



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA DE FISIOTERAPIA

**“ALTERACIONES DE LA MARCHA EN PACIENTES CON
RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR POR
AUTOINJERTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA”**

Requisito previo para optar por el Título de Licenciado en Fisioterapia

Modalidad: Artículo Científico

Autor: Villacis Olivo Luis Fernando

Tutor: Md. Cantuña Vallejo Paúl Fernando

Ambato – Ecuador

Febrero 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación sobre el tema:

“ALTERACIONES DE LA MARCHA EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR POR AUTOINJERTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA” desarrollado por Villacis Olivo Luis Fernando, estudiante de la Carrera de Fisioterapia, considero que reúne los requisitos técnicos, científicos y corresponden a lo establecido en las normas legales para el proceso de graduación de la Institución; por lo mencionado autorizo la presentación de la investigación ante el organismo pertinente, para que sea sometido a la evaluación de docentes calificadores designados por el H. Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Salud.

Ambato, febrero del 2024

EL TUTOR

.....
Md. Paul Fernando Cantuña Vallejo

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los criterios emitidos en el Artículo de Revisión Sistemática “**ALTERACIONES DE LA MARCHA EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR POR AUTOINJERTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA**”, como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones, son de autoría y exclusiva responsabilidad de la compareciente, los fundamentos de la investigación se han realizado en base a recopilación bibliográfica y antecedentes investigativos.

Ambato, febrero del 2024

EL AUTOR

.....

Luis Fernando Villacis Olivo

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Md. Paul Fernando Cantuña Vallejo con CI: 0603785122 en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“ALTERACIONES DE LA MARCHA EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR POR AUTOINJERTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA”** autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Artículo de Revisión o parte de él, un documento disponible con fines netamente académicos para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo una licencia gratuita e intransferible, así como los derechos patrimoniales de mi Artículo de Revisión a favor de la Universidad Técnica de Ambato con fines de difusión pública; y se realice su publicación en el repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor, sirviendo como instrumento legal este documento como fe de mi completo consentimiento.

Ambato, febrero del 2024

.....
Md. Paul Fernando Cantuña Vallejo

CI: 0603785122

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Luis Fernando Villacis Olivo con CI: 1850134352 en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“ALTERACIONES DE LA MARCHA EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR POR AUTOINJERTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA”** autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Artículo de Revisión o parte de él, un documento disponible con fines netamente académicos para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo una licencia gratuita e intransferible, así como los derechos patrimoniales de mi Artículo de Revisión a favor de la Universidad Técnica de Ambato con fines de difusión pública; y se realice su publicación en el repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor, sirviendo como instrumento legal este documento como fe de mi completo consentimiento.

Ambato, febrero del 2024

.....
Luis Fernando Villacis Olivo

CI: 1850134352

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Los miembros del Tribunal de Examinador aprueban el Informe de Investigación sobre el tema: **“ALTERACIONES DE LA MARCHA EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR POR AUTOINJERTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA”**, de Villacis Olivo Luis Fernando, estudiante de la Facultad de Ciencias de la Salud, carrera de Fisioterapia.

Ambato, febrero del 2024

Para constancia firman:

.....

PRESIDENTE

.....

1er VOCAL

.....

2do VOCAL

CARTA DE ACEPTACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULO

Dra. Leonor de la Concepción Moreno Suárez
Directora del Comité Editorial-Jefe
alema.pentaciencias@gmail.com

Ecuador, 13 de noviembre del 2023

EDITORIAL ALEMA INTERNACIONAL ORG

Estimados colegas:

Luis Fernando Villacis Olivo¹, Paul Fernando Cantuña Vallejo²

¹ Carrera de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
lvillacis4352@uta.edu.ec

² Carrera de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
pf.cantuna@uta.edu.ec

Me complace informarle que después del proceso de revisión por pares, el artículo **“Alteraciones de la marcha en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior por autoinjerto: revisión sistemática”** ha sido **ACEPTADO** para ser publicado por la Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria **PENTACIENCIAS** en su Vol. 5, No.7 (Diciembre: Edición Especial), 2023. e-ISSN: 2806-5794.

Saludos cordiales



Dra. Leonor de la Concepción Moreno Suárez
Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS
Directora del Comité Editorial-Jefe

Revista Científica Arbitrada
Multidisciplinaria PENTACIENCIAS
Ecuador
EDITORIAL ALEMA INTERNACIONAL
Indexada en:



DEDICATORIA

El presente artículo de revisión lo dedico a:

A mis padres, Luis Homero y Grecia María, por ser el apoyo y sostén en mi camino hacia el profesionalismo ya que fueron ellos quienes me inculcaron los valores necesarios para sortear los obstáculos y siempre estuvieron allí cuando los necesitaba.

A mis hermanas, Grecia Nicole y María Sol, por sus palabras y acciones que me alentaron a seguir adelante.

A mis amigos más importantes Donovan, Jessica, César y Christian quienes compartieron conmigo anécdotas que hicieron más ameno el arduo camino de aprendizaje.

A mi familia por el apoyo moral incondicional hacia mí en los momentos más difíciles y enfocarme hacia mis objetivos.

Luis Fernando Villacis Olivo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por las bendiciones que he recibido y la fuerza de voluntad para continuar cuando todo parecía no tener sentido, por permitirme llegar a este punto de mi vida y enorgullecer a mis padres.

Agradezco a mis padres, por su apoyo en lo moral y lo económico ya que sin ellos hubiera estado completamente solo y no habría podido completar mi objetivo de llenarlos de orgullo.

Mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato por brindarme las aptitudes necesarias para emprender mi vida profesional.

Agradezco a los profesores de la Carrera de Fisioterapia, que supieron ser no solo maestros sino también mentores y comprendieron que detrás de cada estudiante existe una persona y un mundo completamente diferente.

Agradezco a mis amigos más preciados por su apoyo incondicional sin esperar nada cambio.

Por último, agradecer a mi tutor, Md. Paul Fernando Cantuña Vallejo, por guiar este artículo científico con paciencia y dedicación.

Luis Fernando Villacis Olivo

ALTERACIONES DE LA MARCHA EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR POR AUTOINJERTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA.

