



Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud Universidad Abierta Interamericana

TESIS DE GRADO

"Variaciones en el tiempo de reacción neuromuscular
antes y después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior
en deportistas".
Revisión narrativa.

"Variations in the neuromuscular reaction time before and after anterior
cruciate ligament anterior cruciate ligament reconstruction in athletes".
Narrative review.

Alumno

Le Cabellec, Marianne Aline

MarianneAline.LeCabellec@Alumnos.uai.edu.ar

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

Tutor

Lic. Bonari Rodriguez A. Carolina

anacarolina.bonarirodriguez@uai.edu.ar

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

Buenos Aires, Argentina

Marzo, 2025

Agradecimientos

En primer lugar, mi más profundo agradecimiento a la profesora Carolina Bonari, quien, con su dedicación y generosidad, se puso al frente de la situación en momentos cruciales, brindándome el apoyo necesario para seguir adelante. Su compromiso no solo con esta tesis y la kinesiólogía, sino también con su admiración por la docencia, ha sido invaluable. Gracias por su paciencia, comprensión y por estar siempre dispuesta a ayudarme a superar los desafíos que surgieron durante el proceso.

A mis padres, cuyo sacrificio y esfuerzo hicieron posible que pudiera cursar mis estudios universitarios. Gracias por brindarme la oportunidad de crecer académica y personalmente, por su apoyo incondicional y por creer en mí en todo momento. Su dedicación y compromiso han sido la base sobre la que construí este camino, y este logro es tanto mío como suyo. Siempre estaré profundamente agradecida por todo lo que han hecho para que este sueño se haga realidad.

A mi familia, por su aliento y compañía han sido fundamentales para alcanzar esta meta. También agradezco su entusiasmo y paciencia al querer ser mis primeros pacientes, demostrando siempre su incondicionalidad y cariño.

A mi pareja, por su apoyo constante, su paciencia y por estar a mi lado en cada momento de este proceso. Gracias por ser mi refugio en los días difíciles, por tu aliento y por tu confianza en mí. Esta tesis lleva un pedacito de ti, porque tu amor, comprensión y motivación han sido clave para que llegara hasta aquí. Este logro también es tuyo, y te estaré siempre agradecida por todo lo que has hecho por mí.

A mis queridas mascotas, por su amor incondicional, su compañía y su alegría constante. Gracias por estar a mi lado durante este proceso, por brindarme consuelo en los momentos difíciles y por recordarme la importancia de la paciencia y el cariño. A mi perrita, que ya no está conmigo, le agradezco especialmente por su lealtad y su presencia, que me dio fuerza en los días más complicados. Aunque ya no esté aquí físicamente, su espíritu siempre estará presente en mi vida y en este logro.

A mis amigos de la facultad, por su apoyo constante, por compartir este camino lleno de desafíos y alegrías. Gracias por ser mis compañeros de estudio, por las conversaciones que aliviaron los momentos más difíciles y por brindar motivación en cada etapa de este proceso. A mi mejor amiga, por ser mi pilar incondicional, por su amistad, paciencia y siempre estar a mi lado en cada paso.

RESUMEN.....	4
Abstract	5
Introducción	6
Objetivos.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivo específico	8
Materiales y métodos	8
Estrategia de búsqueda	8
Criterios de inclusión	8
Criterios de exclusión.....	9
Proceso de selección de estudios	9
Desarrollo	9
Lesiones deportivas y su impacto en el sistema neuromuscular	10
Mecanismo de lesión del ligamento cruzado anterior.....	10
Reconstrucción del ligamento cruzado anterior y sus implicaciones.....	11
Rehabilitación y restauración del control neuromuscular.....	12
Tiempo de reacción en deportistas con lesión de LCA.....	13
¿Qué es el tiempo de reacción y cómo se recupera?.....	13
Importancia del rol del kinesiólogo en la recuperación.....	14
Resultados	15
Discusión	23
Comparación con otros estudios	23
Limitaciones y fortalezas de los estudios incluidos.....	23
Interpretación crítica de los resultados.....	24
Conclusión	24
Referencias	26

"Variaciones en el tiempo de reacción neuromuscular antes y después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior en deportistas". Revisión narrativa.

"Variations in the neuromuscular reaction time before and after anterior cruciate ligament anterior cruciate ligament reconstruction in athletes".

Narrative review.

Le Cabellec, M., Bonari Rodríguez A.

RESUMEN

Introducción: Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) son comunes en deportistas y pueden afectar el tiempo de reacción neuromuscular, fundamental para la estabilidad y el rendimiento. Tras la lesión, la pérdida de mecanorreceptores deteriora el control motor, incluso después de una cirugía reconstructiva. Esto puede prolongar la recuperación y aumentar el riesgo de nuevas lesiones. La rehabilitación juega un papel clave, integrando fortalecimiento muscular, control neuromuscular y entrenamiento perceptual. Un enfoque integral mejora la respuesta motora y facilita un retorno seguro al deporte.

Objetivo: Describir las variaciones en el tiempo de reacción neuromuscular antes y después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior en deportistas e identificar y describir los tratamientos aplicados, describiendo sus características y efectos para restablecer el tiempo de reacción. **Método:** Para la realización de esta revisión narrativa se seleccionaron los estudios relacionados sobre el tema de investigación mediante una búsqueda exhaustiva en Pubmed. La búsqueda fue realizada entre el 15 de agosto y 29 de noviembre del 2024. **Resultados:** Los estudios evidencian déficits neuromusculares tras la reconstrucción del LCA, afectando tiempo de reacción, control postural y fuerza. Se recomienda entrenamiento neuromotor y seguimiento prolongado para una recuperación óptima. **Conclusión:** La recuperación tras LCA requiere un enfoque integral que combine fortalecimiento, control neuromuscular y entrenamiento perceptual. Esto mejora el rendimiento y reduce el riesgo de lesiones. Su aplicación beneficia tanto la rehabilitación como el desempeño deportivo a largo plazo.

