

PROGRAMA DE DOCTORADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOMEDICINA

TESIS DOCTORAL POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES

**FUERZA MUSCULAR DE RODILLA Y
RESULTADOS AUTO INFORMADOS EN
PACIENTES CON ROTURA DEL LIGAMENTO
CRUZADO ANTERIOR**

D. Ignacio Manchado Herrera

En Las Palmas de Gran Canaria, a 19 de febrero de 2023

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, sin ellos nada pudo ser posible. Gracias por su esfuerzo y sacrificio, su vocación siempre fue “tallar diamantes”. Presentes a diario en mi corazón.

A mi mujer y mi hija, pues son el principio y el fin de todo en mi vida. Viento en mis velas. Nunca podré devolver todo el tiempo “robado”, gracias por su generosidad sin condición.

Al Prof. Dr. Gerardo Luis Garcés Martín, por abrirme sus puertas y acogerme como uno más de “los suyos”. Siempre acertado en su dirección, consejo y orientación. Gracias por creer en mí.

Al Dr. José Manuel García Castellano, codirector de esta tesis, por su apoyo y dedicación.

A D.^a Luci Mara Motta, inminente Doctora. Compañera en este viaje. El camino recorrido es la mayor recompensa.

A todos los que han hecho posible esta tesis aportando conocimientos, pericia, consejo, apoyo, empuje y amistad: D. Jesús González, Dr. Pedro Saavedra, D. Gustavo Blanco, D. Álvaro Blanco, Dr. Felipe García, D. Andrés Logiugio, Dr. José Ramón Santana y Dr. David Álvarez.

A todos los docentes que fueron, son y serán. Siempre regalan el valor más alto y preciado: conocimiento.

A la ULPGC, anhelo y reivindicación de los padres de mi generación. Por todo lo recibido a cambio de muy poco. Gracias por su inspiración en la búsqueda de la excelencia.

Al Hospital Perpetuo Socorro, por permitir mi desarrollado profesional.

A mi familia, especialmente mis dos “estrellas”

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	4
ABREVIATURAS	7
INTRODUCCIÓN	8
Estado actual del tratamiento en la insuficiencia del ligamento cruzado anterior	8
Tratamiento rehabilitador de la deficiencia del ligamento cruzado anterior	10
Tratamiento quirúrgico de la lesión del ligamento cruzado anterior	14
Tratamiento rehabilitador en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior	18
Fuerza muscular de rodilla en pacientes con lesión del LCA	24
Traslación tibial anterior	28
Cuestionarios de valoración basados en el paciente para evaluar la función del LCA	28
OBJETIVOS	29
Objetivo general	29
Objetivos específicos	29
Estudiar los resultados funcionales de pacientes intervenidos de reconstrucción del ligamento cruzado anterior utilizando técnica “all-inside”	29
Estudiar la correlación entre la fuerza muscular de la rodilla, resultados funcionales auto informados y el tiempo transcurrido tras la lesión en pacientes con insuficiencia del ligamento cruzado anterior	30
Estudiar la fuerza muscular de la rodilla y resultados funcionales auto percibidos en pacientes intervenidos mediante reconstrucción del ligamento cruzado anterior usando uno versus dos autoinjertos de tendones de isquiotibiales	30

JUSTIFICACIÓN	31
METODOLOGÍA	35
Criterios de inclusión	35
Criterios de exclusión	36
Parámetros de valoración	36
Traslación tibial anterior (TTA)	36
Determinación de la fuerza muscular de la rodilla	37
Valoración subjetiva por parte del paciente. Cuestionario IKDC	38
Valoración subjetiva por parte del paciente. Lisholm Knee Score	39
Estadística	39
Estudios realizados	40
Estudio de los resultados funcionales de pacientes intervenidos de reconstrucción del ligamento cruzado anterior utilizando técnica “all-inside”	40
Estudio de la correlación entre la fuerza muscular de la rodilla, resultados funcionales y el tiempo posterior a la lesión en pacientes con insuficiencia del ligamento cruzado anterior	41
Estudio de la fuerza muscular de la rodilla y resultados funcionales en pacientes intervenidos mediante reconstrucción del ligamento cruzado anterior: diferencias observadas cuando se usa uno versus dos autoinjertos de isquiotibiales	43
ARTÍCULOS PUBLICADOS	45
CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84

RESUMEN

Antecedentes: Tras la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) se producen modificaciones en la fuerza de la rodilla que pueden afectar a la funcionalidad del paciente. Sin embargo, muchos pacientes con insuficiencia del ligamento no presentan síntomas de inestabilidad tras un tratamiento conservador. Un porcentaje aún mayor precisa reconstrucción del ligamento para volver al nivel de función previo a la lesión. Se ha prestado poca atención a los parámetros que pueden influir en los resultados de pacientes con deficiencia del ligamento cruzado anterior que requieren cirugía después de un programa de rehabilitación fallido. Tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior los déficits de fuerza no sólo se mantienen, sino que se pueden agravar. Los déficits en la función flexora de la rodilla tras la reconstrucción se asocian con resultados desfavorables a medio y largo plazo. Todavía existe controversia respecto al uso de uno o dos tendones isquiotibiales para la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Varios estudios han comparado resultados entre ambos grupos publicando hallazgos contradictorios respecto a la fuerza muscular y los resultados informados por el paciente. Independientemente del método de fijación elegido, el proceso de curación del túnel óseo tiende a ser más lento después de una reconstrucción con tendones isquiotibiales. La adecuada fijación biológica de los tendones en la entrada del túnel es motivo de preocupación durante el proceso de rehabilitación postoperatoria inicial. El sistema *“Tape Locking Screw”* es una técnica *“all-inside”* reconocida que se utiliza en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior con tendón isquiotibial semitendinoso aislado. Sin embargo, pocos estudios han informado resultados clínicos asociados y todos ellos presentan cortos períodos de seguimiento.

