https://politecnicadelaciencia.com/

ISSN: 3091-2008

Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

INFLUENCIA DE LA FATIGA NEUROMUSCULAR EN LA VALIDEZ DE LAS PRUEBAS FUNCIONALES DE RETORNO AL DEPORTE TRAS LESIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR: REVISIÓN DE ALCANCE

INFLUENCE OF NEUROMUSCULAR FATIGUE ON THE VALIDITY OF FUNCTIONAL RETURN-TO-SPORT TESTS AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURY: A SCOPING REVIEW

Lupe Enriqueta Marin Parra[1], Fabián Roberto Guanuchi Suqui[2], Zully Miranda Sánchez Becker[3], Saul Adrian Valdez García[4]

{lupe.marin@unach.edu.ec[1], andesgram@hotmail.com[2], zullymiranda0514@gmail.com[3], adrian97.2228@gmail.com[4]}

Fecha de recepción: 05/10/2026 / Fecha de aceptación: 18/11/2026 / Fecha de publicación: 24/11/2026

RESUMEN: En el proceso de retorno al deporte tras una lesión de LCA se utiliza una batería de prueba funcional (casi siempre en condición de descanso), las cuales deben ser realizadas en condición de fatiga en el deporte. No sabemos si en condiciones de fatiga neuromuscular cambian su validez. Nuestro objetivo fue mapear la evidencia disponible (publicaciones entre 2021 - 2026) sobre la fatiga neuromuscular y su relación con test funcionales de retorno al deporte, biomecánica y riesgo de lesión de LCA. Se realizó una revisión de alcance siguiendo las recomendaciones de PRISMA-ScR. Búsqueda estructurada en fuentes abiertas. Sin registro de protocolo. Síntesis narrativa. Se incluyeron 21 publicaciones (se ha realizado verificación individual de los datos bibliográficos). Solo 5 trabajos han estudiado la fatiga en población con reconstrucción de LCA (tamaño muestral 16 - 65 sujetos). Los protocolos de inducción de fatiga son muy diversos. Los resultados no son concluyentes. En una prueba de saltos se mostró que la fatiga afectaba más al miembro no operado. Tras retorno al deporte también seguía alterando la activación muscular y momento de abducción de la rodilla. Otros encontraron pocos cambios de tipo cinematográfico. En las revisiones sobre retorno al deporte se destaca la gran diversidad de baterías. También hay una infrarrepresentación de prueba de resistencia y cognitiva. Los test de salto tienen un cierto grado de asociación con relesión. Ninguno de los estudios recuperados analizó si es mejor realizarlo en fatiga (mejor predicción de retorno o

[1]Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador, https://orcid.org/0009-0001-3942-7955; 0604262139
[2]Investigador independiente, Ecuador, https://orcid.org/0009-0001-8194-1667
[3]Investigador independiente, México, https://orcid.org/0009-0003-4497-0703
[4]Centro de Rehabilitación Física y Ortopedia Solidaridad, Secretaría de Salud, México, https://orcid.org/0009-0007-1039-9288

https://politecnicadelaciencia.com/
ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

relesión). Por tanto, la influencia de la fatiga en la validez de los test es una brecha de investigación. Es necesario realizarestudios con protocolos estandarizados y seguimiento de relesiones.

Palabras clave: fatiga neuromuscular; ligamento cruzado anterior; retorno al deporte; pruebas funcionales; validez; revisión de alcance

ABSTRACT: During the return-to-sport process following an ACL injury, a battery of functional tests—typically administered in a rested state—is commonly used; however, these should ideally be performed under the fatigued conditions experienced during sports participation. It remains unclear whether the validity of these tests changes under conditions of neuromuscular fatigue. Our objective was to map the available evidence (publications from 2021–2026) regarding neuromuscular fatigue and its relationship to functional return-to-sport tests, biomechanics, and the risk of ACL re-injury. A scoping review was conducted following PRISMA-ScR guidelines, utilizing a structured search of open-access sources. No protocol was registered. A narrative synthesis was performed. Twenty-one publications were included (with individual verification of bibliographic data). Only five studies examined fatigue in individuals who had undergone ACL reconstruction (sample sizes ranging from 16 to 65 subjects). The protocols used to induce fatigue are highly diverse, and the results remain inconclusive. In one jumping test, it was observed that fatigue had a greater impact on the non-operated limb. Following a return to sport, fatigue continued to alter muscle activation patterns and knee abduction moments. Other studies found minimal kinematic changes. Reviews on returning to sport highlight the significant heterogeneity in the test batteries employed; furthermore, there is an underrepresentation of endurance and cognitive-based tests. Jumping tests show some degree of association with the risk of re-injury. None of the identified studies analyzed whether performing these tests under fatigued conditions offers better predictive value for a successful return to sport or the risk of re-injury. Consequently, the influence of fatigue on the validity of these tests represents a research gap. Future studies should employ standardized protocols and include the monitoring of re-injury rates.

