 2*15'(80% HRmax)	Single leg forward+backward hops 3*10 Single leg lateral,left+right hops 3*10	Moderate speed run 10m forward+2 one leg hop forward*5 Moderate speed run 10m forward +2one leg hop backward*5	Jump with 1-leg (left-right) in trampoline +floor landing on 1-leg 3*10 Rope jumping with 2-legs forward +backward 3*10
4	1*12'(80-85% HRmax) 2*12'(80-85% HRmax)	Single leg vertical hops 5*10+180° turn Single leg square*5	High speed run 10m backward +2one hop forward *5 High speed run 10m backward+2 one leg backward *5	Rope jumping alternating 2 legs 3*20 Rope forward jumping alternating 2-legs 3*20
5	1*6'(85-90% HRmax) 2*6'(85-90% HRmax)	Leg even surface*5 Scissors jumps 3*5	High speed run in slalom between 12cones(4feet space)*5 High speed run in slalom between 12cones(5feet space)*5	2-legs jump from box(30cm)+floor landing on 2legs*8 1-leg jump on box(15cm)3*10 Floor to box
6	3*6'(85-90% HRmax) 1*4'(90-95% HRmax)	Single-leg Triple hop*5	Sprint in slalom in shuttle runs*3 Sprint in slalom in shuttle runs*5	2-legs jump from box(40cm)+floor landing on 2legs*8 1-leg jump on box(20cm)5*10 Floor to box
7	2*4'(90-95% HRmax) 3*4'(90-95% HRmax)	5-jump start left *3 5-jump start right *3	Sprint in slalom in shuttle runs+jump bench*2 Sprint in slalom in shuttle runs+jump bench*3	Landing from box (30cm)on 1leg*5 1-leg jump on box(30cm)5*10 Floor to box
8	4*4'(90-95% HRmax)	Single-leg Triple hop*5 5-jump start left *2 5-jump start right *2	8-form run to the right *2 8-form run to the left*2	Landing from box (40cm)on 1leg*5 1-leg jump on box(40cm)10*5

For all exercises with one leg, subject performed 2 sets less than with the uninjured leg. Recovery: 30s between sets and 2' between exercises for jumps, speed and proprioception exercises. In hopping exercise, subject hop as far as possible (maximum distance).

Nota. Adaptado de “Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction” de Souissi, S., Wong, D. P., Dellal, A., Croisier, J. L., Ellouze, Z., & Chamari, K., 2011, *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(4), p.658.

Tabla 10

Resultados obtenidos pre y post entrenamiento

Functional, muscle power, and agility performance from 4 to 6 months post-surgery.

Variables	Group	Pre-test	Post-test	% progress	Effect size based on the % progress (value/classification)
Single leg hop (injured) (m)	FTG	1.45 (.26)	1.91 (.18) [*]	34.64 (24.16)	1.38 /Large
	CG	1.69 (.12)	1.77 (.16)	10.92 (10.42)	
Single leg hop (uninjured) (m)	FTG	1.77 (.15)	2.02 (.11) ^{*†}	14.27 (4.97)	2.66 /Large
	CG	1.85 (.16)	1.88 (.11)	3.69 (2.64)	
Single leg triple hop (injured leg) (m)	FTG	4.14 (.78)	5.28 (.40) [*]	32.15 (30.57)	.71 /Medium
	CG	4.38 (.48)	5.04 (.15) [*]	16.05 (9.54)	
Single leg triple hop (uninjured leg) (m)	FTG	5.04 (.51)	5.79 (.34) [*]	15.78 (13.24)	.71 /Medium
	CG	5.03 (.57)	5.39 (.29)	7.55 (9.70)	
Five jump test (starting with injured leg) (m)	FTG	10.36 (.93)	11.25 (.83) [*]	8.87 (6.14)	.73 /Medium
	CG	10.18 (.73)	10.67 (.57)	5.03 (4.15)	
Five jump test (starting with uninjured leg) (m)	FTG	10.26 (.93)	11.00 (1.06)	7.32 (4.02)	.43 / Small
	CG	10.07 (.83)	10.60 (.78)	5.43 (4.74)	
Agility T-Test (sec)	FTG	11.92 (.59)	10.18 (.39) ^{*†}	17.26 (7.86)	.52 /Medium
	CG	11.24 (.60)	10.86 (.71) [*]	13.03 (8.37)	
Squat jump (cm)	FTG	38.82 (5.79)	43.15 (5.24)	12.28 (12.91)	.57 /Medium
	CG	38.58 (4.77)	40.8 (4.76)	6.50 (6.50)	
Counter movement ump (CMJ)(cm)	FTG	41.61 (5.99)	43.57 (4.62)	6.71 (6.16)	.16 /Trivial
	CG	40.62 (4.12)	42.95 (4.44)	5.83 (4.98)	
Arm CMJ (cm)	FTG	50.97 (5.23)	52.91 (3.62)	3.72 (5.37)	.80 /Large
	CG	48.95 (5.49)	49.06 (4.93)	.61 (1.24)	
CMJI (cm)	FTG	23.18 (4.35)	28.72 (2.12) [‡]	27.54 (24.55)	1.11 /Large
	CG	25.31 (3.77)	26.53 (3.04)	6.54 (10.71)	
CMJNI (cm)	FTG	27.93 (3.85)	31.18 (1.85) ^{*†}	13.34 (12.31)	1.49 /Large
	CG	28.32 (3.18)	27.97 (3.54)	.33 (.79)	