Metodología: Este trabajo es una memoria de tesis doctoral por compendio de tres estudios publicados en revistas internacionales con factor de impacto en JCR. Los

parámetros de valoración fueron los mismos en los tres estudios, aunque no todos se llevaron a cabo en dichos estudios. Dichos parámetros fueron: medición de la traslación tibial anterior (TTA), fuerza muscular de la rodilla, IKDC forma subjetiva y *Lysholm Knee Score*. El primer artículo es un estudio de cohorte observacional retrospectivo, que involucró a 22 pacientes que se habían sometido a reconstrucción del ligamento cruzado anterior con técnica “*Tape Locking Screw*”. El tiempo de seguimiento fue de 1 a 5 años. El segundo artículo es un estudio observacional transversal que reclutó a 194 pacientes que presentaban inestabilidad de rodilla después de una ruptura unilateral del LCA y 53 controles sin lesiones. El último artículo publicado para esta tesis es un estudio retrospectivo observacional de dos cohortes de 26 pacientes masculinos que se sometieron, 5 años antes, a reconstrucción del ligamento cruzado anterior usando uno y dos tendones isquiotibiales respectivamente, y otra cohorte de pacientes masculinos de control sin lesiones.

Resultados: Primer artículo, la mediana (25-75%) de las diferencias de lado a lado de la traslación tibia anterior entre los lados lesionados y no lesionados fue de 4 (3,5-4) mm antes de la operación, 0,75 (0-1) mm 1 año después de la operación y 0,75 (0- 1) mm 5 años después de la operación ($P < 0,001$). La mediana (25-75%) de las puntuaciones IKDC fueron 44,25 (35,6-55,15), 92,55 (87,08-96,6) y 95,4 (90,8-97,7) puntos antes de la operación y 1 año ($P < 0,001$) y 5 años después de la operación, respectivamente. La mediana (25-75%) de las puntuaciones de Lysholm fueron 52 (38,75-64,5), 95,5 (94,75-99,25) y 97,5 (95-99) puntos antes de la operación y 1 año ($P < 0,001$) y 5 años después de la operación, respectivamente. Segundo artículo, los pacientes con ligamento cruzado anterior deficiente mostraron una disminución de la fuerza muscular de la rodilla tanto en las extremidades lesionadas como en las no lesionadas. La TTA se correlacionó significativamente con la ratio de fuerza isquiotibiales/cuádriceps (I/C) de las rodillas

lesionadas y no lesionadas de los pacientes, pero no en las rodillas de los controles. La fuerza del cuádriceps y la relación I/C se correlacionaron significativamente con la TTA para ambas extremidades de los pacientes. La puntuación IKDC se correlacionó significativamente con la fuerza de los cuádriceps y los isquiotibiales de la extremidad lesionada, pero no con la relación I/C, la TTA o el tiempo transcurrido después de la lesión. Tercer artículo, la puntuación IKDC fue significativamente menor en el grupo de dos tendones que en el grupo de tendón único: 9,57 (IC 14,89-4,25) ($p < 0,001$). No se detectaron diferencias significativas entre las rodillas lesionadas y las no lesionadas en la relación entre la fuerza isquiotibial y del cuádriceps, y en el índice de simetría de la extremidad del cuádriceps de los dos grupos operados, pero el índice de simetría de la extremidad isquiotibial fue significativamente más bajo en el grupo de dos tendones que en los grupos de tendón único y de control.

Conclusiones: Tras 1 año de la reconstrucción de ligamento cruzado anterior con técnica “*Tape Locking Screw*” se logran resultados favorables cuando se miden objetivamente y de manera auto informados. Estos resultados persisten 5 años, sin deterioro en el tiempo. Después de una ruptura del LCA, se debe implementar lo antes posible el acondicionamiento de la fuerza muscular tanto de la extremidad lesionada como de la no lesionada. El uso de dos injertos de tendón isquiotibial proporciona peores resultados en fuerza flexora e IKDC que el de un solo injerto de tendón a los 5 años de la cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior con técnica “*Tape Locking Screw*”.

Palabras clave: ligamento cruzado anterior; injerto isquiotibial; fuerza de la rodilla; relación isquiotibial/cuádriceps; Tape Locking Screw; Medidas de resultado informadas por el paciente

ABSTRACT

Background: After anterior cruciate ligament (ACL) rupture changes in knee strength occur that can affect the functionality of the patient. However, many patients with ligament insufficiency do not have symptoms of instability after conservative treatment. An even higher percentage require ligament reconstruction to return to the pre-injury level of function. Little attention has been paid to the parameters that may influence the outcomes of patients with ACL deficiency who require surgery after a failed rehabilitation program. After reconstruction of the anterior cruciate ligament, strength deficits are not only maintained, but can worsen. Deficits in knee flexor function after reconstruction are associated with unfavorable results in the medium and long term. There is still controversy regarding the use of one or two hamstring tendons for reconstruction of the anterior cruciate ligament. Several studies have compared results between both groups publishing conflicting findings regarding muscle strength and patient-reported outcomes. Regardless of the fixation method chosen, the bone tunnel healing process tends to be slower after a hamstring reconstruction. Proper biologic fixation of the tendons at the tunnel entrance is a concern during the initial postoperative rehabilitation process. The Tape Locking Screw system is a recognized all-inside technique used in anterior cruciate ligament reconstruction with isolated semitendinosus hamstring tendon. However, few studies have reported associated clinical outcomes and all of them have short follow-up periods.

Methodology: This work is a doctoral thesis report by compendium of three studies published in international journals with an impact factor in JCR. The endpoints were the same in all three studies, although not all were carried out in these studies. These parameters were: measurement of anterior tibial translation (ATT), knee muscle strength, IKDC subjective form, and Lysholm Knee Score. The first article is a retrospective

observational cohort study, which involved 22 patients who had undergone anterior cruciate ligament reconstruction with the "Tape Locking Screw" technique. The follow-up time was from 1 to 5 years. The second article is a cross-sectional observational study that recruited 194 patients presenting with knee instability after a unilateral ACL tear and 53 uninjured controls. The last article published for this thesis is a retrospective observational study of two cohorts of 26 male patients who underwent, 5 years earlier, reconstruction of the anterior cruciate ligament using one and two hamstring tendons, respectively, and another cohort of control male patients without injuries.