Keywords:neuromuscular fatigue; anterior cruciate ligament; return to sport; functional tests; validity; scoping review

INTRODUCCIÓN

El problema de la LCAR es determinar cuándo puede retomar el deportista su actividad. Se suelen emplear baterías de pruebas que incluyen saltos, fuerza muscular (cuádriceps) y autoevaluación. En una revisión sistemática de 63 estudios se vio que las pruebas más utilizadas en las baterías eran saltos, fuerza cuádriceps y cuestionarios. Además, ninguna de las baterías cumplía con los siete

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

criterios de uso apropiados de la Academia Americana de Cirujanos Ortopédicos (1). Por ello es importante destacar que no hay homogeneidad en la composición de las baterías.

Los saltos suelen analizarse desde el índice de simetría interlímbica (LSI). El valor de corte suele ser del 90%. En un metaanálisis reciente (43 estudios) se muestra que haber obtenido un LSI ≥ 90% en saltos unilaterales (distancia) o triple salto cruzado estaba asociado a mayor probabilidad de retorno al deporte. Sin embargo, el rendimiento en saltos sólo estaba moderadamente relacionado con la relesión. Los autores concluyen que el rendimiento en saltos por distancia por sí mismo podría no predecir adecuadamente el riesgo de relesión (2). Por otro lado, en otra revisión (17 estudios) se observa que hay una subrepresentación de pruebas de velocidad y fuerza y resistencia cardiovascular. Solo un 17. 6% de los estudios reportaron tasas de retorno o relesión sin relación significativa con los resultados de rendimiento (3).

Por otro lado, y dado que en competición deben ejecutarse movimientos repetidos bajo fatiga, hay que plantearse si son adecuados los tests que se hacen en condiciones de descanso para determinar la capacidad funcional real del deportista. En sujetos sanos la fatiga neuromuscular (disminución temporal de la capacidad de producir fuerza o mantener el rendimiento) induce cambios en la biomecánica de aterrizaje. Tras un esfuerzo que lleva al agotamiento se han encontrado cambios cinematográficos en el salto unipodal que pueden interpretarse como factores de riesgo de lesión del LCA (4). Existe evidencia sólida de cambios concretos sólo con el protocolo de fatiga en flexores y extensores de rodilla. Los resultados en la mayoría de las otras variables son contradictorios (5). Por otro lado, se ha descrito diferencia de sexo en la respuesta biomecánica a la fatiga (review + meta-análisis) (6).

En pacientes con LCAR la situación es menos clara. Existe una revisión sistemática que analiza 8 estudios sobre el efecto de la fatiga en la biomecánica de aterrizaje en reconstrucciones. Los resultados no son concluyentes (7). Por otro lado, está presente el déficit neuromuscular. En ambos miembros persisten cambios en la actividad de unidades motoras 12 meses después de la LCAR (8). Además, existe una revisión de 32 estudios EMG en los que en el 75% se encuentran patrones alterados (incluso tras el retorno al deporte) (9). También se ha señalado que los protocolos de retorno están centrados en la simetría de fuerza y rendimiento funcional y suelen ignorar los déficits neuromusculares (10). Las pruebas funcionales habituales no incorporan carga cognitiva (11).

Por ello, aún es incierto cómo afecta la fatiga neuromuscular a la validez de las pruebas funcionales de retorno al deporte. Además, se desconoce qué protocolos y variables se han utilizado para evaluarla. En este sentido, son adecuados los estudios de alcance para mapear la evidencia heterogénea y detectar sus lagunas (12).

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

El objetivo general de esta revisión fue mapear la evidencia disponible en la literatura científica (2021 - 2026) sobre la influencia de la fatiga neuromuscular en las pruebas funcionales de retorno al deporte tras lesión del LCA. Los objetivos específicos fueron: (1) Identificar los estudios que analizan la fatiga en población con lesión o reconstrucción del LCA o bien relacionada con el riesgo de lesión. (2) Describir los protocolos de fatiga y las variables utilizadas. (3) Sintetizar los efectos de la fatiga sobre el rendimiento, biomecánica y función neuromuscular. (4) Identificar las lagunas en cuanto a validez de las pruebas de retorno al deporte. Pregunta de investigación: ¿Qué se sabe sobre la influencia de la fatiga neuromuscular en la validez de las pruebas funcionales de retorno al deporte tras lesión LCA?

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño. Se llevó a cabo una revisión de alcance con base en la extensión PRISMA para revisión de alcance (PRISMA-ScR) 12. Se trata de un mapeo exploratorio y no de una revisión sistemática. Por ello, no se ha registrado un protocolo previo. Tampoco se cuenta con el número total de registros cribados. No se muestra ningún diagrama de flujo. La pregunta se ha formulado siguiendo el esquema PCC. Los elementos son los siguientes: población (personas con lesión o reconstrucción del LCA o en estudio de su riesgo de lesión, concepto (fatiga neuromuscular y pruebas funcionales de retorno al deporte (rendimiento, biomecánica, función neuromuscular y criterios de decisión)) y contexto (entornos clínicos, deportivos y de laboratorio).