RESUMEN

Introducción: La ruptura de LCA es de las lesiones más comunes en el contexto actual y la reconstrucción por autoinjerto es el método de rehabilitación más utilizado junto con fisioterapia para la rehabilitación física; sin embargo, se han detectado ciertas alteraciones biomecánicas en el patrón de la marcha de estos pacientes debido a las afectaciones que la lesión produce sobre las estructuras aledañas y esto ha dado como consecuencia el desarrollo de patologías degenerativas secundarias a la reconstrucción del ligamento. **Objetivo:** Analizar las alteraciones en la biomecánica de la marcha presentes en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior a través de las diferentes técnicas de autoinjerto. **Metodología:** Se llevó a cabo una revisión sistemática basada en las directrices del método PRISMA en las bases de datos Google Académico, PubMed, Scopus y Springerlink, incluyendo un total de 11 artículos. **Resultados y discusión:** Se detectaron varias alteraciones de la marcha en los pacientes analizados en parámetros como ángulos de movimiento, rango articular, traslación tibial, momentos de fuerza y reacción vertical de suelo; siendo el ángulo de flexión de rodilla el más evaluado. No obstante, los estudios muestran discrepancia en varios de los resultados hallados y, además, hay poca o nula información sobre la biomecánica de cadera y tobillo; por lo que es complicado llegar a una conclusión sobre un patrón de marcha específico para estos pacientes.

Palabras clave: ligamento cruzado anterior, reconstrucción, autoinjerto, alteraciones de la marcha, biomecánica.

GAIT DISTURBANCES IN PATIENTS WITH AUTOGRAFT ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION: A SYSTEMATIC REVIEW.

ABSTRACT

Introduction: ACL rupture is one of the most common injuries in the current context and autograft reconstruction is the most commonly used rehabilitation method together with physiotherapy for physical rehabilitation; however, certain biomechanical alterations have been detected in the gait pattern of these patients due to the effects that the injury produces on the surrounding structures and this has resulted in the development of degenerative pathologies secondary to ligament reconstruction. **Objective:** To analyze the alterations in gait biomechanics in patients with anterior cruciate ligament reconstruction through different autograft techniques. **Methodology:** A systematic review based on the guidelines of the PRISMA method was carried out in the databases Google Scholar, PubMed, Scopus and Springerlink, including a total of 11 articles. **Results and discussion:** Several gait alterations were detected in the patients analyzed in parameters such as angles of movement, joint range, tibial translation, moments of force and vertical ground reaction; with the knee flexion angle being the most evaluated. However, studies show discrepancies in several of the results found and, in addition, there is little or no information about hip and ankle biomechanics; so it is difficult to make a conclusion about a specific gait pattern for these patients.

Keywords: anterior cruciate ligament, reconstruction, autograft, gait alterations, biomechanics

INTRODUCCIÓN

El ligamento cruzado anterior (LCA) es la estructura anatómica encargada de unir la tibia con el fémur de forma intraarticular en la rodilla, originándose en la meseta tibial por delante de las eminencia intercondilares y extendiéndose hacia la porción posteromedial del cóndilo femoral lateral (1-8). Históricamente se han reconocido dos haces que forman parte de este ligamento, anteromedial y posterolateral, haciendo referencia a la trayectoria que tienen (1-8); no obstante, ciertos autores sugieren la presencia de un tercer haz ubicado entre las estructuras ya mencionadas (1,3,6,8). Fisiológicamente, el rol del LCA es proporcionar estabilidad articular a la rodilla restringiendo la traslación anterior de la tibia con respecto al fémur (2,8) y, de forma accesoria previene la rotación interna de la tibia cuando la articulación se encuentra en una extensión casi completa, además de brindar resistencia a angulación hacia varo o valgo en situaciones que requieran de soporte de peso (1,3-6); biomecánicamente mantiene un funcionamiento normal de la rodilla de tal forma que el movimiento no afecte a los meniscos (6).

La ruptura del LCA es una de las lesiones más comunes en la rodilla durante la realización de actividades deportivas o de alto impacto (3), ya que el mecanismo de lesión de esta estructura se produce en situaciones sin contacto de desaceleración que provocan fuerzas hacia valgo y rotación interna de la articulación de la rodilla (2,5,7), ocurriendo en el 70% de las lesiones de LCA. Por su parte, con un menor porcentaje de incidencia las lesiones de esta estructura mediante un trauma directo en la rodilla con dirección hacia valgo (5). Por lo general los deportes que requieran gestos de aterrizaje, cambios de dirección y pivote son aquellos en los que la ruptura de LCA se produce con mayor frecuencia (2).

La incidencia de esta patología ha ido incrementando con el paso de los años generando una datos de hasta 64 casos por cada cien mil habitantes en Estados Unidos (2); calculando un valor que oscila entre 80-250 mil lesiones de LCA cada año en dicho país (9), destacando un mayor porcentaje de incidencia en el género femenino (7,10,11) y en aquellos que practiquen deportes de alto impacto al nivel de élite (9,12).

El tratamiento estándar para la ruptura del LCA ha sido la reconstrucción de la estructura en combinación con rehabilitación física; puesto que después de la intervención quirúrgica se han reportado efectos colaterales negativos en la estabilidad

articular y propiocepción de todo el miembro inferior afectado; sobre todo en la rodilla, además de patrones anormales con respecto a la cinemática y cinética durante el desarrollo de la marcha en estos pacientes (13–15). Dichas alteraciones de la marcha pueden conllevar a la progresión de defectos articulares degenerativos en el miembro inferior a largo plazo como la osteoartritis (13–15), debido a la inadecuada distribución de las cargas en las articulaciones producto de la reconstrucción del LCA (15). Es por ello que la fisioterapia debería incluir en su protocolo de tratamiento la reeducación de la marcha y el uso de órtesis o plantillas con el fin de rehabilitar los patrones anormales de la marcha y disminuir la posibilidad de desarrollo de patologías degenerativas secundarias a la lesión del LCA (15).

Con la finalidad de recuperar las características biomecánicas y estabilidad articular de la rodilla se han desarrollado métodos para la reconstrucción del LCA (3), y la intervención por autoinjerto se ha convertido en la opción por excelencia para el tratamiento de esta lesión ya que se evade el riesgo de transmisión de enfermedades y el proceso de curación tisular avanza de manera significativa al tratarse de tejidos que le pertenecen al mismo paciente (12,13); teniendo cada tipo de autoinjerto sus propias ventajas y desventajas por lo que la elección de un autoinjerto en específico que conlleve a una menor probabilidad de efectos negativos sobre la recuperación del paciente aún se mantiene en debate (12). Los autoinjertos que más se han practicado hasta la fecha son el hueso – tendón rotuliano - hueso, isquiotibiales (semitendinoso y grácil) y cuádriceps (2,12,13).