Results: First article, the median (25-75%) side-to-side differences in anterior tibial translation between the injured and non-injured sides was 4 (3.5-4) mm preoperatively, 0.75 (0-1) mm 1-year post-op and 0.75 (0-1) mm 5 years post-op ($P < 0.001$). Median (25-75%) IKDC scores were 44.25 (35.6-55.15), 92.55 (87.08-96.6), and 95.4 (90.8-97.7) points before the operation and 1 year ($P < 0.001$) and 5 years after the operation, respectively. The median (25-75%) Lysholm scores were 52 (38.75-64.5), 95.5 (94.75-99.25), and 97.5 (95-99) points before the operation and 1 year ($P < 0.001$) and 5 years after the operation, respectively. Second article, patients with deficient anterior cruciate ligament showed decreased knee muscle strength in both injured and non-injured extremities. ATT was significantly correlated with the hamstring/quadriceps (H/Q) strength ratio in the injured and uninjured knees of patients, but not in the knees of controls. Quadriceps strength and H/Q ratio were significantly correlated with ATT for both limbs of the patients. The IKDC score was significantly correlated with quadriceps and hamstring strength of the injured limb, but not with H/Q ratio, ATT, or time postinjury. Third article, the IKDC score was significantly lower in the two-tendon group than in the single-tendon group: 9.57 (CI 14.89-4.25) ($p < 0.001$). No significant differences were detected between injured and uninjured knees in the ratio of hamstring

to quadriceps strength and in the quadriceps limb symmetry index of the two operated groups, but the hamstring limb symmetry index it was significantly lower in the two-tendon group than in the single-tendon and control groups.

Conclusions: After 1 year of anterior cruciate ligament reconstruction with the "Tape Locking Screw" technique, favorable results are achieved when measured objectively and in a self-reported manner. These results persist for 5 years, without deterioration over time. After an ACL tear, muscle strength conditioning of both the injured and non-injured extremities should be implemented as soon as possible. The use of two hamstring tendon grafts provides worse results in flexor strength and IKDC than the use of a single tendon graft 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction surgery with the "Tape Locking Screw" technique.

Keywords: anterior cruciate ligament; hamstring tendon graft; knee strength; hamstring/quadriceps ratio; Tape Locking Screw; Patient-reported outcome measures

ABREVIATURAS

CCA: cadena cinética abierta

CCC: cadena cinética cerrada

HTH: injerto de hueso-tendón rotuliano-hueso

I/C: relación isquiotibiales/cuádriceps

IKDC: Comité Internacional de Documentación de la Rodilla (abreviatura en inglés de “*International Knee Documentation Committee*”)

ISE: índice de simetría de las extremidades

LCA: ligamento cruzado anterior

PRO: resultados informados por el paciente (abreviatura en inglés de “*Patient-reported Outcomes*”)

PROM: medidas de resultado informadas por el paciente (abreviatura en inglés de “*Patient-reported Outcome Measures*”)

RLCA: reconstrucción del ligamento cruzado anterior

ST: injerto de tendón semitendinoso

ST-G: injerto de tendones semitendinoso y gracilis

TAI: técnica “all-inside”

TLS: tornillo de bloqueo de cinta (abreviatura en inglés de “*Tape Locking Screw*”).

TTA: traslación tibial anterior

INTRODUCCIÓN

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más comunes durante la práctica deportiva (Diermeier et al., 2020; Irarrázaval et al., 2016; Widner et al., 2019). Más de la mitad se producen sin contacto en los deportes que requieren movimientos multidireccionales (saltos, giros, cambios rápidos de dirección), como ocurre en los deportes de equipo con balón (Chia et al., 2022). Sin tratamiento provoca debilidad muscular (Hohmann et al., 2019; Lee et al., 2015; Wellsandt et al., 2017), laxitud articular (Irarrázaval et al., 2016; Keizer and Otten, 2019), alteraciones biomecánicas (Goerger et al., 2015; Pamukoff et al., 2018), disminución de la calidad de vida (Filbay et al., 2018; Filbay and Grindem, 2019) y reducción de la actividad física (Irarrázaval et al., 2016). Por lo tanto, el retorno a las actividades deportivas, recreativas y laborales puede verse comprometido (Filbay and Grindem, 2019; Minzlaff et al., 2018). La lesión del LCA también se asocia con una mayor probabilidad de desarrollar artrosis (Whittaker et al., 2015). Esto genera altos costos directos e indirectos para la sociedad (Mather et al., 2013; Saltzman et al., 2016).

Estado actual del tratamiento en la insuficiencia del ligamento cruzado anterior

Los objetivos del tratamiento de una persona con rotura del LCA son restaurar la función de la rodilla, abordar las barreras psicológicas para reanudar la participación en actividades deportivas, prevenir más lesiones en la rodilla, reduciendo el riesgo de artrosis de rodilla, y optimizar su calidad de vida a largo plazo (Filbay and Grindem, 2019). Las opciones de tratamiento principales para la ruptura del LCA son: la rehabilitación como tratamiento de primera línea (seguida de la reconstrucción del LCA en pacientes que desarrollan inestabilidad funcional), la reconstrucción del LCA (RLCA) junto con rehabilitación postoperatoria, y rehabilitación preoperatoria seguida de RLCA y

rehabilitación postoperatoria (Diermeier et al., 2020; Filbay and Grindem, 2019; Piedade et al., 2022; Saueressig et al., 2022).

Para evaluar clínicamente las intervenciones terapéuticas tras una lesión del LCA se han definido, mediante consenso de expertos, diferentes medidas de resultado. Pueden resumirse en: aparición de eventos adversos (derrame articular, artritis, fallo de los dispositivos de reconstrucción, rotura del injerto), episodios de inestabilidad, fuerza muscular, resultados informados por el paciente (PRO, abreviatura en inglés de “*Patient-reported Outcomes*”) y regreso a la práctica deportiva (Lynch et al., 2015; Svantesson et al., 2020).