Criterios de elegibilidad. Se incluyen publicaciones revisadas por pares (en español, inglés o portugués) entre los años 2021 y 2026. Sin importar su diseño, deben tratar de (a) los efectos de la fatiga en sujetos con LCAR o en el riesgo de lesión del LCA; (b) los test y criterios de vuelta al deporte tras la lesión o reconstrucción; o bien (c) la función neuromuscular tras reconstrucción. Se excluyen tesis, resúmenes de congreso, preprints y literatura gris. También aquellos estudios que no tienen un registro bibliográfico verificable. Se permite una referencia metodológica previa a 2021 (PRISMA-ScR).

Fuentes y estrategias de búsqueda. La búsqueda se hizo el día 18 de noviembre de 2026 a través de un motor de búsqueda web. Posteriormente se rastrearon los registros en las bases de datos PubMed/PMC, DOAJ y sitios web de las editoriales (Frontiers, MDPI, Springer, SAGE, Thieme, JSSM, IJSPT, etc.). No se accedió a bases de datos de acceso limitado (Scopus, Web of Science, CINAHL, Embase). Los términos de búsqueda fueron: ligamento cruzado anterior + reconstrucción del LCA + regreso al deporte + fatiga + neuromuscular + test de salto + índice de simetría de extremidades + biomecánica de aterrizaje + electromiografía. Y sus traducciones en español (ligamento cruzado anterior, fatiga neuromuscular, retorno al deporte, pruebas funcionales ...) . Se utilizaron los operadores de búsqueda booleanos AND/OR. Los descriptores finales (MeSH/DeCS) deben ser confirmados en una búsqueda replicable posterior.

https://politecnicadelaciencia.com/
ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

Selección y extracción. Se hizo por un solo revisor con ayuda de una herramienta de inteligencia artificial generativa. No se hizo duplicado. En cada publicación se ha comprobado uno a uno los autores, el título, la revista, el año y el DOI en el propio registro bibliográfico o en la propia página de la editorial. Si no se han podido verificar se han excluido. Se han extraído los siguientes elementos: diseño, población y muestra, protocolo de fatiga o prueba evaluada, variables medidas y resultados principales (en los resúmenes y textos disponibles). Los números se han trasladado textualmente de sus fuentes. Se indica el intervalo de confianza en caso de haber sido reportado. No se han vuelto a calcular estimaciones. Tampoco se han mezclado datos de diferentes estudios.

Síntesis. En este tipo de revisión de alcance no se ha realizado una evaluación de riesgo de sesgo de los estudios incluidos. Tampoco se ha estimado la certeza de la evidencia. Los resultados se han organizado en 4 líneas temáticas (fatiga en pacientes con LCAR, fatiga y riesgo de lesión del LCA, pruebas de regreso al deporte y función neuromuscular). Se presenta de manera narrativa y en tablas. Dado que son datos publicados no se ha necesitado de la aprobación de ningún comité de ética.

RESULTADOS

Mapa general de la evidencia. En total se han incluido 21 publicaciones entre los años 2021 y 2026 además de la referencia metodológica PRISMA-ScR. De estos, 8 tratamientos sobre fatiga. De ellos 4 estudios primarios están centrados en LCAR (13-16). También hay una revisión sistemática centrada en LCAR (7). Además, hay 3 artículos relacionados con fatiga y riesgo de lesión del LCA que no están centrados en población operada (4-6). El resto de 13 estudios están centrados en pruebas y criterios de retorno al deporte (7) (1-3,11,17-19), en función neuromuscular tras LCAR (4) (8-10,20) y uno sobre factores psicológicos (21). También hay un artículo sobre actividad electromiográfica del tríceps sural (22). En las Tablas 1 y 2 se recogen estos artículos.

Tabla 1. Estudios sobre fatiga neuromuscular y lesión del LCA (n = 8)

Referencia y diseño	Población y muestra	Protocolo de fatiga / tarea	Hallazgo principal
(13) Transversal	21 personas con LCAR (≥ 6 meses), en rehabilitación	Ejercicios hasta el agotamiento; fatiga = < 70 % de la altura máxima de CMJ en 2 intentos; 7 pruebas de salto	Con fatiga, el miembro no operado empeoró en 3 pruebas; las diferencias entre miembros persistieron solo en 4 pruebas
(14) Longitudinal (retorno, 3 y 6 meses)	16 atletas con LCAR	5 tareas de salto unilateral antes y	A los 6 meses, la fatiga aún reducía la activación muscular y