Debido al alto índice de desarrollo de enfermedades degenerativas progresivas luego de una reconstrucción del LCA (13–15), el objetivo del presente artículo es analizar las alteraciones en la biomecánica de la marcha presentes en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior a través de las diferentes técnicas de autoinjerto; enfocando el análisis en los parámetros de la marcha más estudiados como los espacio temporales, fuerzas de reacción del suelo, cinemática articular del miembro inferior afectado a partir de los tres planos de movimiento, entre otros (16,17).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se ha realizado una revisión sistemática de la literatura científica publicada sobre la reconstrucción del LCA por autoinjerto en relación con las alteraciones de la marcha presentadas por los pacientes sometidos a esta intervención

quirúrgica; basándose en las directrices establecidas por la declaración PRISMA (18,19). A continuación, se detallará el proceso de búsqueda que se llevó a cabo para la selección de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Búsqueda inicial.

Las primeras búsquedas se desarrollaron en septiembre de 2023 utilizando la combinación de los términos en inglés “anterior cruciate ligament reconstruction” y “joint biomechanics” en las bases de datos Google Académico, PubMed, Scopus y Springerlink; adecuándolos con los operadores booleanos AND y NOT según conviniera. Gracias a esta búsqueda se pudo probar que se han publicado varios estudios que relacionan las alteraciones biomecánicas con la reconstrucción del LCA, en cuanto a datos cinemáticos y cinéticos que pueden complicar la integridad física del paciente con patologías degenerativas secundarias como la osteoartritis (13–15), dando así una visión global bastante ampliada concerniente al tema planteado. No obstante, estos estudios no contaron con parámetros muy específicos en cuanto a las alteraciones halladas en los pacientes intervenidos quirúrgicamente, ni mostraron una condición característica sobre el tipo de reconstrucción llevada a cabo, refiriéndose a los diferentes autoinjertos y aloinjertos que se han propuesto como técnicas para el reemplazo del ligamento lesionado.

Búsqueda sistemática.

Se realizó en octubre de 2023 en las mismas bases de datos anteriormente utilizadas para la búsqueda inicial acotándose en filtrar los resultados que hayan sido publicados en los últimos 5 años (2018-2023), pero los términos aplicados para los buscadores fueron alterados ligeramente de manera que la información pueda verse centrada hacia un campo más específico; por ello la combinación de términos que finalmente se utilizó en todas las bases fue la siguiente: ((anterior cruciate ligament reconstruction) AND (gait biomechanics) AND (autograft)).

Concretamente se obtuvieron 2630 resultados en Google Académico, 5 en PubMed, 686 en Scopus y 61 en Springerlink, procediendo a plantear los criterios de inclusión y exclusión antes de la selección de los artículos que serán analizados según su abstract para ser incluidos en la revisión.

Criterios de inclusión y exclusión:

Se tomarán en cuenta los estudios que hayan sido publicados en los idiomas español e inglés, que incluyan la evaluación de la marcha en pacientes con reconstrucción del LCA y que sean específicos en cuanto a la aplicación de la técnica de autoinjerto para la intervención quirúrgica.

Por su parte, se excluirán los estudios llevados en cabo en casos específicos o en población muy pequeña (≤ 10 pacientes), aquellos que incluyan individuos con lesiones musculoesqueléticas diferentes a la planteada en el tema de investigación o patologías secundarias a la ruptura de LCA, se excluirán los estudios que evalúen otras actividades como trote o subida y bajada de escalares; del mismo modo no se incluirán documentos distintos a artículos originales y de revisión como libros, guías clínicas, tesis y meta análisis.

Después de haber eliminado 7 duplicados entre todas las bases de datos, se procedió a la lectura de los títulos de cada artículo hallado y se tomaron en cuenta los criterios de inclusión y exclusión para, de tal forma, considerar 147 estudios que cumplieran con las condiciones para proseguir con el proceso de selección de la información. Se llevó a cabo la lectura de su resumen y, a partir de ello se descartaron 136 estudios por las siguientes razones: enfocan su análisis en la biomecánica de otras acciones distintas a la marcha como saltos, aterrizaje, cambios de dirección, trote y marcha a diferentes velocidades y, subida y bajada de escaleras en pacientes con reconstrucción del LCA (n=35); los estudios no se enfocan en el análisis de los parámetros y componentes de la marcha (n=32); los pacientes evaluados presentan una intervención con aloinjerto o el tipo de injerto utilizado no se especifica (n=31); los estudios no corresponden a artículos científicos originales o de revisión (n=11); su enfoque es distinto al planteado en la presente revisión (n=9), fueron publicados en idiomas distintos al español o inglés (n=5), su objetivo era relacionar las alteraciones de la marcha con otras condiciones como kinesiofobia y debilidad muscular de miembro inferior (n=11), analizan la reconstrucción del LCA en combinación con otras lesiones secundarias (n=2).

Finalmente, 11 artículos cumplieron correctamente con los criterios de inclusión y exclusión, y fueron seleccionados para ser analizados en la revisión sistemática; sus características al ser tomados en cuenta incluyen el análisis de la marcha en pacientes que hayan sido sometidos a una cirugía de reconstrucción del LCA a partir de una ruptura, en la que se haya aplicado la utilización de un autoinjerto y que incluya la evaluación de los parámetros biomecánicos indispensables de la marcha humana.