Los pacientes que regresan a sus actividades previas a la lesión tras la ruptura del LCA después de recibir tratamiento conservador sin reconstrucción del LCA (recuperación funcional con ligamento cruzado anterior deficiente) se definen como "copers", mientras que las personas que requieren una intervención quirúrgica (ligamento cruzado anterior reconstruido), a pesar del tratamiento rehabilitador, para alcanzar el nivel de función previo a la lesión se definen como "non-copers" (Kaplan, 2011). Los estudios que comparan ambos grupos (copers vs. non-copers), con diferentes periodos de seguimiento, informan de resultados similares respecto al resultado funcional subjetivo y objetivo, niveles de actividad, calidad de vida y ninguna diferencia en la prevalencia de artrosis radiológica. Los estudios que informan más laxitud de la rodilla en individuos con LCA deficiente (en comparación con individuos con LCA reconstruido), no encuentran diferencias en inestabilidad de la rodilla auto informada, resultados funcionales y niveles de actividad física entre los grupos. Esto sugiere que, a pesar de una mayor laxitud en las rodillas con deficiencia del LCA en comparación con las rodillas con RLCA, se puede lograr la estabilidad funcional a través del entrenamiento neuromuscular (Filbay and Grindem, 2019; Meuffels et al., 2009; Paterno, 2017; Saueressig et al., 2022; Smith et al.,

2014; van Yperen et al., 2018; Wellsandt et al., 2018). Tanto los tratamientos quirúrgicos como conservadores requieren de una rehabilitación progresiva, que implica fisioterapia escalonada y ajustada por fases con el objetivo de abordar las deficiencias, lograr la estabilidad funcional y volver al deporte de forma segura (Diermeier et al., 2020; Filbay and Grindem, 2019).

Tratamiento rehabilitador de la deficiencia del ligamento cruzado anterior

Hace más de 20 años, investigadores de la Universidad de Delaware (Fitzgerald et al., 2000) propusieron una herramienta de detección para identificar a los pacientes que probablemente pueden volver con éxito a deportes con un alto nivel de actividad sin reconstrucción del LCA. Si los pacientes con deficiencia de LCA pasan con éxito la herramienta de detección (no presentar lesiones concomitantes, incidencia de inestabilidad, prueba de salto, función auto informada) se les ofrece la oportunidad de seguir un plan de atención no quirúrgico después de una lesión de LCA. Si no alcanzan los objetivos, se identifica a los pacientes como "non-coper" y se recomienda cirugía de reconstrucción. Sin embargo, ninguna herramienta de evaluación ha tenido éxito absoluto en la identificación de este subconjunto de la población de pacientes con deficiencia de LCA que tiene potencial para tener éxito con tratamiento conservador ("copers") (Kaplan, 2011).

La evidencia actual sugiere que un pequeño porcentaje de pacientes puede volver con éxito a los deportes multidireccionales con un LCA deficiente. Se estima que aproximadamente el 54 % de los pacientes con una lesión del LCA no son aptos para participar en el cribado debido a una lesión concomitante, como lesión meniscal, lesión condral u otras lesiones ligamentosas. En el resto de los pacientes, menos de la mitad (20 % de la población) son etiquetados como posibles "copers" y de éstos, un porcentaje aún menor completan con éxito la rehabilitación y pueden volver su nivel actividad previo a

la lesión sin reconstrucción quirúrgica (Paterno, 2017). Si un paciente decide seguir un tratamiento no quirúrgico con la esperanza de volver a los deportes multidireccionales, debe someterse a una herramienta de detección rigurosa, como la desarrollada por Fitzgerald et al. (Fitzgerald et al., 2000), o modificar su actividad evitando participar en este tipo de deportes (Kaplan, 2011). Los pacientes que llevan un estilo de vida más sedentario, que tienen ocupaciones menos exigentes físicamente, o que optan por modificar la actividad para participar únicamente en actividades deportivas principalmente de línea recta, como trotar y andar en bicicleta, tienen una mayor probabilidad de tener éxito con un curso no quirúrgico. Si los pacientes eligen modificar su actividad, su rehabilitación se centra en abordar las deficiencias post lesiones agudas, maximizar la fuerza y garantizar que el paciente pueda participar en las actividades deseadas sin episodios de inestabilidad funcional (Paterno, 2017).

Los pacientes que sufren una lesión aislada del LCA, pasan con éxito la herramienta de detección y desean volver a practicar deportes multidireccionales deben participar en una rehabilitación sistemática y progresiva abordando las deficiencias con el objetivo de asegurar la estabilidad funcional y determinar la preparación para volver al deporte de manera segura. Esto requiere la participación en una progresión por etapas centrada inicialmente en las deficiencias residuales y la estabilidad y, en última instancia, vinculada a un retorno dinámico y exitoso a la progresión deportiva (Filbay and Grindem, 2019; Paterno, 2017).

Durante la fase aguda tras la lesión la rehabilitación se centra en abordar los síntomas agudos residuales y las deficiencias de la lesión (hemartrosis aguda, pérdida de movimiento, debilidad en la extremidad afectada e inhibición refleja de la musculatura). La utilización de ejercicio terapéutico y la terapia física son esenciales para abordar estas deficiencias: crioterapia y compresión, estimulación eléctrica y restauración del rango

completo de movimiento. La debilidad residual en el músculo cuádriceps que persiste durante las etapas avanzadas de rehabilitación (que se enfoca en tareas de cadena cinética cerrada dinámica, actividades pliométricas y propioceptivas) puede resultar en el desarrollo de patrones de movimiento compensatorio anormal o inestabilidad residual. Es necesario iniciar intervenciones dinámicas de activación y fortalecimiento del músculo cuádriceps en este momento. La utilización de ejercicios de cadena cinética abierta (CCA) y cadena cinética cerrada (CCC) es fundamental, ya que el fortalecimiento de cuádriceps en CCA puede ser más efectivo para abordar la debilidad aislada, mientras que el fortalecimiento en CCC puede ayudar a incorporar el desarrollo de la fuerza de los cuádriceps en movimientos dinámicos. La extensión en CCA en una rodilla con LCA deficiente debe limitarse a un arco de movimiento entre los 100° y 30° de flexión. Este rango limitado reduce el cizallamiento anterior que se observa en el rango final de movimiento de una rodilla con un LCA deficiente. Otros déficits de fuerza fundamentales que deben comenzar a abordarse en la fase aguda de la rehabilitación incluyen los músculos isquiotibiales, y los de la cadera y tronco (conocidos como fortalecimiento del “core”) (Filbay and Grindem, 2019; Paterno, 2017).