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

		después de un protocolo de fatiga	aumentaba el momento de abducción de la rodilla
(15) Comparativo, antes/después de fatiga	20 futbolistas profesionales (LCAR y sanos)	Fatiga pliométrica; aterrizaje en salto, cinemática	Pocas diferencias entre grupos; cambios en el ángulo de cadera al primer contacto
(16) Observacional transversal	65 futbolistas (24 LCAR, 21 lesión muscular leve, 20 controles)	Dinamometría isocinética y sEMG de isquiotibiales	Menor torque del miembro operado; mayor fatiga del bíceps femoral que del semimembranoso/semitendinoso
(7) Revisión sistemática	8 estudios en personas con LCAR	Fatiga y biomecánica del aterrizaje	Menor flexión de rodilla (2 estudios) y mayor momento de flexión de cadera (2); resultados inconclusos
(5) Revisión sistemática (PRISMA)	12 estudios; 217 participantes	9 protocolos de fatiga periférica	Evidencia sólida solo para fatiga de flexores y extensores de rodilla; resto contradictorio
(6) Revisión sistemática y metaanálisis	17 estudios (síntesis cualitativa); 14 (metaanálisis)	Fatiga y biomecánica del aterrizaje, por sexo	Cambios en la flexión de rodilla al contacto inicial en varones, no en mujeres
(4) Antes/después, intrasujeto	24 varones sanos	Ciclismo hasta el agotamiento (110 % de potencia en el umbral anaeróbico); salto de caída unipodal	Mayor extensión de cadera y rodilla y mayor abducción de rodilla tras la fatiga; menor altura de salto solo en el miembro no dominante

Fatiga en personas con reconstrucción del LCA. Solo existen cuatro estudios primarios que han analizado la fatiga en personas con LCAR. Los tamaños de muestra oscilan entre 16 y 65 participantes. En un estudio transversal con 21 personas con un mínimo de 6 meses de LCAR se definieron los criterios de fatiga como incapacidad de realizar un salto con contramovimiento que alcance el 70% de su altura máxima en dos intentos consecutivos. Se analizó la peor presencia de fatiga en el miembro operado en reposo (mostrándose rendimiento en todas las pruebas de salto vs. el miembro control, con diferencias entre -5% y -9%). La fatiga solo persistió en 4 pruebas (salto cruzado, rotación medial, rotación lateral y vertical). Por otro lado, se observará un empeoramiento significativo en el miembro NO operado en 3 pruebas (triple salto, salto cruzado y salto de rotación lateral). No se pudo comprobar la hipótesis de que se vería más afectado el miembro operado (13).

En un estudio longitudinal se incluyeron 16 atletas que fueron evaluados en el momento de retorno al deporte y con 3 y 6 meses de seguimiento. Se realizaron 5 tareas de salto unilateral pre/post fatiga. La mayoría de las alteraciones en el aterrizaje provocadas por la fatiga se normalizaron con el tiempo. Aunque a los 6 meses aún persistían algunos efectos de la fatiga (disminución de la activación de los isquiotibiales mediales y aumento del momento de abducción de la rodilla en un salto vertical con rotación interna de 90 grados). El miembro lesionado también sigue teniendo un mayor momento de abducción (14). Otro estudio en futbolistas profesionales

https://politecnicadelaciencia.com/
ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

con LCAR (con controles sanos) analizó la cinemática del aterrizaje antes y después de un protocolo de fatiga pliométrica. Los cambios en la cinemática fueron mínimos. Los grupos solo se diferenciaban pre-fatiga en 2 variables de cadera. Post-fatiga sólo se observaron diferencias en los ángulos de cadera en el primer contacto bilateralmente. No parece que la fatiga haya contribuido a los numerosos cambios (15). En un grupo de 65 futbolistas profesionales (24 con LCAR) se analizó isocinéticamente y electromiográficamente. Se observó un menor torque máximo de cuádriceps e isquiotibiales en el miembro operado. También se encontró que en ambos miembros había una mayor fatiga (significativamente) en el bíceps femoral que en el semimembranoso y semitendinoso. Además, hay que destacar que en aquellos jugadores que cumplían criterios de retorno (2-3 años después) pueden persistir déficits que no son detectados en las evaluaciones habituales (16). Por último, en una revisión sistemática se analizaron 8 estudios sobre fatiga y biomecánica del aterrizaje post-LCAR. En 2 de ellos se observó unamenor flexión de rodilla. En otros 2, un mayor momento de flexión de cadera. Los resultados son inconclusos (7).