Nota. Adaptado de “Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction” de Souissi, S., Wong, D. P., Dellal, A., Croisier, J. L., Ellouze, Z., & Chamari, K., 2011, *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(4), p.659.

5. Discusión

Eficacia del entrenamiento neuromuscular

El entrenamiento neuromuscular actúa significativamente sobre numerosos parámetros relevantes en la readaptación de deportistas con cirugía de ligamento cruzado anterior.

En primer lugar, se observa una mejoría en la percepción subjetiva por parte de los sujetos, tal y como muestra Elias et al. (2018), donde analizan la percepción de sintomatología, actividades de la vida diaria y funcionalidad de la rodilla, mediante el cuestionario del Comité Internacional de Documentación de la Rodilla (IKDC). En dicho estudio, los participantes lograron un progreso de 13 puntos, ligeramente inferior a los obtenidos por parte del grupo de trabajo de Ghaderi et al. (2021), donde se alcanzó una mejoría de 17 puntos. Asimismo, Nyland et al. (2020) evidencia una mejora significativa en la escala subjetiva Knee Outcome Survey Sports Activity Scale (KOS-SAS); en la que los participantes mostraban inicialmente valores anormales (2.9), y, una vez finalizado el protocolo, obtuvieron una puntuación subjetiva normal (1.3).

De igual modo, el entrenamiento neuromuscular afecta positivamente a la propiocepción de la rodilla (Ghaderi et al., 2020); en el cual, tras la realización de un protocolo de pliometría, fuerza y agilidad, los deportistas obtuvieron una mejora del 51,7% en marcadores de error de posicionamiento articular de la rodilla.

Con respecto a habilidades físicas, Soussi et al. (2011) refleja un fortalecimiento del 17,26% en pruebas de agilidad (Agility "T"), mientras que, en las pruebas funcionales de salto, exhiben una mejora del de 34,64% en single leg hop for distance, y del 32,15% en single leg triple hop, ambos en con la pierna operada. Estos valores concuerdan con los obtenidos por Elias et al. (2018), donde también se aprecian mejoras en single leg hop for distance a las 8 semanas de entrenamiento.

En relación con la potencia muscular, el entrenamiento neuromuscular supuso un incremento del 27,54% en los valores de CMJ unilateral con la pierna quirúrgica (Soussi et al., 2011).

Por otra parte, el entrenamiento neuromuscular es beneficioso para la biomecánica de los aterrizajes unipodales, fomentando un mayor ángulo de flexión de las articulaciones del MMII y tronco, dando lugar a aterrizajes blandos, los cuales suponen un menor riesgo para la articulación de la rodilla (Ghaderi et al., 2021; Nagelli et al., 2019a; Nagelli et al., 2019b; Nagelli et al., 2020).

Finalmente, con respecto a los datos obtenidos a medio-largo plazo, el entrenamiento neuromuscular, tal y como defiende Arundale et al. (2018), mejora los valores de RTP, logrando que un mayor número de deportistas recuperen su nivel previo a la lesión (95% a los dos años de la cirugía). A su vez, Nyland et al. (2020) muestran una disminución en el índice lesional, obteniendo un porcentaje de 6,7% a los 6,8 años.

Biomecánica del aterrizaje unipodal

Debido a la importancia de una correcta biomecánica de aterrizaje unipodal como medida preventiva de lesión de LCA, y teniendo en cuenta que dicha maniobra se repite a menudo en diversos deportes de contacto, varios estudios han analizado cómo se ve modificada tras la aplicación de un protocolo de entrenamiento neuromuscular.