Fase de Entrenamiento Neuromuscular: La progresión a la fase de entrenamiento neuromuscular ocurre cuando el paciente ha logrado un rango completo de movimiento, resolución del derrame e inflamación y recupera fuerza suficiente en las extremidades inferiores. Desde ese momento puede progresar hacia intervenciones avanzadas de equilibrio, propiocepción, acondicionamiento cardiovascular y neuromusculares. El entrenamiento neuromuscular es un término general que incluye entrenamiento de perturbación, entrenamiento de equilibrio, ejercicios de agilidad y ejercicios pliométricos. Por lo general, se usa un enfoque multimodal y no hay evidencia suficiente para sugerir que un tipo de entrenamiento es superior a otro (Filbay and Grindem, 2019). El

entrenamiento neuromuscular mejora la cinemática de la rodilla, la mecánica de la marcha y disminuye los episodios de inestabilidad. Antes del progreso a la fase de regreso al deporte, el paciente debe demostrar que completa con éxito la fase de entrenamiento neuromuscular sin inestabilidad. Además, el paciente debe presentar simetría de fuerza de cuádriceps e isquiotibiales de >90 % (Paterno, 2017).

Regreso al deporte: esta fase incluye entrenamiento de fuerza específicos para la actividad deportiva, ejercicios de potencia y agilidad y ejercicios específicos del deporte. Después de pasar los criterios de una batería de pruebas de retorno al deporte basada en el rendimiento, el atleta reanuda gradualmente la participación en la práctica deportiva sin restricciones. Esto se logra con una progresión por etapas desde el entrenamiento modificado (p. e., solo sin contacto), al entrenamiento completo (sin restricciones), a la participación restringida en competición (por la cantidad de minutos), hasta la participación sin restricciones en competiciones (Filbay and Grindem, 2019). Se recomienda a los pacientes que regresan a actividades multidireccionales, que tienen deficiencia de LCA, utilicen una ortesis de rendimiento funcional para mejorar la estabilidad. Aunque el mecanismo por el cual mejora la estabilidad no está claro, algunos datos sugieren reducción en la traslación tibial anterior y propiocepción mejorada, contribuyendo a una sensación de estabilidad por parte del paciente (Paterno, 2017). Una incorporación dinámica de la agilidad y el entrenamiento deportivo específico debe centrarse en la introducción de tareas de cambio de dirección de alta velocidad que se ven en el deporte. Las tareas de agilidad deben comenzar en línea recta a una velocidad submáxima y luego progresar con una mayor intensidad de movimiento y direcciones más dinámicas. En última instancia, se deben ejecutar y dominar maniobras a toda velocidad en los tres planos de movimiento (Paterno, 2017). La evidencia reciente sugiere que los atletas que regresan demasiado rápido de una lesión tienen un mayor riesgo de

sufrir lesiones en el futuro. El progreso adecuado de la intensidad del programa de rehabilitación, así como un programa de acondicionamiento cardiovascular complementario, es fundamental para reducir el riesgo de lesiones futuras. Es importante, también, valorar la preparación psicológica del paciente en el momento del regreso al deporte (Filbay and Grindem, 2019; Paterno, 2017).

Tratamiento quirúrgico de la lesión del ligamento cruzado anterior

La inestabilidad de rodilla es la principal indicación para el tratamiento quirúrgico (Diermeier et al., 2020) y debe ser evaluada subjetiva (antecedentes, síntomas) y objetivamente (examen físico y Resonancia Magnética Nuclear) (Irrázaval et al., 2016).

La reconstrucción del ligamento cruzado anterior es uno de los procedimientos ortopédicos más comunes realizado (Tuca et al., 2022). La RLCA disminuye la inestabilidad de la rodilla y la incidencia de lesiones posteriores, incluyendo roturas de menisco y cambios degenerativos (Diermeier et al., 2020; Irrázaval et al., 2016). El paciente ideal para la reconstrucción del LCA es un paciente joven (<40 años) con un estilo de vida activo y una lesión aguda del LCA. La reconstrucción del LCA está contraindicada en pacientes con roturas parciales, inestabilidad mínima y sin laxitud articular en el examen. También está contraindicado en pacientes de edad avanzada, de baja demanda con inestabilidad mínima, pacientes con mala alineación de la rodilla y comorbilidades asociadas que hacen insegura la intervención quirúrgica (p. ej., infección activa) (Irrázaval et al., 2016). Las contraindicaciones relativas, que deben evaluarse caso por caso, incluyen pacientes con fisis abiertas (etapa de Tanner ≤ 3 , hombres ≤ 16 años o mujeres ≤ 14 años), evidencia radiográfica de enfermedad articular degenerativa (grado de Kellgren-Lawrence ≥ 3), un estilo de vida sedentario o inactivo, y falta de voluntad o incapacidad para cumplir con el protocolo de rehabilitación postoperatoria requerido (Irrázaval et al., 2016).

Las técnicas de reconstrucción más usadas son las que emplean tejido autólogo para sustituir el ligamento roto (Tuca et al., 2022). Dentro de estas, las preferidas por la mayoría de los cirujanos, son las que utilizan un fragmento del tendón rotuliano unido a parte de la rótula y de la tuberosidad anterior de la tibia (injerto hueso-tendón-hueso) o los tendones de la pata de ganso (injerto de isquiotibiales) (Tuca et al., 2022; Widner et al., 2019). A pesar de la alta prevalencia, todavía hay mucho debate sobre la elección óptima del injerto (Koga et al., 2018; Widner et al., 2019).