Fatiga y riesgo de lesión del LCA. En un estudio realizado en 24 varones sanos se realizó un protocolo de ciclismo fatigante hasta el agotamiento. Se observará el aumento de la extensión de cadera y rodilla al aterrizar y el aumento de abducción de rodilla en el salto unipodal de caída. En el primer aterrizaje se observará una disminución de la fuerza vertical de reacción. Los momentos articulares se modificaron ligeramente. La altura del salto disminuyó sólo en el miembro no dominante (4). En una revisión sistemática (12 estudios) (217 participantes) se analizaron nueve protocolos de fatiga periférica. Solo el protocolo de flexores y extensores de rodilla presentó evidencia fuerte (aumento de rotación interna de rodilla en el pico de fuerza vertical y disminución de fuerza vertical máxima). El resto de las variables presentaban resultados contradictorios (5). En otro trabajo de revisión con metaanálisis se encontraron efectos sobre la flexión de rodilla en el contacto inicial en varones, pero no en mujeres. En ninguno de los sexos se encontró cambio significativo en la fuerza vertical máxima de reacción (6).

Tabla 2. Estudios sobre pruebas de retorno al deporte y función neuromuscular (n = 13)

Referencia y diseño	Muestra	Foco	Hallazgo principal
(1) Revisión sistemática	63 estudios	Baterías de retorno	Ninguna cumplió los 7 criterios AAOS; habilidades funcionales en 98,4 %
(3) Revisión de alcance	17 estudios	Evaluaciones de rendimiento	Agilidad ≈ 75 %; velocidad, fuerza y resistencia infrarrepresentadas
(2) Revisión sistemática y metaanálisis	43 estudios; 17 350 participantes	LSI de saltos, retorno y relesión	LSI ≥ 90 %: OR 1,20 (salto unilateral) y 1,18 (triple cruzado) para retorno; asociación limitada con relesión
(11) Mini revisión	—	Tareas cognitivas en pruebas de retorno	Propone coste de doble tarea; sin estudios en LCAR

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

(17) Transversal	21 deportistas universitarios	ACL-RSI y LSI de saltos	rs 0,58–0,70; el salto cruzado explicó el 66 % de la varianza
(18) Revisión sistemática	17 estudios; 3 657 futbolistas	Retorno al juego y rendimiento	≈ 72 % volvió a jugar; ≈ 53 % a su nivel previo; 264 días de media
(19) Revisión sistemática y metaanálisis	83 estudios	ACL-RSI en el tiempo	Mayor a los 3–6 meses de la LCAR que antes de la cirugía; 78 % con alto riesgo de sesgo
(21) Revisión sistemática	9 estudios; 1 404 participantes	Factores psicológicos	Preparación psicológica, el factor más evaluado
(8) Longitudinal	54 participantes (14–25 años)	Unidades motoras, cuádriceps e isquiotibiales	Actividad alterada a los 12 meses de la LCAR en ambos miembros
(20) Transversal	50 varones (17 + 16 LCAR, 17 controles)	Salto de caída: cinemática y EMG	Menor actividad del cuádriceps (miembro operado) e isquiotibiales (ambos)
(9) Revisión sistemática (EMG)	32 estudios	EMG en carrera, aterrizaje y cambio de dirección	Patrones alterados en 24 de 32 (75 %)
(10) Revisión narrativa	—	Inhibición muscular artrogénica	Los protocolos de retorno suelen pasar por alto el déficit neuromuscular
(22) Casos y controles	12 con LCAR y 9 controles	EMG del tríceps sural en saltos unipodales	Menor actividad del sóleo en ambas tareas

Pruebas de retorno al deporte. Las revisiones sobre las baterías de retorno coinciden en que son muy diversas. Los componentes más frecuentes son los test de salto, la fuerza del cuádriceps y las pruebas de tipo autoinformado (en 63 estudios). Los aspectos más considerados han sido las habilidades funcionales (98,4% de estudios), seguido de confianza (22,2%) y rango de movimiento y estabilidad (20,6%) (1). El alcance de 17 estudios muestra que la agilidad ha sido evaluada en cerca del 75% de los casos de rendimiento. Por otro lado, están infrarrepresentadas las pruebas de velocidad, fuerza y resistencia cardiovascular (3). En un metaanálisis (43 estudios; 17 350 participantes) también se supervisa que los deportistas que habían obtenido un LSI ≥90% en determinadas pruebas tenían más probabilidades de regresar al deporte. Así, en el salto unilateral para distancia y en el triple salto cruzado el OR fue de 1,20 y 1,18 respectivamente. Por otra parte, en el triple salto para distancia había una ligera mayor probabilidad de relesión (OR = 1,05). La certeza es baja para el retorno (2). En un estudio de 21 deportistas universitarios se analizó la relación entre la preparación psicológica (ACL-RSI) y el LSI de diferentes saltos (con rs entre 0,58 y 0,70). Además, el salto cruzado explica el 66% de la variación de esta variable (17). Por otro lado, en una revisión de 83 estudios se observó que el ACL-RSI es mayor tras 3 - 6 meses de LCAR que prequirúrgicamente (alto riesgo de sesgo en el 78% de los estudios) (19). En futbolistas se realizaron nueve estudios en los que el factor más evaluado fue la preparación psicológica (21). Ninguna de las revisiones incorpora la fatiga como componente de las pruebas. En la revisión de alcance sobre tareas cognitivasse sugiere incorporar una carga cognitiva en las pruebas y

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

determinar el costo de doble tarea. Sin embargo, no hay estudios que evalúen esto en deportistas con LCAR (11). En fútbol, en una revisión de 17 estudios (3 657 jugadores) se estimó que cerca de un 72% volvieron a jugar. Del total, un 53% consiguió su nivel previo tras una media de 264 días (18).