Palabras clave: Lesión de ligamento cruzado anterior, Riesgo de LCA, Deportes, Tiempo de Reacción, Tratamiento.

Abstract

Introduction: Anterior cruciate ligament (ACL) injuries are common among athletes and can affect neuromuscular reaction time, which is essential for stability and performance. Following an injury, the loss of mechanoreceptors impairs motor control, even after reconstructive surgery. This can prolong recovery and increase the risk of new injuries. Rehabilitation plays a key role, integrating muscle strengthening, neuromuscular control, and perceptual training. A comprehensive approach enhances motor response and facilitates a safe return to sports.

Objectives: To describe the variations in neuromuscular reaction time before and after anterior cruciate ligament reconstruction in athletes and to identify and describe the treatments applied, describing their characteristics and effects to restore reaction time.

Material and Methods: For this narrative review, related studies on the research topic were selected by means of an exhaustive search in Pubmed. The search was conducted between August 15 and November 29, 2024. Results: The studies show neuromuscular deficits after ACL reconstruction, affecting reaction time, postural control and strength. Neuromotor training and prolonged follow-up are recommended for optimal recovery.

Conclusion: Recovery after ACL requires a comprehensive approach combining strengthening, neuromuscular control and perceptual training. This improves performance and reduces the risk of injury. Its application benefits both rehabilitation and long-term sports performance.

Key words: Anterior cruciate ligament injury, ACL risk, Sports, Reaction time, Treatment.

Introducción

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) representan una de las afecciones más frecuentes y limitantes en los deportistas, impactando de manera significativa su capacidad para realizar actividades deportivas y sus tareas cotidianas. Se estima que cada año ocurren alrededor de 200,000 casos de lesiones del LCA en los Estados Unidos, y que hasta el 70% de estas lesiones son de origen no traumático, es decir, sin contacto físico directo. Su incidencia es mayor en deportes que implican cambios bruscos de dirección, saltos y aterrizajes, como el fútbol, el baloncesto y el esquí. Además, estudios han demostrado que las mujeres tienen entre dos y ocho veces más probabilidades de sufrir una lesión del LCA en comparación con los hombres, debido a factores biomecánicos y hormonales. Estas lesiones pueden derivar en largos periodos de inactividad y en un proceso de recuperación complejo que no siempre garantiza el regreso al nivel de rendimiento previo a la lesión.

El tiempo de reacción neuromuscular es un factor clave tanto en el rendimiento deportivo como en la prevención de lesiones. Se define como el lapso entre la percepción de un estímulo y la ejecución de una respuesta motora, siendo esencial para la coordinación y estabilidad durante la práctica deportiva. Tras una lesión del LCA, esta capacidad de respuesta rápida puede deteriorarse debido a la pérdida de mecanorreceptores en el ligamento afectado, lo que repercute en la propiocepción y el control motor. La reducción de la eficiencia neuromuscular no solo aumenta el riesgo de nuevas lesiones, sino que también puede disminuir la confianza del deportista en su desempeño físico. Investigaciones recientes han evidenciado que la alteración del tiempo de reacción neuromuscular puede persistir hasta dos años después de la lesión, incluso tras una cirugía reconstructiva exitosa.

La reconstrucción quirúrgica del LCA es un procedimiento comúnmente empleado para restaurar la estabilidad de la rodilla. No obstante, aunque la cirugía puede devolver la estabilidad articular, no siempre asegura la recuperación completa de la función neuromuscular. Investigaciones han demostrado que, incluso después de la intervención quirúrgica, persisten déficits en la activación muscular y en la percepción sensorial, lo que puede prolongar el tiempo de recuperación e influir en la calidad del retorno a la actividad deportiva. Se ha estimado que solo el 55% de los deportistas logran regresar a su nivel competitivo anterior a la lesión y que cerca del 30% sufre una nueva lesión en el mismo o en el otro LCA. La rehabilitación postoperatoria desempeña un papel crucial en la recuperación del tiempo de reacción neuromuscular y en el regreso seguro y eficiente a la competición. Un plan de rehabilitación efectivo debe integrar ejercicios de fortalecimiento muscular, estrategias de control neuromuscular y entrenamiento perceptual para optimizar la respuesta motora y la estabilidad articular.

Esta revisión narrativa tiene como propósito examinar las variaciones en el tiempo de reacción neuromuscular antes y después de la reconstrucción del LCA en deportistas, además de evaluar las estrategias de rehabilitación utilizadas para su recuperación. Mediante un análisis detallado de la literatura científica, se pretende profundizar en los desafíos y oportunidades en la rehabilitación tras una lesión del LCA, resaltando la relevancia de un enfoque multidimensional que contemple el fortalecimiento muscular, el control neuromuscular y el entrenamiento perceptual

Objetivos

Objetivo general

Describir las variaciones en el tiempo de reacción neuromuscular antes y después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior en deportistas.

Objetivo específico

- Identificar las alteraciones en el tiempo de reacción neuromuscular en deportistas antes y después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.
- Analizar las estrategias de rehabilitación utilizadas para su recuperación.

Materiales y métodos

Estrategia de búsqueda

El presente estudio es una revisión narrativa. Se realizó una búsqueda en las plataformas científicas Pubmed. Para la búsqueda se utilizaron las siguientes palabras claves, combinadas con operadores booleanos: "anterior cruciate ligament injuries" OR "ACL" OR "ACL risk" AND "sports" AND "reaction time". Se utilizaron los siguientes filtros: Idioma: español e inglés; Humanos; Hombres; Adultos mayores de 19 años. La búsqueda se realizó entre el 15 de agosto y el 29 de noviembre del 2024.