El autoinjerto de hueso-tendón-hueso (HTH) se consideró el “Gold-standard” debido a la facilidad de obtención, integración del injerto más rápida y las propiedades biomecánicas (Koga et al., 2018). Los autoinjertos de HTH se utilizan en aproximadamente el 20% de las reconstrucciones de LCA (Tuca et al., 2022; Widner et al., 2019). Una de las principales ventajas que ofrece el autoinjerto HTH es la similitud biomecánica compartida con el LCA nativo. Otra ventaja de usar el autoinjerto HTH es su facilidad de obtención, que requiere una disección mínima para acceder al tendón rotuliano. Las dimensiones óptimas del injerto incluyen un ancho óseo de 10 mm para maximizar la fuerza del ligamento reconstruido y minimizar el riesgo de fractura de rótula y pinzamiento intraarticular. La carga hasta el fallo de la fijación del bloque óseo y el tornillo de interferencia está entre 550 y 560 N, independientemente de si se utilizan tornillos de titanio o material bio-absorbible. Esto es muy parecido a las fuerzas experimentadas por el ligamento reconstruido en la rehabilitación temprana, que puede ser tan alta como 450-500 N. Sus desventajas más importantes son la morbilidad del sitio donante y el retraso en la extensión (Widner et al., 2019).

En los últimos años, ha habido un aumento en la preferencia del injerto de tendón isquiotibial sobre el injerto hueso-tendón rotuliano-hueso para la reconstrucción del LCA y representan entre el 40 y el 80 % de todas las reconstrucciones realizadas (Tuca et al.,

2022; Widner et al., 2019). La extracción de isquiotibiales tiene menor morbilidad y reduce el riesgo de dolor de rodilla, limitación de la flexión y artrosis (Chee et al., 2017; Poehling-Monaghan et al., 2017). Los autoinjertos de isquiotibiales más utilizados son los tendones semitendinosos y gracilis dobles (ST-G), con un dispositivo de suspensión cortical femoral fijo o ajustable y un tornillo de interferencia dentro del túnel tibial (Connaughton et al., 2017; de SA et al., 2018; Fu et al., 2020; Sharma et al., 2016; Widner et al., 2019). Este tipo de reconstrucción se lleva a cabo principalmente a través de un túnel tibial completo para colocar el injerto en la cavidad femoral, aunque actualmente se emplea los portales artroscópicos para la perforación del túnel femoral mediante una técnica portal (Irrarázaval et al., 2016; Tuca et al., 2022). Otra alternativa es usar sólo un injerto de tendón semitendinoso (ST) de cuatro hebras fijado a un encaje femoral y tibial a través de una técnica "all-inside" (TAI) (Connaughton et al., 2017; Desai et al., 2019; Fu et al., 2020; Kouloumentas et al., 2019; Kyung et al., 2015; Lee et al., 2019; Orfeuvre et al., 2019; Pautasso et al., 2021; Sharma et al., 2016). Las ventajas potenciales de la TAI incluyen la preservación del stock ósea, la reducción de la incidencia de complicaciones (fracturas de la meseta tibial, disminución de la disrupción perióstica del hueso cortical, disminución del dolor posoperatorio), mejor integración del injerto óseo, maduración acelerada del injerto, mayor precisión de la colocación anatómica (Ayzenberg et al., 2017; Collette and Cassard, 2011; Orfeuvre et al., 2019, 2018) y, por lo general, la obtención de un injerto de mayor diámetro (de SA et al., 2018; Fu et al., 2020; Haber et al., 2018). La reconstrucción del LCA mediante técnica "all-inside" también se acompaña de algunas desventajas. La adaptación y el aprendizaje de nuevas técnicas quirúrgicas siempre lleva tiempo y requiere práctica, ya que algunas técnicas, como la preparación del injerto, la fijación y la creación de los túneles con brocado retrógrado implican una curva de aprendizaje amplia (Bhimani et al., 2021).

Independientemente del uso de autoinjerto de tendones semitendinoso y gracilis o tendón semitendinoso aislado, el injerto isquiotibial cuádruple final ideal debe medir al menos 8 mm de diámetro o más, lo que confiere una carga máxima al fracaso de aproximadamente 4590 N (Widner et al., 2019). Las tasas de fracaso aumentan con injertos de menor diámetro. Se ha demostrado que los injertos de 9 mm de diámetro reducen la tasa de fracaso del injerto en un 55 % en comparación con el grosor del injerto de 7 mm, y los injertos de 9 mm o más de diámetro tienen resultados comparables al injerto de tendón rotuliano en pacientes con reconstrucción del LCA (Bhimani et al., 2021; Haber et al., 2018; Mariscalco et al., 2013; Widner et al., 2019). La RLCA “all-inside” es una técnica que permite crear de manera confiable injertos apropiadamente anchos que se puede realizar mediante la extracción de un solo injerto de semitendinoso, preservando el tendón gracilis y sin el requisito de un aumento de aloinjerto (Bhimani et al., 2021). La integración del injerto está condicionada por la superficie de contacto entre el injerto tendinoso y el túnel óseo (de SA et al., 2018). Diversos estudios han revelado una menor expansión de los túneles perforados con técnica de RLCA “all-inside” y preservación del stock óseo en comparación con los túneles completos observados en las técnicas estándar de RLCA en radiografías y tomografías computarizadas (Bhimani et al., 2021). Por lo general, con las técnicas “all-inside” hay menos longitud de injerto disponible para el fenómeno del “limpiaparabrisas” y la “cuerda elástica” en comparación con las reconstrucciones con túneles completos (Bhimani et al., 2021; de SA et al., 2018; Yamazaki et al., 2006). Respecto a la fijación del injerto, se ha informado que la fijación suspensoria podría aumentar el riesgo de ensanchamiento del túnel debido al fenómeno del “limpiaparabrisas” (Chee et al., 2017). El injerto de tendones isquiotibiales también tiene morbilidad en el sitio donante, que incluye dolor en la rodilla, déficits sensoriales y déficits de fuerza (Widner et al., 2019).

Tratamiento rehabilitador en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior

La lesión del LCA causa disfunción motora que compromete el equilibrio muscular. Tras la cirugía, fenómenos como la inflamación articular, el dolor, la inhibición muscular artrogénica y la atrofia refuerzan la importancia de un programa de rehabilitación, tanto antes como después de la operación (Piedade et al., 2022). El objetivo de un programa de rehabilitación después de una RLCA es manejar las metas y expectativas del paciente (es decir, regresar a las actividades físicas y los deportes) mientras se minimiza el riesgo de una nueva lesión (Rambaud et al., 2022).