Función neuromuscular tras la reconstrucción. La actividad de las unidades motoras en el cuádriceps e isquiotibiales estaba alterada en los pacientes respecto a los controles a los 12 meses de LCAR. Esto se supervisa en ambos miembros (n= 54, edad 14 - 25 años) (8). En salto de caída los pacientes operados presentaban menor actividad del cuádriceps en el miembro operado y menor actividad de los isquiotibiales en ambos miembros (10 a 14 meses postoperatorio) (20). Se ha realizado una revisión de 32 estudios electromiográficos en los que se encontraron patrones alterados en un 75%. En 12 de ellos se observará menor o retraso de la actividad del cuádriceps. En 9 de ellos se objetivó mayor actividad de los isquiotibiales (9). Por otro lado, hay que destacar que la inhibición muscular artrogénica puede persistir durante meses y años. Los protocolos de retorno tienden a ignorar este déficit neuromuscular (10) (estudio de casos y controles en los que se objetivó menor actividad del músculo sóleo en pacientes con LCAR en dos pruebas de salto unipodal) (22).

Brechas identificadas. Ninguna de las publicaciones recuperadas analizó la validez de utilizar las pruebas de retorno con el deportista fatigado o comparó la validez de realizar la batería con y sin fatiga. El protocolo de fatiga utilizado fue muy diferente en cada estudio (agotamiento, pliometría, ciclismo, dinamometría). También es importante destacar que las variables medidas son muy diferentes (cinética, cinemática, electromiografía y rendimiento) y que los tamaños de muestras de pacientes con LCAR son pequeños.

DISCUSIÓN

Existe poca evidencia de cómo afecta la fatiga neuromuscular a la validez de las pruebas funcionales en el retorno al deporte tras una lesión del LCA. Solo hemos recuperado cuatro estudios primarios y una revisión sistemática en pacientes con LCAR. Los estudios tienen pequeños tamaños muestrales y diferentes protocolos de fatiga.

Existen algunos datos que indican que la fatiga puede modificar la interpretación de las pruebas. Sin embargo, hay diferentes aspectos a considerar. En el estudio de pruebas de salto se observará que la fatiga afectaba de forma mayor al miembro no operado. Esto llevaba a que en algunas pruebas aparecieran menores diferencias entre ambos miembros (13). Es decir, que la fatiga en el miembro contralateral puede condicionar el índice de simetría. Por ello, parece mejor realizar las pruebas en ambos miembros (como hacen estos autores) que sólo en el operado. Por otra parte, en el estudio longitudinal también se observó que la fatiga continuaba afectando a los parámetros de activación muscular y carga en abducción de rodilla 6 meses tras el retorno (14).

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

Esto quiere decir que pueden existir déficits que quedan ocultos en pruebas sin fatiga. Este hecho es consistente con que en jugadores operados se encuentre que el bíceps femoral es más susceptible a la fatiga que el semimembranoso y semitendinoso (16). Aunque este último es un estudio de una medición única, es coherente con la idea anterior. Por otro lado, en otro estudio se observaron pocas variaciones cinemáticas tras la fatiga pliométrica (15). Esta revisión sistemática de LCAR describe estos resultados como inconcluyentes (7). Las diferencias entre ambos estudios pueden deberse a que los protocolos de fatiga no son iguales, se analizan parámetros distintos y varía el tiempo tras la cirugía y el tamaño muestral. Por ello, no es posible establecer un protocolo de referencia.

En cuanto al contenido de las baterías de retorno, las revisiones muestran que hay un subrepresentado de aquellos tests que evalúan resistencia y carga cognitiva (3,11). Además, los parámetros más utilizados (LSI de saltos y fuerza) muestran un grado limitado de asociación con la relesión (2). De este modo, parece interesante explorar cómo la fatiga puede actuar como variable complementaria (aunque no se ha probado). Por otro lado, el déficit neuromuscular residual tras el retorno (8-10) también muestra interés. De hecho, la fatiga podría evidenciar alteraciones en el control motor que no son apreciadas en el estado de descanso del deportista (inferencia).