Palabras Clave	Términos MeSH
Lesión de ligamento cruzado anterior	Anterior Cruciate Ligamento Injuries
Riesgo de LCA	Risk Factors
Deportes	Athletic Performance
Tiempo de reacción	Reaction Time
Tratamiento	Rehabilitation

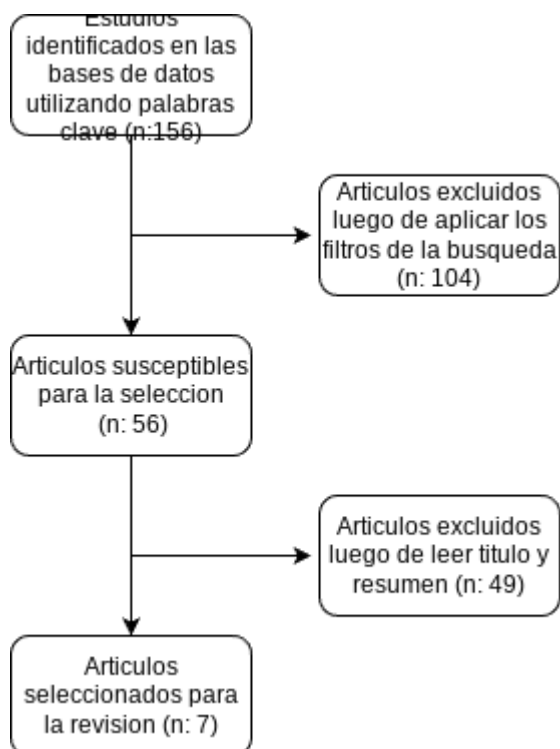
Criterios de inclusión

Se incluyeron trabajos a) en inglés y español, b) ensayos clínicos, c) estudios longitudinales, d) estudios controlados aleatorizados, e) que sus textos de publicación estén completos, f) que hablen sobre la reconstrucción de ligamento cruzado anterior relacionado con los tiempos de reacción y rehabilitación, g) que hayan aplicado intervenciones kinésicas para la mejora del tiempo de reacción, h) periodo de publicación del 2000 en adelante

Criterios de exclusión

Se excluyeron trabajos donde a) los participantes se encuentren con otras lesiones en los miembros inferiores, b) los participantes cursan con trastornos neurocognitivos previos a la lesión de ligamento cruzado, e) que no estén relacionados con el tema.

Proceso de selección de estudios



Desarrollo

El movimiento voluntario es un proceso complejo que inicia en la corteza motora primaria, ubicada en el lóbulo frontal del cerebro. Desde allí, se generan las señales motoras que son transmitidas a través de las vías corticoespinales hacia las neuronas motoras de la médula espinal, encargadas de inervar los músculos esqueléticos para ejecutar el movimiento. Otras regiones cerebrales como los ganglios basales y el cerebelo desempeñan roles fundamentales. Los ganglios basales seleccionan patrones motores adecuados y modulan la actividad motora, mientras que el cerebelo

coordina y ajusta los movimientos para garantizar precisión y sincronización. Este sistema integrado permite planificar, ejecutar y ajustar las acciones según las demandas del entorno. Una vez generadas las señales motoras, estas se transmiten a las neuronas motoras inferiores en la médula espinal, las cuales liberan el neurotransmisor acetilcolina en las uniones neuromusculares. Esto activa las fibras musculares, provocando su contracción. (1)

Lesiones deportivas y su impacto en el sistema neuromuscular

Una lesión es un proceso que genera destrucción o alteración de la integridad de un tejido o parte del organismo. Cuando estos procesos ocurren durante la práctica de actividad física o deporte, se habla de lesión deportiva; esta es producida durante la práctica del deporte sea con propósito de diversión, salud, o profesión. Pueden ser causadas tanto por accidentes o por sobre uso. Se la considera cuando un problema musculoesquelético obliga a reducir o suspender la actividad deportiva, ya sea de forma temporal o permanente. (2)

Mecanismo de lesión del ligamento cruzado anterior

La lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones deportivas más comunes que reduce la participación en deportes y limita las actividades diarias. La clínica generalmente incluye signos y síntomas como inestabilidad articular, dolor, hinchazón, pérdida del rango de movimiento, debilidad muscular, rigidez, edema óseo y dificultad en la marcha.

La mayoría de las lesiones de LCA ocurren sin contacto y con mecanismo de baja energía. Son resultado de un cambio de dirección, desaceleración, cortes y rotaciones realizadas, especialmente durante el aterrizaje. Durante una lesión del LCA, la tibia se subluxa anteriormente y rota internamente, sometiendo las partes anteriores de los

cóndilos femorales y las partes posteriores de las mesetas tibiales a un contacto directo. (3)

Una lesión sin contacto ocurre poco después de la pisada, donde el deportista está desacelerando, girando o aterrizando, en el cual las fuerzas de reacción del suelo suelen ser 5 veces el peso corporal de la persona. Por lo tanto, coordinar con éxito estas altas cargas articulares requiere de complejas estrategias de control neuromuscular para la estabilización dinámica articular.

Reconstrucción del ligamento cruzado anterior y sus implicaciones

La reconstrucción del ligamento cruzado anterior implica reemplazar el ligamento roto por un injerto, el cual puede ser tomado del tendón rotuliano o isquiotibial, restaurando la estabilidad articular, capaz de restaurar la estabilidad articular, pero no puede reemplazar completamente la función del ligamento original, ya que el injerto no puede activar los músculos de la manera en que lo haría un ligamento sano, lo que provoca que la rodilla sea más vulnerable a nuevas lesiones (4)

Estudios muestran que, en los dos años posteriores a la reconstrucción del ligamento cruzado anterior, el 6% de los pacientes pueden sufrir una segunda lesión. Este porcentaje aumenta en periodos de seguimiento más largos, llegando al 12% a los 5 años y al 27% a los 10 años. (5)

El riesgo de nuevas lesiones, llamadas recidivas, está influenciado por factores como la edad, el nivel de actividad, la confianza para regresar al deporte y el temor a una nueva lesión. Las causas comunes de las recidivas son la técnica quirúrgica, la falla de incorporación del injerto, y factores traumáticos como la más frecuente.