La evidencia más reciente en la rehabilitación tras una RLCA se basa no sólo en el marco temporal sino también en la progresión funcional de criterios selectivos (cumplimiento de una serie de hitos u objetivos) antes del avanzar a la siguiente etapa del programa (Andrade et al., 2020; Cavanaugh and Powers, 2017; Filbay and Grindem, 2019; Logerstedt et al., 2017; Piedade et al., 2022; Riesterer et al., 2020). Dicha progresión funcional se basa en una secuencia ordenada de actividades que permiten la adquisición o readquisición de las habilidades requeridas para el desempeño seguro y efectivo de los esfuerzos atléticos. El paciente debe dominar las actividades simples antes de avanzar a una actividad más exigente. De esta forma la progresión en la rehabilitación se realiza de forma segura, respetando el tiempo de recuperación biológica mientras se evitan retrasos innecesarios, ya que algunos pacientes están listos para avanzar antes que otros (Cavanaugh and Powers, 2017; Filbay and Grindem, 2019).

La rehabilitación preoperatoria tiene como objetivo mejorar el control motor y el rango de movimiento, estableciendo condiciones clínicas favorables para prevenir el dolor anterior de rodilla y la inhibición del cuádriceps en la fase posoperatoria temprana. La rehabilitación preoperatoria de la lesión del LCA se centra en recuperar el rango de movimiento de la rodilla, el fortalecimiento y equilibrio muscular, y la propiocepción de

la rodilla (Piedade et al., 2022). Sin embargo, hay una falta de consenso sobre el programa preoperatorio óptimo en cuanto a contenido, frecuencia y duración (Piedade et al., 2022). Existe evidencia de que la rehabilitación preoperatoria mejora la función física y autoinformada 3 meses posteriores a la RLCA, sin efecto sobre los resultados del regreso al deporte y evidencia inconsistente sobre el efecto en la fuerza del cuádriceps (Culvenor et al., 2022). Por lo tanto, aunque se recomienda la rehabilitación preoperatoria de pacientes con insuficiencia del LCA como una herramienta valiosa para los resultados posoperatorios, se debe realizar más investigación (Culvenor et al., 2022; Piedade et al., 2022).

La rehabilitación posoperatoria del LCA tiene como objetivo minimizar el dolor, la hinchazón y la inflamación de la rodilla después de un traumatismo quirúrgico, restablecer el rango completo de movimiento de la rodilla y el control neuromuscular, mejorar la recuperación y volver al nivel de actividad física o deportiva anterior a la lesión (Piedade et al., 2022). Aunque se han propuesto programas generales de rehabilitación postoperatoria (Andrade et al., 2020; Cavanaugh and Powers, 2017; Filbay and Grindem, 2019; Logerstedt et al., 2017; Piedade et al., 2022; Riesterer et al., 2020), estos deben ser adaptados a cada paciente. Algunos factores que pueden llevar a adaptar el programa de rehabilitación son la elección del injerto y la presencia de lesiones concomitantes en el momento de la reconstrucción (Rambaud et al., 2022).

Respecto al tipo de injerto, la rehabilitación difiere, principalmente, en el postoperatorio temprano (Filbay and Grindem, 2019; Rambaud et al., 2022). La RLCA con un autoinjerto de tendón rotuliano se asocia con dolor en el sitio donante y debilidad del cuádriceps. Por lo tanto, el dolor en el sitio donante cuando el paciente realiza ejercicios de fortalecimiento del cuádriceps requiere especial atención (Filbay and Grindem, 2019). El fortalecimiento de los músculos isquiotibiales se puede realizar de inmediato con

ejercicios de cadena cinética abierta, dependiendo de la recuperación del rango de movimiento de la rodilla operada. Restaurar la extensión completa de la rodilla es esencial (con cualquier tipo de injerto) para reducir el dolor anterior de la rodilla (Rambaud et al., 2022). Después de una reconstrucción de LCA con injerto de isquiotibiales, las propiedades mecánicas de los neotendones pueden eventualmente recuperarse con el tiempo (Filbay and Grindem, 2019). Los muñones musculares restantes tras la tenotomía isquiotibial pueden dar lugar a un fenómeno de "cola de lagarto" (Rambaud et al., 2022). Para permitir la curación, los ejercicios de fortalecimiento de isquiotibiales generalmente se retrasan durante el período postoperatorio, pero no hay consenso sobre el marco de tiempo óptimo para el inicio de los ejercicios de isquiotibiales de alta resistencia. La fuerza muscular máxima de los isquiotibiales también puede recuperarse por completo, pero se informa una debilidad notable en la fuerza de flexión de la rodilla en ángulos de flexión de rodilla aumentados (Filbay and Grindem, 2019). Los otros músculos isquiotibiales, a través de la hipertrofia, tendrían que compensar la pérdida de fuerza debido a la ausencia del tendón distal. Optimizar la recuperación de la fuerza de los isquiotibiales es un objetivo importante, ya que, este grupo muscular juega un papel esencial protegiendo el neoligamento (Buckthorpe et al., 2021; Rambaud et al., 2022).