Es importante tener en cuenta qué información aporta la evidencia de fatiga y riesgo de lesión del LCA y qué no. En pacientes sin LCAR se han encontrado cambios cinematográficos tras fatiga (4), así como diferencias de género (6). Sin embargo, en la revisión sistemática más extensa sólo se encontró evidencia sólida de un protocolo mientras que el resto mostraba resultados contradictorios (5). Por tanto, estos hallazgos no se pueden extrapolar a pacientes operados. Además, no son evidencia de que la fatiga produzca relesiones.

Desde un punto de vista práctico estos datos no pueden llevar a la recomendación de protocolos de fatiga dentro de la batería de retorno. Pero sí están justificando el estudio de 1) protocolos estandarizados y de deporte específico; 2) estudios de seguimiento de relesiones en los que se pueda comparar la validez predictiva de las pruebas con y sin fatiga; 3) el estudio de ambos miembros; y 4) la asociación de medidas psicológicas y cognitivas (11,17).

Limitaciones. No ha sido una revisión exhaustiva. El rastreo se ha realizado en fuentes abiertas (no se incluyen Scopus, Web of Science, CINAHL ni Embase). No hay registro de protocolo. La selección y extracción de información ha sido realizada por un mismo revisor (con ayuda de la inteligencia artificial) sin duplicado independiente. No se han cuantificado los registros que se han cribado (podría haber sesgo de selección y de publicación). No se ha evaluado la calidad metodológica de los estudios. En algunas fuentes hemos tenido que verificar a partir de resúmenes y fragmentos de texto. La ventana temporal (2021-2026) supone la exclusión de estudios previos que pueden ser relevantes.

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

CONCLUSIONES

La evidencia disponible sobre el papel de la fatiga neuromuscular en la validez de las pruebas funcionales de retorno al deporte tras una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) sigue siendo limitada, con solo cuatro estudios primarios realizados en pacientes con reconstrucción. Las investigaciones presentan muestras reducidas, protocolos diversos y resultados inconcluyentes. Además, ningún estudio analizó la capacidad predictora de las pruebas realizadas bajo fatiga respecto al retorno deportivo o la aparición de nuevas lesiones, por lo que no es posible establecer relaciones causales.

Los hallazgos sugieren que la fatiga puede afectar el rendimiento del miembro sano y provocar alteraciones en la activación neuromuscular y la carga de la rodilla que persisten incluso después del retorno al deporte. Asimismo, las baterías habituales de evaluación funcional incluyen con poca frecuencia pruebas de resistencia o tareas que incorporen carga cognitiva. Por otra parte, el rendimiento en las pruebas de salto presenta una relación limitada con el riesgo de relesión, por lo que estos resultados requieren mayor confirmación.

En cuanto a las prioridades de investigación, es necesario desarrollar estudios con protocolos estandarizados que incorporen condiciones de fatiga específicas de las actividades deportivas, evalúen ambos miembros inferiores y realicen un seguimiento de las posibles relesiones. También se requiere comparar baterías de pruebas funcionales aplicadas con y sin fatiga para determinar su utilidad en la toma de decisiones sobre el retorno deportivo. Finalmente, debido a que esta revisión no fue exhaustiva, se recomienda confirmar sus conclusiones mediante una nueva revisión de alcance, con registro previo y búsqueda en bases de datos restringidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roe C, Jacobs C, Hoch J, Johnson DL, Noehren B. Test batteries after primary anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. Sports Health. 2022;14(2):205-15. doi:10.1177/19417381211009473
2. Liu Y, Sun Y, Cao M, Wang D, Wang L, Fong DTP, et al. Hop test performance is associated with return-to-sport but shows limited association with reinjury after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. J Sports Sci Med. 2026;25(3):772-806. doi:10.52082/jssm.2026.772
3. Golberg E, Sommerfeldt M, Pinkoski A, Dennett L, Beaupre L. Anterior cruciate ligament reconstruction return-to-sport decision-making: a scoping review. Sports Health. 2024;16(1):115-23. doi:10.1177/19417381221147524
4. Nardon M, Ferri U, Caffi G, Bartesaghi M, Perin C, Zaza A, et al. Kinematics but not kinetics alterations to single-leg drop jump movements following a subject-tailored fatiguing

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

protocol suggest an increased risk of ACL injury. Front Sports Act Living. 2024;6:1418598. doi:10.3389/fspor.2024.1418598