Dentro de las complicaciones de estas encontramos, ruptura del injerto, inestabilidad de rodilla, degeneración articular, complicaciones meniscales. Para esto, se someten a una cirugía de revisión en donde el objetivo es restaurar la estabilidad. Los

deportistas que sufren una recidiva van a tener tiempos de rehabilitación más largos, y suelen no volver al nivel de actividad pre-lesional. (6)

Rehabilitación y restauración del control neuromuscular

Los protocolos de rehabilitación convencionales buscan reducir el dolor, la inflamación y la hinchazón postoperatoria, lograr la extensión pasiva completa de la rodilla, fortalecer el cuádriceps e isquiotibiales, mejorar la propiocepción y el control neuromuscular, y restablecer un patrón de marcha correcto sin complicaciones. Para ello, se incluyen ejercicios funcionales, de estabilidad, equilibrio y específicos para el deporte. Además, la crioterapia puede utilizarse en la primera semana para aliviar el dolor, y la electroestimulación puede ayudar a reeducar la contracción del cuádriceps. (7)

El proceso de recuperación tras una cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior no solo involucra la restauración física, sino también la restauración de la función neuromuscular, en donde va a estar estrechamente relacionada con los mecanorreceptores que son los encargados de enviar la información mecánica, como movimientos, posición y fuerza, al sistema nervioso. En la rodilla por ejemplo los mecanorreceptores se encuentran en los ligamentos y estos activan reflejos musculares mediante un circuito que incluye las neuronas sensoriales de la raíz dorsal en la médula. Estos no están presentes después de la reconstrucción, ya que el ligamento lesionado que contiene los mecanorreceptores originales es retirado y reemplazado por el injerto, el cual carece de los mismos por lo cual no puede enviar señales propioceptivas. Esto va a dar un déficit propioceptivo en las estructuras articulares de la rodilla. (8) También va a estar alterada la retroalimentación somatosensorial, que va a resultar en déficits en el control motor haciendo que

aspectos como la atención visual, rendimiento motor y el tiempo de reacción se vean afectados. (3) (9)

Tiempo de reacción en deportistas con lesión de LCA

En el control motor, la corteza cerebral es la que anticipa y planifica los programas necesarios para ejecutar tareas neurocognitivas, como el tiempo de reacción.

Los deportistas que sufrieron lesión de LCA sin contacto suelen tener tiempos de reacción y velocidades de procesamiento más lentos, asociándose con errores de coordinación. Algunos factores como la excitación o ansiedad pueden alterar la concentración, y disminuir el campo atencional, que está relacionado con una coordinación deficiente y desempeño inferior. El control neuromuscular es la capacidad del sistema nervioso para coordinar y controlar los músculos; está influenciado por la información sensorial proveniente de fuentes propioceptivas, cinestésicas, visuales y vestibulares (10)

¿Qué es el tiempo de reacción y cómo se recupera?

El tiempo de reacción mide la cantidad y la velocidad del procesamiento neuronal necesario para una tarea. Es un intervalo entre la percepción de un estímulo y la ejecución de una respuesta. Este tiempo suele ser mejor en deportistas, pero puede retrasarse cuando aumentan los estímulos externos o cuando tienen que hacer tareas simultáneamente. (9) Se puede recuperar con fortalecimiento muscular, ejercicios dinámicos y entrenamientos propioceptivos. (4)

Los cambios neurofisiológicos posteriores a la lesión proporcionan información sobre el aumento de la tasa de lesiones secundarias, o mejor dicho recidivas. En donde el tiempo de reacción se ve afectado por la alteración en los patrones de activación de los mecanorreceptores. (10)

El restablecimiento del control neuromuscular tras el tratamiento quirúrgico es esencial para recuperar la estabilidad dinámica de la articulación; mejorando los patrones de movimiento funcionales, optimizando las actividades cotidianas y deportivas, reduciendo así el riesgo de nuevas lesiones. (11) (4)

Importancia del rol del kinesiólogo en la recuperación

Es importante comprender la relevancia de recuperar de manera óptima los tiempos de reacción y todos sus componentes tras una lesión, y aquí es donde los kinesiólogos desempeñan un rol crucial. Estas capacidades como los tiempos de reacción, la coordinación, la velocidad de procesamiento y la capacidad de respuesta ante estímulos, son esenciales para el rendimiento deportivo, ya que impactan directamente en la capacidad del atleta para responder eficazmente a estímulos durante la práctica deportiva.

La intervención kinésica adecuada no solo permite al deportista mantener su nivel de desempeño previo a la lesión, sino que también ofrece la oportunidad de optimizar su rendimiento futuro. Los kinesiólogos, a través de estrategias específicas basadas en evidencia, son responsables de integrar el control neuromuscular, mejorar los patrones de movimiento funcional y abordar los aspectos neurocognitivos, asegurando así una recuperación completa, sostenible y orientada a prevenir nuevas lesiones.

Resultados

Las investigaciones sobre la recuperación neuromuscular tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) han revelado diferentes patrones de rehabilitación, identificando tanto mejoras funcionales como déficits persistentes en ciertos aspectos del control motor y la respuesta neuromuscular. A partir de estos hallazgos, es posible agrupar los estudios en tres grandes enfoques: aquellos que destacan mejoras neuromusculares con la rehabilitación, los que identifican déficits en el control motor y los que vinculan el desempeño neurocognitivo con el riesgo de lesión.

Por un lado, algunas investigaciones han evidenciado que la rehabilitación estructurada puede contribuir significativamente a la recuperación neuromuscular. Bartels et al. (2016) compararon el entrenamiento con SpeedCourt con un programa convencional de estabilización y encontraron que, aunque ambos enfoques ofrecían beneficios, el uso de SpeedCourt resultó más efectivo en la reducción de las diferencias funcionales entre la pierna operada y la sana. En particular, se observaron mejoras en el tiempo de reacción, la altura del salto y la simetría muscular, lo que sugiere que este tipo de entrenamiento facilita una recuperación más equilibrada y funcional. De manera similar, Oliver et al. (2018) analizaron la respuesta neuromuscular en pacientes con reconstrucción del LCA, enfocándose en la latencia muscular. Sus hallazgos indicaron que, antes de la cirugía, la latencia del vasto medial en la rodilla afectada era significativamente mayor que en la pierna sana, pero que a los seis meses postoperatorios la diferencia se había reducido hasta equipararse. Estos resultados subrayan la capacidad de la rehabilitación para restaurar la función neuromuscular, especialmente en músculos clave como el vasto medial. En la misma línea, Wojtys et al. (2000) evaluaron la evolución de pacientes con LCA reconstruido durante un periodo de 18 meses y encontraron mejoras progresivas en la estabilidad

articular y la fuerza del cuádriceps. Sin embargo, también señalaron que ciertos déficits, como la reacción tardía del gastrocnemio, persistieron incluso después de este período, lo que sugiere la necesidad de un proceso de rehabilitación más prolongado y específico para alcanzar una recuperación óptima.