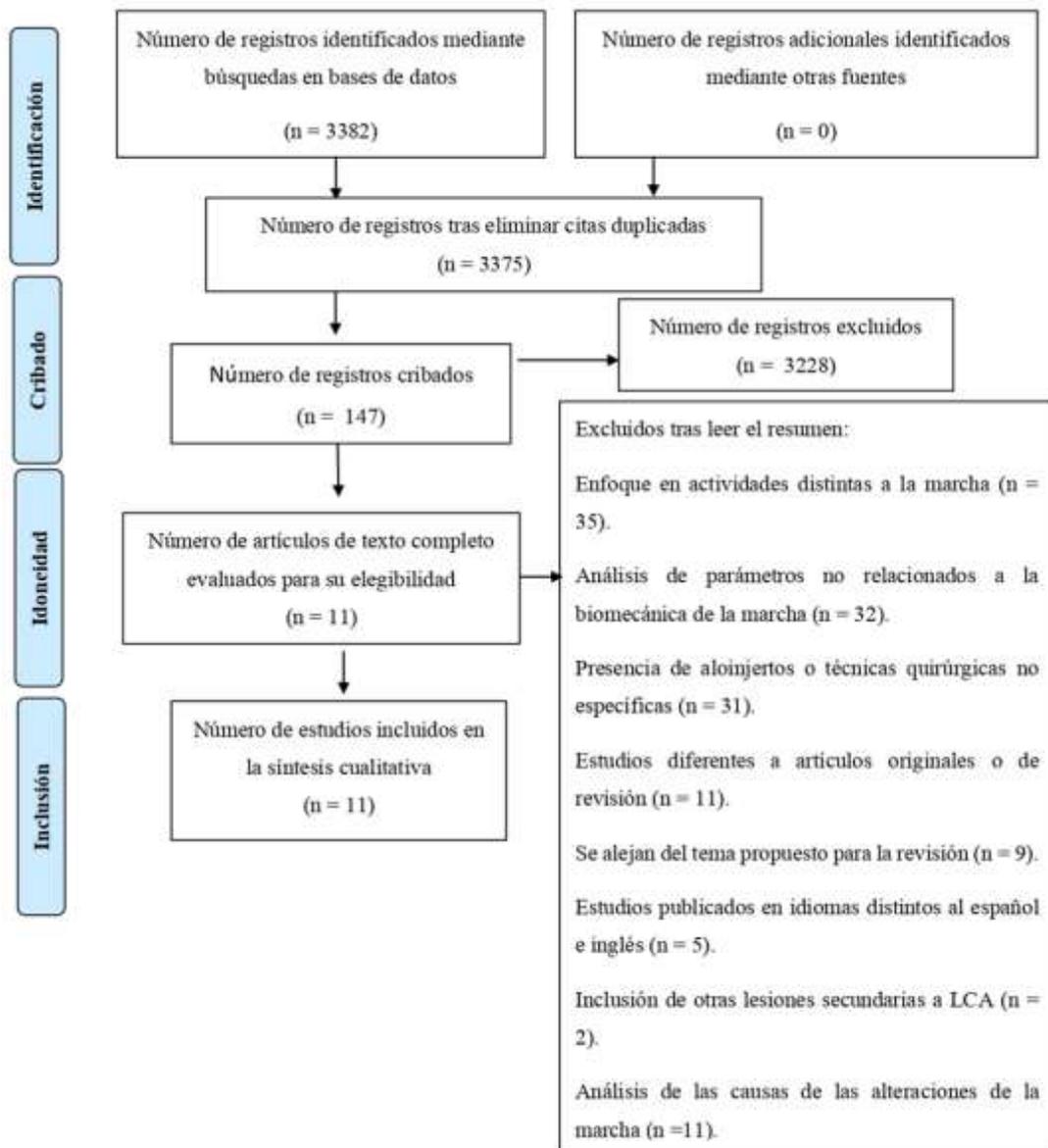


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Zeng et al. (20) publicaron un estudio en el cual se incluyeron 30 pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto con tendón de isquiotibiales (semitendinoso/grácil) y se evaluaron diversos parámetros de la marcha para compararlos con los resultados expuestos en otro grupo de 30 personas que no tenían ninguna lesión de rodilla como grupo de control. Lo interesante del estudio fueron hallazgos significativos respecto a los ángulos de movilidad, rangos de movimiento y traslación tibial en varios planos de movimiento osteocinemático; la abducción de rodilla fue mayor en el grupo de intervención durante tramos medios y tardíos del ciclo de la marcha con un pico de 3.1° al igual que el ángulo de flexión de rodilla durante la fase de apoyo y el balanceo terminal (pico de 6°); sin embargo esta relación fue inversa durante el resto de la fase de balanceo siendo mayor el ángulo de flexión de rodilla en el grupo de control. El rango de movimiento de rotaciones externa e interna de rodilla se halló disminuido en el grupo de intervención con un pico de 4.8° . Con respecto a la traslación tibial anterior y proximal se pudo evidenciar una disminución en los valores de este parámetro para el grupo intervenido, mientras que la traslación tibial lateral fue mayor en el mismo grupo con respecto al control.

Por su parte Velasques et al. (21) en su estudio se enfocaron en parámetros biomecánicos más específicos durante la marcha como son los momentos de rotación externa en cadera y rodilla comparando a un grupo de 20 pacientes que fueron intervenidos con una reconstrucción de LCA por autoinjerto de tendón patelar o isquiotibiales y una evolución de hasta 4 años frente a un grupo de control sin lesión alguna. Los resultados arrojados evidenciaron aumento de los momentos de rotación externa tanto en la cadera como en la rodilla durante la fase de apoyo medio en el grupo de intervención en comparación con el grupo de control.

Sideris et al. (22) se basó en el mismo principio de comparación entre un grupo intervenido y otro de control hallando diferencias en los ángulos de flexión y abducción máxima de rodilla entre ellos. El grupo de intervención estuvo conformado por 27 pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto con tendón de isquiotibiales (semitendinoso y grácil) y el grupo de control por 17 pacientes que carecían de alguna lesión. Los resultados en cuanto al ángulo de flexión de rodilla concluyeron que hubo un aumento de este parámetro en el grupo de intervención durante la precarga y el

apoyo terminal de la marcha con una diferencia de 4° entre un grupo y otro. Mientras que, la abducción máxima se vio reducida en el mismo grupo de pacientes intervenidos con respecto al control marcando una discrepancia de entre 3° y 4°.

Davis-Wilson et al. (23) se enfocaron en analizar el ángulo de flexión de rodilla, momento de extensión de rodilla y la fuerza de reacción vertical del suelo en un grupo de pacientes intervenidos quirúrgicamente con una reconstrucción de LCA por autoinjerto con tendón patelar (30 sujetos) comparados frente a un grupo de control sin lesión (30 sujetos). Los parámetros mencionados fueron evaluados en ambos grupos en 2 períodos de tiempo, a los 6 y 12 meses después de realizada la operación. La fuerza de reacción vertical del suelo fue menor en el grupo de intervención durante las fases tempranas y tardías del apoyo de la marcha, mientras que las fases intermedias esta relación era inversa siendo mayor en el grupo intervenido a comparación del control; estos resultados fueron iguales en ambos períodos de tiempo donde se realizó la evaluación. El ángulo de flexión de rodilla a los 6 meses postcirugía mostró reducción de su valor en el grupo intervenido durante la primera mitad de la fase de apoyo y aumento del mismo durante la segunda mitad de la fase de apoyo con una diferencia de 3° entre un grupo y otro; por su parte, luego de 12 meses de la cirugía el ángulo de flexión de rodilla se evidenció disminuido durante la mayor parte de la fase de apoyo en el grupo intervenido con una diferencia pico de 5° respecto al grupo no lesionado. En cuanto al momento de extensión de rodilla este se vio afectado de forma similar en ambos períodos de tiempos cuando se realizó la evaluación, mostrando disminución de su valor durante la primera mitad de la fase de apoyo y aumento del mismo durante la segunda mitad de la fase de apoyo en el grupo de intervención con respecto al grupo de control.