Por un lado, Elias et al. (2018), muestra en su estudio realizado con 30 deportistas, cómo la implementación de un trabajo pliométrico disminuye el índice de co-contracción (CoI) en tareas de aterrizaje entre la musculatura flexora y extensora de rodilla, evidenciando un mayor control motor y una mejora en la absorción muscular de la fuerza, disminuyendo el riesgo de lesión articular o recidiva de LCA.

Por otra parte, Ghaderi et al. (2021), analiza mediante sistemas de captura de movimiento a deportistas ACLR, tras la realización de un protocolo de entrenamiento neuromuscular con foco atencional externo, en tareas de aterrizaje (single leg drop), obteniendo datos que muestran un aumento del 43,21%, 108,9%, y 58,37% en el pico de flexor de rodilla, tronco, y cadera, respectivamente. Estos valores concuerdan con los alcanzados por Nagelli et al. (2019a), mostrando un aumento en el ángulo de flexión y excursión sagital de la

rodilla; y Nagelli et al. (2019b), exhibiendo un incremento en el ángulo flexor de rodilla en el momento del contacto inicial en single leg drops.

Asimismo, con respecto a la biomecánica de la cadera, los datos obtenidos por Ghaderi et al. (2021), se encuentran en consonancia con los del estudio de Nagelli et al. (2020) donde se aprecia un aumento significativo en la excursión de cadera y una disminución del momento flexor de cadera.

Con respecto al vector de fuerza de reacción del suelo, tras la realización de los protocolos, se identificó un descenso del mismo (Ghaderi et al., 2021; Nagelli et al., 2019a; Nagelli et al., 2020), lo cual, acompañado del aumento de flexión de MMII, y una disminución en la excursión en plano frontal de la rodilla, evidenciando un menor movimiento en valgo, (Nagelli et al., 2019a) da lugar a un aterrizaje blando, en el que la musculatura absorbe gran parte de la fuerza, defendiendo así la eficacia del entrenamiento neuromuscular como papel preventivo de lesiones sobre la articulación de la rodilla.

Finalmente, la comparación de los datos obtenidos por deportistas ACLR con deportistas sanos (Nagelli et al., 2019a; Nagelli et al., 2019b; Nagelli et al. 2020) muestran cómo el entrenamiento neuromuscular puede revertir los patrones erróneos en la biomecánica del aterrizaje unipodal, consecuencia de la cirugía reconstructiva de LCA.

Entrenamiento neuromuscular actual en readaptación de LCA

Los protocolos neuromusculares de readaptación de LCA engloban distintos tipos de entrenamientos, incidiendo más o menos sobre determinadas capacidades físicas de los deportistas.

La reciente evidencia científica respalda el uso del entrenamiento de fuerza de MMII, tal y como aplica en su estudio Soussi et al. (2011) mediante el ejercicio del leg extension, progresando al aplicarle un mayor peso, de la misma forma que lo lleva a cabo Nyland et al. (2020). Asimismo, Ghaderi et al. (2021) potencia esta cualidad mediante ejercicios de squats bipodales y unipodales, y walking lunges, progresando con el tiempo a tareas con mayor demanda explosiva, coincidiendo así parcialmente con Arundale et al. (2018), el cual también emplea ejercicios de

fuerza de MMII como squats y nordic hamstrings. Estos últimos están encaminados a fortalecer la cadena posterior del MMII, al igual que el peso muerto romano y los lunge (Nagelli et al., 2019a; Nagelli et al., 2019b; Nagelli et al., 2020).

Asimismo, también se desarrolla en varios protocolos la fuerza de CORE y tronco, íntimamente relacionado con el equilibrio y la propiocepción, debido a la importancia de la estabilidad central sobre la correcta biomecánica de la rodilla. Estos se pueden trabajar mediante ejercicios con perturbaciones (Arundale et al., 2018; Nagelli et al., 2019a; Nagelli et al., 2019b; Nagelli et al., 2020), manteniéndose unipodalmente sobre superficies inestables, como el BOSU (Nagelli et al., 2019a; Nagelli et al., 2019b; Nagelli et al., 2020; Soussi et al., 2011) o mediante ejercicios de salto unipodales, como el single leg standing long jumps (Ghaderi et al., 2021).