Por otro lado, algunos estudios han identificado déficits neuromusculares que persisten tras la reconstrucción del LCA y que pueden afectar el control motor y la capacidad de respuesta del paciente. Reiche et al. (2024) analizaron el tiempo de reacción visuomotora en deportistas con ACLR y encontraron que aquellos cuya lesión había ocurrido por contacto presentaban tiempos de reacción significativamente más lentos en comparación con quienes sufrieron una lesión sin contacto. Esta diferencia sugiere que las lesiones por contacto pueden generar alteraciones en el control postural y perceptual-motor, lo que podría repercutir en la funcionalidad del miembro inferior durante la recuperación. Armitano-Lago et al. (2020) también observaron tiempos de reacción más lentos en individuos con ACLR, particularmente en tareas posturales, aunque no en pruebas sentadas o de reflejo rotuliano. Este hallazgo refuerza la idea de que la lesión y la posterior cirugía no solo afectan mecánicamente la rodilla, sino que también pueden influir en los mecanismos neuromotores centrales, comprometiendo la estabilidad general del paciente. En un intento por comprender las causas de estos retrasos en el tiempo de reacción, Kaneko et al. (2002) investigaron las propiedades electromecánicas del cuádriceps en pacientes con LCA reconstruido y determinaron que el retraso electromecánico se debía principalmente a cambios en la elasticidad muscular y en la transmisión de fuerza, más que a déficits en el procesamiento central. Esto sugiere que, más allá de la rehabilitación neuromuscular estándar, es crucial abordar específicamente las alteraciones en la estructura y función muscular para optimizar la recuperación.

Finalmente, otra línea de investigación ha explorado la relación entre el rendimiento neurocognitivo y el riesgo de lesión del LCA, encontrando que ciertas deficiencias cognitivas pueden predisponer a los atletas a sufrir este tipo de lesión. Swanik et al. (2007) compararon el desempeño neurocognitivo de atletas con lesiones de LCA sin contacto con un grupo de control y hallaron que los lesionados presentaban tiempos de reacción más lentos, menor velocidad de procesamiento y peor rendimiento en memoria visual y verbal. Estos resultados sugieren que las deficiencias en el procesamiento de la información y la toma de decisiones pueden afectar el control neuromuscular, aumentando la probabilidad de lesiones en situaciones de alta exigencia física. Herman et al. (2016) reforzaron esta hipótesis al analizar la biomecánica del aterrizaje de salto en atletas con diferentes niveles de rendimiento neurocognitivo. Sus hallazgos indicaron que aquellos con menor desempeño neurocognitivo mostraban patrones de aterrizaje asociados a un mayor riesgo de lesión, incluyendo mayores fuerzas de impacto, menor flexión de tronco y mayor momento de abducción de la rodilla. Estos resultados sugieren que el entrenamiento preventivo no solo debería enfocarse en la fuerza y estabilidad, sino también en mejorar las capacidades neurocognitivas para optimizar la respuesta motora en situaciones dinámicas.

En conjunto, estos estudios destacan la importancia de un enfoque integral en la rehabilitación del LCA. Mientras que algunas investigaciones han demostrado que ciertos protocolos de rehabilitación pueden mejorar significativamente la función neuromuscular, otras han señalado la persistencia de déficits en el control motor y tiempos de reacción, lo que sugiere que la recuperación completa puede requerir estrategias más específicas y prolongadas. Asimismo, la evidencia sobre la influencia de los factores neurocognitivos en la predisposición a la lesión refuerza la idea de que la prevención y rehabilitación deben ir más allá del fortalecimiento muscular,

incorporando entrenamientos que mejoren la velocidad de procesamiento, la toma de decisiones y la capacidad de anticipación.