Shi et al. (24) en su estudio incluyeron 25 pacientes que presentaban reconstrucción de LCA por autoinjerto con tendón de isquiotibiales y en los cuales se evaluaron el ángulo de flexión de rodilla, rango articular, momento de flexión de rodilla y ángulo de aducción pico de cadera comparando sus valores entre la pierna intervenida y la pierna no lesionada. El ángulo de flexión de rodilla hallado en la extremidad lesionada fue menor durante la respuesta a la carga y el apoyo medio con una diferencia de 3° aproximadamente frente a la extremidad contralateral; el rango de movilidad articular en la rodilla fue menor durante el apoyo medio y terminal en la pierna lesionada; el momento pico de flexión de rodilla fue menor durante el apoyo terminal en la pierna

lesionada; mientras que, el ángulo pico de aducción de cadera fue menor durante el apoyo medio en la pierna lesionada con una diferencia de 1.3° en comparación con la extremidad no intervenida.

De forma similar, Shi et al (25) incluyó en su estudio un solo grupo de 24 pacientes masculinos con reconstrucción de LCA por autoinjerto con tendón de isquiotibiales y se analizaron los siguientes parámetros de la marcha con la finalidad de observar las diferencias biomecánicas entre la pierna intervenida y la no lesionada. El ángulo de flexión de rodilla fue menor en la pierna lesionada durante la respuesta a la carga y el apoyo medio con diferencias aproximadas a los 3° ; disminución en el rango de movilidad articular de rodilla de la pierna lesionada durante el apoyo medio y terminal de la marcha; los momentos de flexión y rotación externa de rodilla fueron menores en la pierna lesionada durante el apoyo terminal, mientras que el momento pico de extensión de rodilla fue menor durante la respuesta a la carga y el apoyo medio de la marcha en la pierna lesionada en comparación con la no intervenida.

Del mismo modo Johnston et al. (26) realizaron un análisis comparativo en un grupo de 98 pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto, 74 con tendón patelar y 24 con tendón de isquiotibiales, y tomaron en cuenta la fuerza de reacción vertical del suelo pico, momento de extensión pico de rodilla y ángulo de flexión pico de rodilla. La fuerza de reacción vertical del suelo y el momento de extensión de rodilla fueron más altos en la extremidad no intervenida en comparación con la operada, por otro lado, el ángulo de flexión de rodilla fue menor en la extremidad operada en comparación con la no intervenida con una diferencia de 1.3° .

Sin embargo, se halló un estudio que no pudo encontrar resultados satisfactorios en su objetivo por reconocer las diferencias en los parámetros de la marcha entre la extremidad intervenida y su contralateral en un grupo de pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto; Schagemann (27) evaluó los rangos de movilidad articular de rodilla y los ángulos varo y valgo durante el ciclo de la marcha en un grupo de 25 pacientes (8 con tendón patelar y 17 con isquiotibiales); no obstante a diferencia de los demás estudios incluidos en la revisión, no se hallaron diferencias significativas en ninguno de los dos datos evaluados entre las extremidades inferiores de los pacientes ni entre los dos tipos de autoinjerto con los que fueron intervenidos los pacientes.

Schliemann et al. (28) llevaron a cabo un estudio en el cual se reunieron a 30 pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto con tendón del semitendinoso y se evaluó su velocidad de marcha, largo de paso, rango de movimiento articular de rodilla y fuerza de reacción vertical del suelo. Se realizaron dos evaluaciones, 6 semanas y 6 meses después de realizada la cirugía y se obtuvieron datos promedio de cada parámetro para identificar los cambios y la evolución de los pacientes que hayan sido operados a partir de este método. La velocidad de la marcha tuvo un incremento desde 118.8 cm/s en la primera evaluación hasta 125.3 cm/s en la segunda evaluación; del mismo modo el largo de paso presentó un aumento de la primera a la segunda evaluación desde 66.5 cm a 68.3 cm. Con respecto al rango de movimiento en rodilla se observó una mejoría significativa entre una evaluación y otra, tanto en la fase de apoyo de 11.1° a 13.7° como en la fase de balanceo de 44.1° a 53.7°: mientras que, la fuerza de reacción vertical del suelo también presentó una mejoría en la segunda evaluación con respecto a la primera especialmente en las fases de respuesta a la carga y el despegue del ciclo de la marcha.

Por otro lado, un estudio se enfocó en identificar las diferencias y alteraciones de la marcha en pacientes con reconstrucción de LCA a partir de su edad y la influencia que ésta podría tener sobre su evolución, es así como Lisee et al. (29) realizaron un estudio incluyendo 26 participantes divididos en dos grupos iguales según su edad, adolescentes y adultos, y se analizaron ciertos parámetros que se especificarán a continuación. A comparación del grupo de adultos, los adolescentes demostraron ángulos de flexión de rodilla mayores con una diferencia pico de 4° durante la mayor parte de la fase de apoyo, menor fuerza de reacción vertical del suelo durante 9%-15% de la fase de apoyo y menor momento de abducción y de extensión de rodilla durante 12%-25% y 81%-98% de la fase de apoyo, respectivamente. Ahora bien, tomando en cuenta sólo al grupo de 13 adolescentes se compararon los datos obtenidos entre la extremidad operada y la no lesionada; evidenciando que hubo un mayor ángulo de flexión de rodilla en la pierna intervenida con una diferencia pico de 5°, el momento de abducción de rodilla fue mayor durante 51%-81% de la fase de apoyo y el momento de extensión de rodilla fue menor durante 8%-19% y mayor desde 51%-81% de la misma; todos estos datos sobre la extremidad lesionada con respecto a su contralateral.