Igualmente, otro de los aspectos trabajados en la mayoría de los protocolos recientes, es el entrenamiento pliométrico, tratando de desarrollar la fuerza explosiva, tal y como implementan en sus estudios Soussi et al. (2011) mediante saltos horizontales, verticales y laterales, progresando de bipodal a unipodal; Ghaderi et al. (2021), por medio de saltos horizontales y verticales (CMJ), combinado con aterrizajes (drop jump bipodal), empleados a su vez estos últimos por Arundale et al. (2018) en su protocolo, combinado con saltos horizontales y laterales unipodales (triple single leg hop) y progresando a tuck jumps. Asimismo, el entrenamiento realizado por Nagelli et al., (2019b) muestra una progresión de 4 niveles de dificultad en salto bipodal, siendo el más complejo el tuck jump. Por otra parte, Elias et al. (2018) realiza un protocolo únicamente de pliometría, progresando desde ejercicios básicos técnicos (lateral jumps, vertical jumps), hasta ejercicios específicos de agilidad, incrementando a su vez el volumen de contactos.

Sabiendo la importancia de la biomecánica de aterrizajes en la prevención de recidivas de LCA, algunos protocolos implementan tareas para mejorar la técnica de aterrizaje, centrándose principalmente en ejercicios de drop jumps (Ghaderi et

al., 2020; Ghaderi et al 2021) y saltos unipodales (Nagelli et al., 2019a; Nagelli et al., 2019b; Nagelli et al., 2020).

Por otra parte, con el objetivo de mejorar el rendimiento de los deportistas, así como su control neuromuscular, también se incluye en algunos protocolos el trabajo de agilidad, tal y como defienden Arundale et al., (2018); Nyland et al., (2020); y Soussi et al., (2011). Además, este último lo desarrolla paralelamente al entrenamiento de velocidad (progresando a sprints) y cambios de dirección.

Finalmente, son escasos los protocolos que desarrollan un trabajo más individualizado de tareas propias del deporte, como los defendidos por Soussi et al., (2011) y Arundale et al., (2018) en sus estudios.

6. Futuras líneas de investigación

Los artículos analizados en este trabajo, con sus consecuentes limitaciones y resultados obtenidos, dejan entrever posibles campos de investigación de cara al futuro. A continuación, se exponen algunos de ellos:

- En primer lugar, una posible línea de investigación sería realizar estudios con muestras más amplias, que permitan conocer como afecta el entrenamiento neuromuscular a una mayor parte de población.
- Asimismo, en referencia a la muestra, sería interesante comparar cómo afecta el entrenamiento en función del sexo, teniendo en cuenta las diferencias biomecánicas y fisiológicas existentes entre hombres y mujeres.
- Igualmente, teniendo en cuenta que los sujetos de la muestra son atletas, se podría estudiar la eficacia del entrenamiento neuromuscular en función del nivel al que compiten (recreativo, regional, profesional, etc), ya que las demandas en la competición de élite son completamente distintas al amateur.
- Por otra parte, surge como posible línea de investigación valorar el efecto del entrenamiento comparando las distintas técnicas quirúrgicas a las que han sido sometidos los atletas, así como el tipo de plastia (aloinjerto o injerto autólogo de isquiritibiales, hueso-tendón-hueso, etc).

- En vista de los déficits biomecánicos que presentan los deportistas ACLR una vez superada la vuelta a la competición, así como el alto número de recidivas, una posible línea de investigación sería analizar las valoraciones (test de salto, fuerza...) que otorgan mayor especificidad y sensibilidad en función del deporte, con el objetivo de lograr una vuelta segura.
- Teniendo en cuenta el amplio abanico de ejercicios que se engloban dentro del entrenamiento neuromuscular (pliométrico, fortalecimiento de CORE, fuerza y potencia de MMII, etc), podría ser interesante analizar cual de ellos tiene una mayor relevancia a la hora de corregir los déficits biomecánicos, y reducir el riesgo de re-lesión.
- En base a que la intervención de cada estudio presenta una extensión distinta, (abarcando desde 4 a 8 semanas), se podría investigar cual es el tiempo optimo de duración del protocolo de entrenamiento para obtener los resultados deseados.
- Finalmente, sería relevante el estudio de los parámetros de entrenamiento a aplicar (frecuencia, volumen, descansos, intensidad, etc), con el objetivo de crear un protocolo unificado de readaptación de LCA.

7. Conclusiones

El entrenamiento neuromuscular se postula, acorde con la evidencia científica actual, como una herramienta beneficiosa en deportistas sometidos a cirugía reconstructiva de ligamento cruzado anterior.