Título	Tipo artículo	Autores	Nº de muestra	Tipo de intervención	Variables analizadas	Resultados	Conclusión	Fortalezas	Debilidades
Lower Extremity Reaction Time in Individuals With Contact Versus Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries After Reconstruction	Cross-sectional study.	Reiche E, Collins K, Genoes e F, Walaszek M, Triplett A, Kuenze C. 2024	Incluyó 36 participantes con RLCA. Fueron 2 grupos: 20 pacientes con lesión por contacto y 16 con lesión sin contacto.	Evaluó el tiempo de reacción visuomotor de los miembros inferiores después de RLCA.	Tiempo de reacción visuomotor (VMRT) de la extremidad activa y estable por RLCA. Otra variable tiempo desde la cirugía.	Se encontraron diferencias significativas y un tamaño del efecto grande entre los grupos para el VMRT estable de la extremidad reconstruida (ACLR- estable LEVMRT), controlando por el tiempo desde la cirugía.	Las diferencias en el tiempo de reacción visuomotor entre los grupos pueden ayudar a comprender mejor los factores de riesgo modificables asociados con lesiones primarias y secundarias del ligamento cruzado anterior.	Las diferencias entre factores de riesgo entre lesión x contacto y no contacto. Brinda información para prevenir lesión secundaria y estrategia de rehabilitación.	Tamaño pequeño de muestra, limitando la generalización de los resultados. No se menciona si se consideraron otros factores que podrían influir en el tiempo motor.
The Relationship Between Neurocognitive Function and Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries	Case control study; Level of evidence, 3.	Swanik CB, Covassin T, Stearne DJ, Schatz P. 2007	No identificado	Investiga la relación entre la función neurocognitiva y lesión sin contacto Y evaluación biomecánica y neuromuscular para entender como los factores neurocognitivos influyen en el control motor predisponiendo a lesiones.	Función neurocognitiva, Control neuromuscular, Fuerzas de reacción del piso, Estrategias de estabilización articular, Información visual, vestibular, propioceptiva y kinestésica.	Destaca que la mayoría de las lesiones sin contacto ocurren en actividades de alta carga como desaceleraciones, pivotar o aterrizar, donde las fuerzas exceden 5 veces al peso corporal.	Habla de la necesidad de explorar la conexión entre la función neurocognitiva y las lesiones de LCA para mejorar la comprensión de factores de riesgo y prevenir.	Aborda la función neurocognitiva, Vincula biomecánica, control neuromuscular y factores sensoriales.	Falta de datos sobre la muestra y métodos. No se menciona si es experimental, transversal o longitudinal.
A comparative study of the neuromuscular response during a dynamic activity after anterior cruciate ligament	Comparative Study	Oliver G, Portabella F, Hernandez JA. 2018	25 pacientes con rotura de LCA como consecuencia de lesión deportiva.	Diseño: prospectivo, comparativo y controlado por pares Intervención: medición del tiempo de latencia muscular durante una actividad dinámica,	Tiempo de reacción muscular (latencia) en una actividad dinámica Comparada con rodilla lesionada y la no lesionada del mismo paciente.	En el vasto medial, el tiempo de reacción fue mayor en la rodilla lesionada antes de la cirugía, pero disminuyó progresivamente a los 6 meses postoperatorios, alcanzando valores similares a los de la rodilla no lesionada.	La cirugía de reconstrucción del LCA mejoró significativamente el tiempo de reacción del vasto medial en la rodilla lesionada, lo que indica una recuperación del control neuromuscular. Sin	Uso del otro miembro como control. Utilización de electromiografía aportando datos precisos y cuantificables.	Pocos pacientes. Solo se analizaron 5 músculos dejando fuera otros relevantes para la estabilidad de rodilla.

reconstrucción				utilizando electromiografía en 5 músculos.		En los músculos recto femoral, bíceps femoral y semitendinoso, los tiempos de reacción en la rodilla lesionada fueron similares a los de la rodilla no lesionada, tanto antes como después de la cirugía.	embargo, otros músculos mostraron tiempos de reacción similares entre las rodillas lesionadas y no lesionadas antes y después de la intervención.		
Electromechanical Delay After ACL Reconstruction: An Innovative Method for Investigating Central and Peripheral Contributions	Experimental	Kaneko F, Onari K, Kawaguchi K, Tsukiska K, Roy SH. 2002	17 pacientes tras una RLCA entre 2 y 3 meses después de la cirugía.	Examinó los efectos de inmovilización y desuso tras la cirugía centrándose en cambios biomecánicos en componentes elásticos del músculo y tendón.	Se midió el tiempo total de reacción, tiempo premotor y el retraso electromecánico durante contracciones voluntarias máximas y contracciones inducidas periféricamente.	El tiempo de reacción y el retraso electromecánico fueron mas prolongados en el grupo con RLCA en comparación con los controles y otros grupos.	El retraso electromecánico prolongado puede deberse por alteraciones fisiológicas periféricas como la rigidez de los componentes elásticos o cambios en propiedades musculotendinosas.		Muestra pequeña.
Drop-Jump Landing Varies With Baseline Neurocognition: Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury Risk and Prevention	Controlled laboratory study.	Herman DC, Barth JT. 2016	37 atletas recreativos (20 con alto rendimiento neurocognitivo y 20 con bajo rendimiento).	Evaluación de la neurocognición basal mediante el índice de resolución de conmoción cerebral y análisis cinemático y cinético tridimensional durante una tarea de aterrizaje de salto inesperado.	Fuerza de reacción del suelo, momento de abducción de la rodilla, ángulo de abducción de rodilla, flexión de tronco y fuerza de cizallamiento tibial anterior.	Los atletas con bajo rendimiento neurocognitivo mostraron patrones de rendimiento neuromuscular que aumentan el riesgo de lesiones del LCA, incluyendo mayor fuerza de reacción vertical, fuerza de cizallamiento tibial anterior y menor flexión de tronco.	Los niveles bajos de neurocognición basal están asociados con un mayor riesgo de lesión de LCA debido a alteraciones en el rendimiento neuromuscular.	Uso de herramientas clínicas y métricas estandarizadas para la evaluación neurocognitiva y biomecánica.	Limitación por el tamaño y tipo de muestra. Uso de un solo test neurocognitivo.
Anterior cruciate ligament reconstruction in individuals demonstrate slower reactions during a	experimental	Armitano-Lago CN, Morrison S, Hoch JM, Bennett HJ, Russell DM. 2019	32 participantes, 16 con RLCA unilateral y 16 sanos. Emparejados por edad, sexo, altura y masa corporal.	Evaluación de la función neuromotora mediante pruebas de tiempo de reacción bajo condiciones posturales y otras medidas como equilibrio,	Tiempo de reacción simple y de elección en condiciones posturales. Equilibrio, amplitud de movimiento, propiocepción, laxitud, fuerza, velocidad, cadencia, longitud	El grupo con RLCA presentó tiempos de reacción más lentos en tareas posturales desafiantes; No se encontraron diferencias significativas en otras medidas neuromotoras o biomecánicas (equilibrio,	Las personas con RLCA tienen tiempos de reacción más lentos en tareas posturales complejas, lo que refleja cambios en la función neuromotora. Los efectos de la RLCA no son totalmente mecánicos, sino que	Evaluación integral que incluye múltiples medidas clínicas y biomecánicas. Diseño que empareja controles y casos para minimizar sesgos.	Muestra pequeña. Falta de evaluación radiográfica para indicar osteoartritis. Ausencia de análisis sobre el impacto psicológico (miedo a Re lesionarse).