Por último, Zhou et al. (30) en su estudio realizaron el seguimiento de 30 pacientes operados para una reconstrucción de LCA por autoinjerto con tendón de isquiotibiales;

pero en este estudio los principios en que se basaron para su organización en dos grupos fueron: aquellos que pudieron regresar a la actividad deportiva y aquellos que no fueron capaces. Cada grupo estuvo conformado por 15 participantes y se evaluaron los datos de traslación tibial y varios ángulos de movimiento articular en rodilla. En cuanto al promedio de traslación tibial anterior-posterior, este fue mayor en el grupo que no retornó al deporte con 1.00 mm de movimiento durante la fase de apoyo; al igual que la traslación tibial medial-lateral y proximal-distal que fueron mayores en el mismo grupo durante la fase de la marcha antes mencionada con 1.61 mm y 3.09 mm, respectivamente. El promedio angular de rotación externa (1.80°) y de varo (0.40°) en rodilla fue mayor en el grupo que no fue capaz de retornar al deporte; mientras que el ángulo de flexión de rodilla promedio fue mayor para el grupo que sí pudo lograr este objetivo durante la fase de apoyo con 8.34° .

Después de haber analizado los hallazgos en los artículos incluidos en la revisión con la finalidad de reconocer las alteraciones más comunes en la biomecánica de la marcha en pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto, se pudieron obtener varias conclusiones acerca de este método quirúrgico.

En primer lugar, el ángulo de flexión de rodilla fue el más abarcado dentro de los estudios, no obstante, no todos lo evaluaron dentro del mismo contexto por lo cual los resultados obtenidos en varios casos concuerdan y en otros se contrastan entre sí; por ejemplo, tres artículos que realizaron la valoración de la marcha en un solo grupo de pacientes comparando los datos entre la extremidad operada y no operada coinciden en que el ángulo de flexión de rodilla pico es menor en la pierna lesionada con respecto a la contralateral durante la mayor parte de la fase de apoyo del ciclo de la marcha (24–26); en otro contexto la comparación de los datos se llevó a cabo entre un grupo de pacientes con reconstrucción de LCA y un grupo de control en otros tres estudios y dos de ellos concuerdan en que el ángulo de flexión de rodilla promedio se encuentra aumentado en el grupo intervenido durante la fase de apoyo (20,22) y disminuido durante la fase de balanceo a comparación del grupo de control (20). De forma similar, Davis-Wilson (23) realizaron su estudio evaluando un grupo de intervención frente a un grupo de control; no obstante sus resultados no coincidieron con lo expuesto anteriormente ya que demostraron que a los 6 y 12 meses postcirugía el primer grupo presentaba un ángulo de flexión de rodilla disminuido durante la mayor parte de la fase de apoyo, a su vez concordando con los datos recolectados en los estudios que

evaluaron solo un grupo de pacientes y realizaron una comparación entre las extremidades de cada uno (24–26). A su vez, Lisee et al. (29) enfocó su estudio en los adolescentes obteniendo como resultado que este grupo presenta mayor ángulo de flexión de rodilla si se lo compara con un grupo de personas mayores de 18 años y que su extremidad afectada presenta la misma característica con respecto a su pierna no lesionada; por lo cual es esencial que el tratamiento fisioterapéutico tome en cuenta este factor demográfico para un tratamiento centrado en conseguir la mayor simetría posible entre ambos miembros inferiores. Mientras que Zhou et al. (30) llevaron a cabo su estudio con un grupo de deportistas que volvió a la actividad de alta exigencia y lo compararon con un grupo que no lo logró, evidenciando en este último que el ángulo de flexión de rodilla fue menor; siendo muy interesante la conclusión de que los pacientes que presenten una mayor movilidad en la flexión-extensión de rodilla tienen mayores posibilidades de una rehabilitación más rápida y óptima; por lo que sirve como un punto a tomar en cuenta en el campo fisioterapéutico al enfocar el tratamiento en la normalización de este parámetro durante el desarrollo de la marcha.

El segundo criterio más evaluado en la bibliografía es el rango de movilidad articular de rodilla, tres estudios afirman que este parámetro se ve disminuido en la pierna en la que se realizó la intervención quirúrgica con respecto a la extremidad no lesionada (20,24,25); mientras que otro artículo contrasta con dichos resultados debido a que en su elaboración no obtiene diferencias significativas que se deban destacar en los pacientes valorados (27). Por su parte Schliemann et al. (28) aportó en el campo de rehabilitación ya que analizó el rango articular en pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto en dos espacios de tiempo, 6 semanas y 6 meses postcirugía, y entre cada evaluación los pacientes llevaron a cabo un programa de rehabilitación estándar basado en el fortalecimiento muscular y la mejoría de la propiocepción y estabilidad articular; concluyó que el rango de movimiento aumentó entre una evaluación y otra, por lo cual se deduce que el trabajo de fisioterapia sobre este criterio es fundamental con la finalidad de obtener la mayor movilidad posible sobre la articulación.

Hay disconformidad con respecto al ángulo de abducción de rodilla durante el ciclo de la marcha en estos pacientes ya que los dos estudios que se encargaron de su análisis arrojaron resultados diferentes entre sí; Zeng et al. (20) evidenciaron un aumento de este ángulo en los pacientes intervenidos en comparación con un grupo de control; a diferencia de Sideris et al. (22) que indicaron una disminución en la abducción máxima

de cadera en los pacientes con reconstrucción de LCA; de tal forma que es indispensable la realización de estudios que evalúen este parámetro en específico para identificar su relación con el desarrollo de la marcha. Por otro lado, los ángulos de rotación externa e interna de rodilla fueron analizados en un solo estudio que indicó aumento de este ángulo en un grupo de pacientes que no pudieron retornar a la actividad deportiva frente a otro grupo que sí lo logró **(30)**; esto puede ser un indicativo de inestabilidad articular después de la cirugía por lo que es punto que resulta indispensable en el proceso de rehabilitación física. En el mismo artículo también se evidencia que el ángulo varo de rodilla fue mayor en el grupo que no retornó al deporte, no obstante estos resultados no concuerdan con lo expuesto por Schagemann et al. **(27)** quienes en su estudio no obtuvieron diferencias significativas de este criterio entre los grupos que fueron evaluados; para lo cual los futuros estudios deberían enfocarse también en el análisis de estos ángulos varo-valgo y su relación con las demás alteraciones de la marcha.