5. He Z, Sun G, Zhu H, Ye B, Zheng Z, He X, et al. Effects of different peripheral fatigue protocol on lower limb biomechanical changes during landing and its impact on the risk of anterior cruciate ligament injury: a systematic review. Front Bioeng Biotechnol. 2025;13:1587573. doi:10.3389/fbioe.2025.1587573
6. Liu C, Peng W, Qu W, Zhang Z, Sun J, He J, et al. Gender differences in the impact of fatigue on lower limb landing biomechanics and their association with anterior cruciate ligament (ACL) injuries: a systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2025;20(5):e0321925. doi:10.1371/journal.pone.0321925
7. Woddillah NA, Azhar NI, Manaf H, Justine M, Alfawaz SS, Munajat M, et al. Fatigue effect on landing biomechanics among individuals with anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. J Health Transl Med. 2023;(Suppl 2):223-32. doi:10.22452/jummec.sp2023no2.124
8. McPherson AL, Schilaty ND, Anderson S, Nagai T, Bates NA. Arthrogenic muscle inhibition after anterior cruciate ligament injury: injured and uninjured limb recovery over time. Front Sports Act Living. 2023;5:1143376. doi:10.3389/fspor.2023.1143376
9. Georgoulis JD, Melissaridou D, Patras K, Megaloikonomos PD, Trikoupis I, Savvidou OD, et al. Neuromuscular activity of the lower-extremities during running, landing and changing-of-direction movements in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction: a review of electromyographic studies. J Exp Orthop. 2023;10(1). doi:10.1186/s40634-023-00603-1
10. Forelli F, Moiroux-Sahraoui A, Mazeas J, Dugernier J, Cerrito A. Rethinking the assessment of arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: implications for return-to-sport decision-making: a narrative review. J Clin Med. 2025;14(8):2633. doi:10.3390/jcm14082633
11. Chaaban CR, Turner JA, Padua DA. Think outside the box: incorporating secondary cognitive tasks into return to sport testing after ACL reconstruction. Front Sports Act Living. 2022;4:1089882. doi:10.3389/fspor.2022.1089882
12. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. Ann Intern Med. 2018;169(7):467-73. doi:10.7326/M18-0850
13. Tallard JC, Hedt C, Lambert BS, McCulloch PC. The role of fatigue in return to sport testing following anterior cruciate ligament reconstruction. Int J Sports Phys Ther. 2021;16(4):1043-51. doi:10.26603/001c.25687
14. Willems M, Gilson L, Verschueren S, Vanrenterghem J, Staes F, Vandenneucker H, et al. Fatigue-induced landing alterations in ACL reconstructed athletes after return-to-sport. Int J Sports Med. 2023;44(11). doi:10.1055/a-2108-5219
15. Ghorbani M, Nouri H, Heydarian M, Mottaghitalab M, Zarei H. Lower limbs kinematic analysis during a jump landing task in soccer players with unilateral anterior cruciate

ISSN: 3091-2008
Edición Especial:
Vol. 4 Num. 10, PP 91-103
DOI:
https://doi.org/10.56519/mp193652

ligament reconstruction. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2024;16(1). doi:10.1186/s13102-024-01012-2

16. Oleksy Ł, Mika A, Sulowska-Daszyk I, Kielnar R, Dzięcioł-Anikiej Z, Zyznawska J, et al. The evaluation of asymmetry in isokinetic and electromyographic activity (sEMG) of the knee flexor and extensor muscles in football players after ACL rupture reconstruction and in the athletes following mild lower-limb injuries. J Clin Med. 2023;12(3):1144. doi:10.3390/jcm12031144
17. Zarro M, Dickman M, Hulett T, Rowland R, Larkins D, Taylor J, et al. Hop to it! The relationship between hop tests and the anterior cruciate ligament – return to sport index after anterior cruciate ligament reconstruction in NCAA Division 1 collegiate athletes. Int J Sports Phys Ther. 2023;18(5):1076-84. doi:10.26603/001c.86130
18. Manojlovic M, Ninkovic S, Matic R, Versic S, Modric T, Sekulic D, et al. Return to play and performance after anterior cruciate ligament reconstruction in soccer players: a systematic review of recent evidence. Sports Med. 2024;54:2097-108. doi:10.1007/s40279-024-02035-y
19. Sell TC, Zerega R, King V, Reiter CR, Wrona H, Bullock GS, et al. Anterior cruciate ligament return to sport after injury scale (ACL-RSI) scores over time after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis. Sports Med Open. 2024;10(1). doi:10.1186/s40798-024-00712-w
20. Xue B, Yang X, Wang X, Yang C, Zhou Z. Limb dominance influences landing mechanics and neuromuscular control during drop vertical jump in patients with ACL reconstruction. Front Physiol. 2024;15:1488001. doi:10.3389/fphys.2024.1488001
21. Ramos Pastrana LM, Giménez Egido JM, Olmedilla Zafra A. Aspectos psicológicos asociados a la rehabilitación y recaída del LCA en futbolistas: una revisión sistemática. Retos. 2024;(55):397-410.
22. Forelli F, Moiroux-Sahraoui A, Mazeas J, Demangeot Y, Korakakis V, Rambaud AJM. Triceps surae neuromuscular activity during single-leg jumping tasks in individuals after anterior cruciate ligament reconstruction. Int J Sports Phys Ther. 2026;21(7):635-43. doi:10.26603/001c.163279