dynamic postural task				amplitud de movimiento de tobillo, propiocepción, laxitud articular, latencia de reflejo rotuliano y fuerza del cuádriceps.	de paso y ancho de zancada en marcha.	fuerza, amplitud de movimiento).	impactan los mecanismos neuronales y la capacidad de responder rápidamente bajo condiciones de equilibrio desafiantes.		
Longitudinal effects of anterior cruciate ligament injury and patellar tendon autograft reconstruction on neuromuscular performance	Experimental	Wojtyś, E. M., Huston, L. J. 2000	25 pacientes con RLCA con injerto de tendón rotuliano. Además de un grupo control con 40 personas sin anomalías.	Reconstrucción quirúrgica utilizando el tendón rotuliano, con seguimiento de 6, 12 y 18 meses después de la operación. Todos los pacientes siguieron un protocolo de rehabilitación conservador estándar.	Fuerza muscular, resistencia muscular, tiempo de reacción muscular (cuádriceps, isquiotibiales y gemelos), translación tibial, evaluaciones funcionales y subjetivas del dolor.	Fuerza muscular, no alcanzo niveles normales en la mayoría de los casos después de los 18 meses. Tiempo de reacción: más lento a comparación con el grupo control.	El tiempo de reacción y la fuerza muscular son indicadores críticos de la recuperación funcional tras la reconstrucción del LCA. Aunque hubo mejoras, muchos parámetros neuromusculares no se normalizaron completamente en el período de seguimiento.	Estudio longitudinal con mediciones objetivas y subjetivas detalladas. Comparación con un grupo control sin anomalías en las rodillas.	No se abordaron otros aspectos del sistema neuromuscular.
The SpeedCourt system in rehabilitation after reconstruction surgery of the anterior cruciate ligament (ACL)	Randomized Controlled Trial	Bartels, T., Proeger, S., Brehme, K., Pyschik, M., Delank, K.-S., Schulze, S., ... Fieseler, G. 2016	50 pacientes atléticos (14 mujeres, 36 hombres, edad promedio de 32.7 ± 10.0 años).	Grupo experimental (28 pacientes): entrenamiento con el SpeedCourt, un sistema interactivo enfocado en mejorar la reacción y la coordinación en la rehabilitación post-ACL. Grupo control (22 pacientes): programa convencional de estabilización y propiocepción. Ambos grupos realizaron seis	Parámetros antropométricos (dimensiones de la pierna). Tiempo de reacción. Fuerza de salto unipodal y bipodal. Flexibilidad y control postural. Velocidad de golpeteo (tapping). Tiempo de contacto con el suelo.	Mejoras significativas en 5 de 22 parámetros en el grupo SpeedCourt. Se encontraron diferencias en las dimensiones del miembro inferior, fuerza de salto unipodal y tiempo de reacción en la pierna operada. Reducción de la diferencia entre la pierna operada y la sana en los parámetros motores como tiempo de contacto con el suelo, altura de salto y tiempo de reacción.	El entrenamiento con el SpeedCourt parece ser más beneficioso en la fase tardía de la rehabilitación post-ACL en comparación con los programas convencionales de estabilización sensoriomotora. Este método podría ayudar a definir mejor el tiempo óptimo para el regreso al deporte y reducir el riesgo de nuevas lesiones. Se recomienda realizar estudios con muestras más grandes y períodos de evaluación más largos.	Uso de un sistema interactivo innovador. Enfoque en tiempos de reacción y control neuromuscular. Reducción de la diferencia funcional entre la pierna operada y la sana.	Tamaño de muestra relativamente pequeño. Período de evaluación corto (solo 3 semanas). Falta de estudios previos comparativos que permitan validar completamente la efectividad del método.

				sesiones en un período de tres semanas.					
--	--	--	--	---	--	--	--	--	--

Discusión

Comparación con otros estudios

Los hallazgos de Wojtys et al. (2000) sobre la recuperación incompleta de la fuerza y la función neuromuscular después de la reconstrucción del LCA coinciden con estudios previos. Oliver et al. (2018) encontraron que, aunque la latencia del vasto medial mejoró significativamente a los 6 meses postcirugía, otros músculos clave no presentaron cambios significativos en la respuesta neuromuscular. De manera similar, Kaneko et al. (2002) observaron retrasos en la activación del cuádriceps en pacientes con reconstrucción del LCA, atribuyéndolos a cambios periféricos en la elasticidad muscular en lugar de déficits en el procesamiento central.

Otros estudios refuerzan la idea de que los déficits neuromusculares afectan el riesgo de recaída y la estabilidad postquirúrgica. Swanik et al. (2007) demostraron que los deportistas con lesión de LCA sin contacto presentan tiempos de reacción más lentos y menor velocidad de procesamiento, lo que sugiere un impacto neurocognitivo en la coordinación motora. Reiche et al. (2024) también encontraron que las lesiones de LCA por contacto afectan la función perceptual-motora, generando déficits en el control postural.

Limitaciones y fortalezas de los estudios incluidos

Si bien la mayoría de los estudios coinciden en la importancia del entrenamiento neuromuscular en la rehabilitación post-LCA, existen diferencias en los enfoques metodológicos. Bartels et al. (2016) compararon el entrenamiento convencional con el sistema SpeedCourt, mostrando que este último mejoró significativamente la simetría muscular y la velocidad de reacción. No obstante, se destaca la necesidad de estudios con muestras más amplias y seguimientos prolongados.

Otro punto de debate es el impacto de la propiocepción y la retroalimentación somatosensorial. Armitano-Lago et al. (2020) destacaron que la reconstrucción del LCA no solo afecta la mecánica de la rodilla, sino también los mecanismos neuromotores centrales, lo que podría influir en la estabilidad y el riesgo de nuevas lesiones. Herman et al. (2016) sugieren que el rendimiento neurocognitivo influye en la biomecánica del aterrizaje, afectando la distribución de fuerzas y aumentando el riesgo de lesión.