Los momentos de fuerza fueron datos analizados en varios estudios, el principalmente mencionado fue el de extensión de rodilla para el cual los cuatro estudios que lo analizaron concluyeron en que se ve disminuido en la extremidad lesionada en los pacientes con reconstrucción de LCA **(23,25,26,29)**. El momento de flexión de rodilla fue analizado en dos ocasiones para el que obtuvo la misma conclusión, este criterio se ve disminuido en la pierna operada **(24,25)**; sin embargo para el momento de rotación externa de rodilla hubo disconformidad pues Velasques et al. **(21)** evidenciaron aumento en estos datos al evaluar la rodilla afectada; mientras que Shi et al. **(25)** indicaron que el momento rotador externo disminuye luego de la intervención quirúrgica. Al no existir un gran número de evidencia que avale estos resultados es importante que a futuro se desarrollen estudios que se enfoquen en la evaluación de los momentos de fuerza generados por estos pacientes durante la marcha.

Los estudios que realizaron un análisis sobre la fuerza de reacción vertical del suelo llegaron a la conclusión de que este parámetro se encuentra disminuido en la pierna intervenida de los pacientes con reconstrucción de LCA, incluso después de haber transcurrido varias semanas después de la cirugía **(23,26)**; no obstante Schliemann **(28)** demostraron que este factor puede mejorarse paulatinamente con trabajo de fisioterapia enfocada a la reeducación de la marcha.

La velocidad de la marcha y el largo de paso son parámetros que no representan un gran aporte debido a que fueron abordados en un solo estudio, el cual pudo demostrar que ambos parámetros se ven mejorados después de 6 meses postcirugía; no obstante, no brinda una comparación con un grupo de control (28). De forma similar, Shi et al. (24) son los autores del único estudio que recopiló información acerca del comportamiento biomecánico de la cadera incluyendo rango de movimiento y momentos de fuerza, siendo así muy difícil llegar a una conclusión sobre las alteraciones de esta articulación durante la marcha al no tener más estudios que puedan avalar los resultados que se obtuvieron, por ello es importante que a futuro se realicen análisis de la biomecánica en las demás articulaciones principales del miembro inferior en los pacientes que se hayan sometido a una reconstrucción de LCA por autoinjerto.

Hay que destacar que de la bibliografía analizada sólo un estudio estuvo en desacuerdo con los demás respecto a sus ideas y objetivos generales al no poder hallar ninguna alteración biomecánica que haya sido considerada como significativa habiendo evaluado el rango de movilidad articular de rodilla y los ángulos varo y valgo en un grupo de 25 pacientes que se sometieron a una cirugía de reconstrucción de LCA por autoinjerto; concluyendo así que el patrón de la marcha no resulta afectado en la extremidad operada; no obstante, el estudio pasa por alto otros parámetros muy importantes y más específicos (27).

CONCLUSIONES

En los pacientes con reconstrucción de LCA por autoinjerto se han evidenciado varias alteraciones biomecánicas en el ciclo de la marcha producto de la deficiente distribución de la carga y la afectación que tiene la lesión sobre las estructuras aledañas a la articulación de la rodilla (15); la presente revisión pudo demostrar que los ángulos de movimiento cinemático (sobre todo la flexión de rodilla), el rango articular, los momentos de fuerza y la reacción vertical del suelo son los parámetros mayormente afectados; pero no se ha podido instaurar un patrón específico de la marcha debido a la discrepancia de los resultados obtenidos. Además, la evidencia más reciente no ha tomado en cuenta las otras articulaciones principales del miembro inferior, tobillo y cadera, por ello sería indispensable para los investigadores centrarse en estas estructuras para futuros estudios sobre el análisis de la marcha en estos pacientes; adicionalmente, brindar mayor especificidad con respecto al tiempo transcurrido desde la ruptura del

ligamento hasta la cirugía y desde la intervención hasta el momento en el que se haya realizado la valoración de la marcha, pues muchos autores dejaron de lado ésta importante información.

Referencias.

1. Bicer EK, Lustig S, Servien E, Selmi TAS, Neyret P. Current knowledge in the anatomy of the human anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. agosto de 2010 [citado 10 de octubre de 2023];18(8):1075-84. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00167-009-0993-8>
2. Domnick C, Raschke MJ, Herbolt M. Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques. *WJO* [Internet]. 2016 [citado 10 de octubre de 2023];7(2):82-93. Disponible en: <http://www.wjgnet.com/2218-5836/full/v7/i2/82.htm>
3. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. marzo de 2006 [citado 10 de octubre de 2023];14(3):204-13. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00167-005-0679-9>
4. Kraeutler MJ, Wolsky RM, Vidal AF, Bravman JT. Anatomy and Biomechanics of the Native and Reconstructed Anterior Cruciate Ligament: Surgical Implications. *The Journal of Bone and Joint Surgery* [Internet]. 1 de marzo de 2017 [citado 10 de octubre de 2023];99(5):438-45. Disponible en: <https://journals.lww.com/00004623-201703010-00010>
5. Martins CAQ, Kropf EJ, Shen W, van Eck CF, Fu FH. The Concept of Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Operative Techniques in Sports Medicine* [Internet]. julio de 2008 [citado 10 de octubre de 2023];16(3):104-15. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1060187208000580>
6. Morales-Avalos R, Torres-González EM, Padilla-Medina JR, Monllau JC. ACL anatomy: Is there still something to learn? *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología* [Internet]. 12 de febrero de 2023 [citado 10 de octubre de 2023];

- Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S188844152300070X>
7. Siegel L, Vandenakker-Albanese C, Siegel D. Anterior Cruciate Ligament Injuries: Anatomy, Physiology, Biomechanics, and Management. *Clin J Sport Med* [Internet]. julio de 2012;22(4):349-55. Disponible en: https://journals.lww.com/cjsportsmed/abstract/2012/07000/anterior_cruciate_ligament_injuries__anatomy,.7.aspx
 8. Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, Musahl V, Fu FH. Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 29 de septiembre de 2006 [citado 10 de octubre de 2023];14(10):982-92. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00167-006-0076-z>
 9. Valderrama-Treviño AI, Granados-Romero JJ, Rodríguez CA, Barrera-Mera B, Contreras-Flores EH, Uriarte-Ruiz K, et al. Lesión del ligamento cruzado anterior. *Orthotips* [Internet]. 2017;13(4):160-8. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2017/ot174b.pdf>
 10. Dauty M, Crenn V, Louguet B, Grondin J, Menu P, Fouasson-Chailloux A. Anatomical and Neuromuscular Factors Associated to Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury. *JCM* [Internet]. 3 de marzo de 2022 [citado 10 de octubre de 2023];11(5). Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/5/1402>
 11. Cronström A, Tengman E, Häger CK. Risk Factors for Contra-Lateral Secondary Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med* [Internet]. julio de 2021 [citado 10 de octubre de 2023];51(7):1419-38. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s40279-020-01424-3>
 12. Lin KM, Boyle C, Marom N, Marx RG. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev* [Internet]. 2020;28(2):41-8. Disponible en: https://journals.lww.com/sportsmedarthro/abstract/2020/06000/graft_selection_in_anterior_cruciate_ligament.3.aspx