Esto se debe, principalmente, a la evidente mejora que produce en diversos aspectos fundamentales para una óptima readaptación. Aspectos subjetivos, como la propiocepción y la percepción subjetiva de la rodilla (clínica y funcionalmente); y aspectos objetivos, como la fuerza y potencia de miembro inferior, agilidad, funcionalidad y biomecánica de los aterrizajes unipodales, valorado mediante pruebas con alta sensibilidad y especificidad, de forma cuantitativa y/o cualitativa.

Teniendo en cuenta la importancia de una correcta técnica de aterrizaje unipodal debido a su estrecha relación con el mecanismo lesional de LCA, la mejora en este aspecto supone una considerable disminución del riesgo de recidiva de LCA.

El perfeccionamiento de la mecánica mediante el entrenamiento neuromuscular logra un aumento en los picos flexores de las articulaciones de MMII (cadera y rodilla), así como del tronco, otorgándole a la musculatura una mayor capacidad amortiguadora, y disminuyendo así el vector de fuerza de reacción del suelo, dando lugar a un tipo de aterrizaje blando, el cual protege la articulación de la rodilla.

La obtención de estos resultados se debe, según la evidencia científica actual (de los últimos diez años) a la realización de protocolos de entrenamiento que combinan, en mayor medida, el trabajo de fuerza de MMII, CORE, control neuromuscular y pliometría, con ejercicios de agilidad, velocidad y tareas propias del deporte.

8. Referencias bibliográficas

- Arundale, A. J. H., Capin, J. J., Zarzycki, R., Smith, A. H., & Snyder-Mackler, L. (2018). Two year ACL reinjury rate of 2,5%: Outcomes report of the men in a secondary ACL injury prevention program (ACL-SPORTS). *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(3), 422-431. <https://doi.org/10.26603/ijsppt20180422>
- Di Stasi, S., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2013). Neuromuscular training to target deficits associated with second anterior cruciate ligament injury. In *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(11), 777-792. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4693>
- Elias, A. R. C., Harris, K. J., LaStayo, P. C., & Mizner, R. L. (2018). Clinical Efficacy of Jump Training Augmented With Body Weight Support After ACL Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Sports Medicine*, 46(7), 1650-1660. <https://doi.org/10.1177/0363546518759052>
- Ghaderi, M., Letafatkar, A., Almonroeder, T. G., & Keyhani, S. (2020). Neuromuscular training improves knee proprioception in athletes with a history of anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *Clinical Biomechanics*. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2020.105157>

- Ghaderi, M., Letafatkar, A., Thomas, A. C., & Keyhani, S. (2021). Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), 13-49. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00275-3>
- Grooms, D. R., Page, S. J., Nichols-Larsen, D. S., Chaudhari, A. M. W., White, S. E., & Onate, J. A. (2017). Neuroplasticity associated with anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 47(3), 180-189. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7003>
- Nagelli, C., Di Stasi, S., Tatarski, R., Chen, A., Wordeman, S., Hoffman, J., & Hewett, T. E. (2020). Neuromuscular Training Improves Self-Reported Function and Single-Leg Landing Hip Biomechanics in Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(10), 1-7. <https://doi.org/10.1177/2325967120959347>
- Nagelli, C. V., Di Stasi, S., Wordeman, S. C., Chen, A., Tatarski, R., Hoffman, J., & Hewett, T. E. (2019). Knee Biomechanical Deficits During a Single-Leg Landing Task Are Addressed With Neuromuscular Training in Anterior Cruciate Ligament–Reconstructed Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 31(6), 347-353. <https://doi.org/10.1097/jsm.0000000000000792>
- Nagelli, C. V., Wordeman, S. C., Di Stasi, S., Hoffman, J., Marulli, T., & Hewett, T. E. (2019). Neuromuscular Training Improves Biomechanical Deficits at the Knee in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 31(2), 113-119. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000723>
- Nyland, J., Gamble, C., Franklin, T., & Caborn, D. N. M. (2017). Permanent knee sensorimotor system changes following ACL injury and surgery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25, 1461-1474. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4432-y>

Nyland, J., Greene, J., Carter, S., Brey, J., Krupp, R., & Caborn, D. (2020). Return to sports bridge program improves outcomes, decreases ipsilateral knee re-injury and contralateral knee injury rates post-ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(11), 3676-3685.
<https://doi.org/10.1007/s00167-020-06162-7>

Souissi, S., Wong, D. P., Dellal, A., Croisier, J. L., Ellouze, Z., & Chamari, K. (2011). Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(4), 655-664.