Interpretación crítica de los resultados

En conjunto, estos estudios sugieren que la reconstrucción del LCA mejora la estabilidad de la rodilla, pero no restablece completamente la función neuromuscular. A pesar de que el 80% de los pacientes estudiados por Wojtys et al. (2000) reportaron haber recuperado su nivel funcional previo a la lesión, los datos objetivos indicaron déficits persistentes en la fuerza del cuádriceps y el tiempo de reacción muscular.

La rehabilitación juega un papel clave en la recuperación neuromuscular, pero los protocolos convencionales pueden no ser suficientes. El entrenamiento propioceptivo y los ejercicios dinámicos han demostrado ser efectivos en la reducción del tiempo de reacción y la mejora del control motor, lo que podría reducir la tasa de recidivas.

Conclusión

Esta revisión ha permitido analizar las variaciones en el tiempo de reacción neuromuscular antes y después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) en deportistas, así como los principales tratamientos utilizados en la rehabilitación. Los hallazgos sugieren que, si bien la cirugía restaura la estabilidad

articular, persisten alteraciones en la respuesta neuromuscular que pueden comprometer el rendimiento deportivo y aumentar el riesgo de nuevas lesiones.

Uno de los puntos clave identificados es la alteración en la propiocepción y el control motor debido a la pérdida de mecanorreceptores en el ligamento reconstruido. Esto se traduce en un retraso en la activación muscular y una disminución de la capacidad de respuesta ante estímulos externos, lo que afecta el tiempo de reacción y la coordinación motora. Además, estudios revisados muestran que las lesiones de LCA sin contacto están asociadas con déficits neurocognitivos previos, lo que refuerza la idea de que el control neuromuscular no depende únicamente de la fuerza y estabilidad articular, sino también de la integración de información sensorial y cognitiva.

Desde una perspectiva aplicada, la rehabilitación post-ACLR debe evolucionar más allá del fortalecimiento muscular y la movilidad articular para incluir un enfoque integral que abarque la optimización del tiempo de reacción, la propiocepción y la reeducación neuromotora. Programas de rehabilitación que incorporan ejercicios dinámicos, entrenamiento con estímulos visuales y auditivos, y tecnologías como SpeedCourt han demostrado ser más efectivos en la recuperación del control neuromuscular. Estos enfoques no solo reducen las asimetrías funcionales entre la pierna operada y la sana, sino que también mejoran la capacidad de respuesta y la estabilidad dinámica, aspectos esenciales para prevenir recaídas.

En términos de investigación futura, es necesario continuar explorando la relación entre el tiempo de reacción y el riesgo de recidiva en deportistas post-ACLR. Estudios longitudinales con mayores muestras y seguimientos prolongados permitirían determinar con mayor precisión qué estrategias de rehabilitación ofrecen los mejores resultados en la restauración del control neuromuscular. Asimismo, la integración de

evaluaciones neurocognitivas en la prevención de lesiones podría abrir nuevas líneas de investigación que ayuden a optimizar los protocolos de recuperación.

En conclusión, la recuperación funcional tras una reconstrucción de LCA no puede abordarse únicamente desde la perspectiva estructural de la rodilla. La evidencia demuestra que un enfoque multidimensional, que incluya fortalecimiento, entrenamiento perceptual-motor y reeducación neuromuscular, es clave para mejorar el rendimiento y reducir el riesgo de nuevas lesiones. La implementación de estos enfoques en la práctica clínica y deportiva no solo beneficiará la recuperación postquirúrgica, sino que también contribuirá a mejorar la calidad de vida y el desempeño de los deportistas en el largo plazo.

Referencias

1. García-Porrero JA, Hurlé JM. Neuroanatomía Humana. 1.^a ed. Madrid: Médica Panamericana; 2015.
2. Grupo de prevención en el deporte de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE). Lesiones deportivas versus accidentes deportivos. Documento de consenso. Med Clin (Barc). 2015;145(1):39-44. doi: 10.1016/j.medcli.2015.02.026.
3. Reiche E, Collins K, Genoese F, Walaszek M, Triplett A, Kuenze C, et al. Lower Extremity Reaction Time in Individuals With Contact Versus Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries After Reconstruction. J Athl Train. 1 de enero de 2024;59(1):66-72.
4. Oliver G, Portabella F, Hernandez JA. A comparative study of the neuromuscular response during a dynamic activity after anterior cruciate ligament reconstruction. Eur J Orthop Surg Traumatol Orthop Traumatol. abril de 2019;29(3):633-8.
5. Grassi A, Gualdi N, de Girolamo L, Maffulli N. Incidence of contralateral and ipsilateral anterior cruciate ligament (ACL) injury after primary ACL reconstruction and return to sport. Am J Sports Med. 2016;44(6):1514-20. Doi: 10.1177/0363546516632060.
6. Ibrahim SA, Siddiqui A, Dahm DL, Stuart MJ. Anterior cruciate ligament reconstruction failure and revision surgery: current concepts. Am J Sports Med. 2016;44(6):1530-40. doi: 10.1177/0363546516632060.

7. Bartels T, Proeger S, Brehme K, Pyschik M, Delank KS, Schulze S, et al. The SpeedCourt system in rehabilitation after reconstruction surgery of the anterior cruciate ligament (ACL). *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(2):219-226.
8. Kaneko F, Onari K, Kawaguchi K, Tsukisaka K, Roy SH. Electromechanical delay after ACL reconstruction: an innovative method for investigating central and peripheral contributions. *J Orthop Sports Phys Ther.* abril de 2002;32(4):158-65.
9. Herman DC, Barth JT. Drop-Jump Landing Varies with Baseline Neurocognition: Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury Risk and Prevention. *Am J Sports Med.* septiembre de 2016;44(9):2347-53.
10. Swanik CB, Covassin T, Stearne DJ, Schatz P. The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med.* junio de 2007;35(6):943-8.
11. Armitano-Lago CN, Morrison S, Hoch JM, Bennett HJ, Russell DM. Anterior cruciate ligament reconstructed individuals demonstrate slower reactions during a dynamic postural task. *Scand J Med Sci Sports.* agosto de 2020;30(8):1518-28.