13. Webster KE, Wittwer JE, O'Brien J, Feller JA. Gait Patterns after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction are Related to Graft Type. *Am J Sports Med* [Internet]. febrero de 2005 [citado 10 de octubre de 2023];33(2):247-54. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546504266483>
14. Webster KE, Feller JA, Wittwer JE. Longitudinal changes in knee joint biomechanics during level walking following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Gait & Posture* [Internet]. junio de 2012 [citado 10 de octubre de 2023];36(2):167-71. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636212000549>
15. Hart HF, Culvenor AG, Collins NJ, Ackland DC, Cowan SM, Machotka Z, et al. Knee kinematics and joint moments during gait following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. mayo de 2016 [citado 10 de octubre de 2023];50(10):597-612. Disponible en: <https://bjsm.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bjsports-2015-094797>
16. Roberts M, Mongeon D, Prince F. Biomechanical parameters for gait analysis: a systematic review of healthy human gait. *Phys Ther Rehabil* [Internet]. 2017 [citado 10 de octubre de 2023];4(1). Disponible en: <http://www.hoajonline.com/phystherrehabil/2055-2386/4/6>
17. Harris GF, Wertsch JJ. Procedures for gait analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [Internet]. febrero de 1994 [citado 10 de octubre de 2023];75(2):216-25. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0003999394903999>
18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine* [Internet]. julio de 2009;6(7):e1000097. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1000097>
19. Urrútia G, Bonfill X. La declaración PRISMA: un paso adelante en la mejora de las publicaciones de la Revista Española de Salud Pública. *Rev Esp Salud Publica* [Internet]. abril de 2013 [citado 11 de octubre de 2023];87(2):99-102. Disponible

en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272013000200001&lng=en&nrm=iso&tlng=en

20. Zeng X, Zeng J, Lin J, Kong L, Chen H, Zhong G, et al. Knee Kinematic Patterns and Early Cartilage Lesion Characteristics in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JCM* [Internet]. 16 de septiembre de 2022 [citado 11 de octubre de 2023];11(18):1-12. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/18/5457>
21. Velasques Stoelben KJ, Pappas E, Mota CB. Lower extremity joint moments throughout gait at two speeds more than 4 years after ACL reconstruction. *Gait & Posture* [Internet]. mayo de 2019 [citado 11 de octubre de 2023];70:347-54. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636218317557>
22. Sideris A, Hamze A, Bertollo N, Broe D, Walsh W. Knee kinematics in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with four- and five-strand hamstring tendon autografts. *Orthop Rev (Pavia)* [Internet]. 5 de septiembre de 2018 [citado 11 de octubre de 2023];10(3):89-96. Disponible en: <https://orthopedicreviews.openmedicalpublishing.org/article/23121>
23. Davis-Wilson HC, Pfeiffer SJ, Johnston CD, Seeley MK, Harkey MS, Blackburn JT, et al. Bilateral Gait 6 and 12 Months Post–Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Compared with Controls. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. abril de 2020 [citado 11 de octubre de 2023];52(4):785-94. Disponible en: <https://journals.lww.com/10.1249/MSS.0000000000002208>
24. Shi H, Huang H, Yu Y, Liang Z, Zhang S, Yu B, et al. Effect of dual task on gait asymmetry in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Sci Rep* [Internet]. 13 de agosto de 2018 [citado 11 de octubre de 2023];8(1):1-10. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-30459-w>
25. Shi H, Huang H, Ren S, Yu Y, Liang Z, Wang Q, et al. The relationship between quadriceps strength asymmetry and knee biomechanics asymmetry during walking in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait & Posture* [Internet]. septiembre de 2019 [citado 11 de octubre de 2023];73:74-9. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636219302486>

26. Johnston CD, Goodwin JS, Spang JT, Pietrosimone B, Blackburn JT. Gait biomechanics in individuals with patellar tendon and hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction grafts. *Journal of Biomechanics* [Internet]. 2018 [citado 11 de octubre de 2023];82:103-8. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021929018307760>
27. Schagemann J, Koebrich T, Wendlandt R, Schulz AP, Gille J, Oheim R. Comparison of hamstring and quadriceps tendon autografts in anterior cruciate ligament reconstruction with gait analysis and surface electromyography. *J Orthop Traumatol* [Internet]. diciembre de 2021 [citado 11 de octubre de 2023];22(20). Disponible en: <https://jorthotraumatol.springeropen.com/articles/10.1186/s10195-021-00581-z>
28. Schliemann B, Glasbrenner J, Rosenbaum D, Lammers K, Herbort M, Domnick C, et al. Changes in gait pattern and early functional results after ACL repair are comparable to those of ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. febrero de 2018 [citado 11 de octubre de 2023];26(2):374-80. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00167-017-4618-3>
29. Lisee CM, Bjornsen E, Horton WZ, Davis-Wilson H, Blackburn JT, Fisher MB, et al. Differences in Gait Biomechanics Between Adolescents and Young Adults With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Athletic Training* [Internet]. 1 de septiembre de 2022 [citado 12 de octubre de 2023];57(9/10):921-8. Disponible en: <https://meridian.allenpress.com/jat/article/57/9-10/921/490222/Differences-in-Gait-Biomechanics-Between>
30. Zhou T, Xu Y, Zhou L, Wang S, Wang S, Xu W. Multi-planar instability, laxity and reduced knee flexion during the support phase of walking are determinants of return to sports. *Front Bioeng Biotechnol* [Internet]. 3 de noviembre de 2022 [citado 11 de octubre de 2023];10:1047135. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2022.1047135/full>