Respecto a las lesiones concomitantes (menisco o cartílago) su protocolo de rehabilitación tendrá prioridad inicialmente sobre el protocolo de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (Rambaud et al., 2022). Las lesiones de menisco pueden tratarse quirúrgicamente con una pequeña resección o con reparación. Estos métodos quirúrgicos requieren adaptaciones muy diferentes al programa de rehabilitación (Filbay and Grindem, 2019). En la mayoría de los casos, la adición de patología meniscal no tiene implicaciones directas para la rehabilitación, y se pueden seguir los principios generales de la rehabilitación en RLCA, pero es posible que cada protocolo deba individualizarse

según la naturaleza de la meniscectomía. Si se ha extirpado un pequeño porcentaje de un menisco y hay un borde intacto y estable, la carga del compartimento se verá moderadamente afectada y se puede seguir la rehabilitación habitual. En casos con meniscectomía más significativa, particularmente aquellos con resección más cercana al borde, y más aún con meniscectomía lateral, el aumento de la carga puede manifestarse como dolor e inflamación, con un mayor riesgo de desgaste condral. Es necesario asegurarse de que el dolor y la hinchazón se hayan resuelto por completo antes de comenzar actividades que requieran niveles más altos de carga. En los casos que involucran reparación de menisco, hay que evitar cualquier flexión pasiva forzada durante un mínimo de 3 meses, particularmente con carga de peso, pero permitiendo que los pacientes progresen con flexión activa según lo toleren. En las reparaciones de grandes desgarros radiales, la fuerza de compresión del soporte de peso puede conducir al fracaso de la reparación y, por lo tanto, el protocolo de rehabilitación de reparación de menisco inicialmente tendrá prioridad sobre el protocolo de RLCA (Filbay and Grindem, 2019; Rambaud et al., 2022). La RLCA asociada con daño del cartílago conduce a peores resultados en comparación con la RLCA aislada. Los procedimientos como la mosaicoplastia y el implante de condrocitos autólogos requieren un retraso en la carga de peso de 45 a 60 días. Dentro de estas restricciones, el rango de movimiento y el fortalecimiento muscular pueden progresar como en la RLCA aislado (Rambaud et al., 2022).

Los consensos clínicos internacionales más recientes (Andrade et al., 2020; Culvenor et al., 2022) coinciden en que el protocolo ideal de rehabilitación posoperatoria incluye movilización precoz, crioterapia y electroestimulación funcional del cuádriceps, además de incorporar ejercicios de cadena cinética tanto cerrada como abierta y control neuromuscular. No se recomiendan las ortesis funcionales ni el movimiento pasivo

continuo, y la rehabilitación se puede realizar bajo la supervisión de un especialista en rehabilitación o, en pacientes seleccionados, en el hogar con un programa de recuperación estructurado y supervisado. Los ejercicios de cadena cinética cerrada y abierta pueden introducirse antes del tercer mes postoperatorio, restringiendo únicamente el ángulo de ejecución del fortalecimiento del cuádriceps en modo cadena cinética abierta entre 45 y 90 grados. Además, actualmente no hay evidencia de superioridad de ejercicios de cadena cinética cerrada sobre abierta en términos de retorno al deporte, laxitud, cuestionarios funcionales o función física informada, independientemente del injerto o técnicas quirúrgicas. Las guías de rehabilitación en la RLCA proponen programas estructurados en fases temporales y con criterios selectivos o hitos para permitir la progresión a etapas avanzadas (Andrade et al., 2020; Cavanaugh and Powers, 2017; Filbay and Grindem, 2019; Logerstedt et al., 2017; Piedade et al., 2022; Riesterer et al., 2020).

Regreso al deporte: Uno de los mayores desafíos es devolver al atleta lesionado a su deporte original con un nivel de capacidad funcional igual o mayor que antes de la lesión de forma segura (Kaplan and Witvrouw, 2019). El regreso o retorno al deporte se define como un continuo que presenta tres elementos, el primero es un retorno a la participación, el segundo un retorno al deporte y el tercero un retorno al rendimiento. El regreso a la participación puede ser un regreso al entrenamiento. Un regreso al deporte es cuando el atleta ha regresado al deporte que había elegido antes de la lesión, pero no se está al nivel deseado, mientras que un regreso al rendimiento significa que el atleta ahora está rindiendo al nivel anterior a la lesión o por encima de él en el deporte elegido (Webster and Feller, 2019). Los tres factores principales para decidir la preparación para participar en el deporte son (1) la preparación física, (2) la preparación psicológica y (3) la curación biológica (Filbay and Grindem, 2019). Para ello se debe utilizar una batería de pruebas que incluya cuestionarios funcionales, cuestionarios de kinesiofobia, pruebas de fuerza y

simetría de las extremidades, pruebas de laxitud ligamentosa por artrometría, diferentes pruebas de salto unipodal, pruebas de agilidad y medición de la calidad del movimiento (Piedade et al., 2022; Webster and Feller, 2019). Sin embargo, la proporción de pacientes que regresan con éxito al nivel deportivo previo a la lesión es baja (Gokeler et al., 2022; Rambaud et al., 2022; Webster and Feller, 2019; Webster and Hewett, 2019). Además, aunque alcanzar los criterios de retorno al deporte reduce el riesgo de ruptura posterior del injerto, también aumenta el riesgo de una ruptura del LCA contralateral (Gokeler et al., 2022; Piedade et al., 2022; Webster and Feller, 2019; Webster and Hewett, 2019). Los pacientes menores de 20 años tienen una tasa de retorno al deporte más alta, pero tienen un mayor riesgo de sufrir una rotura del injerto o del LCA contralateral (Gokeler et al., 2022; Kaplan and Witvrouw, 2019; Webster and Feller, 2019; Webster and Hewett, 2019). El riesgo de volver a lesionarse la rodilla es menor en aquellos que no participan en deportes multidireccionales frecuentes, completan la rehabilitación hasta el punto en que pasan los criterios funcionales de regreso al deporte antes de volver a deportes multidireccionales, y vuelven a deportes multidireccionales después de 9 meses de una RLCA (Filbay and Grindem, 2019). La madurez del injerto posterior a la reconstrucción puede desempeñar un papel en la tasa de fracaso cuando los atletas se reincorporan al deporte demasiado rápido; varias explicaciones modernas incluyen la maduración inadecuada del injerto, la disminución de la preparación y la confianza psicológicas, el control central deficiente, la rehabilitación inadecuada de la coordinación y el estado físico (Kaplan and Witvrouw, 2019; Piedade et al., 2022; Webster and Feller, 2019). El período de remodelación, cuando el injerto está en mayor riesgo, parece corresponder aproximadamente a los 4 a 12 meses, que también corresponde al momento en que muchos atletas regresan al deporte. Particularmente preocupantes son los datos de los autoinjertos de isquiotibiales que sugieren que la remodelación puede demorar entre 12 y

24 meses, que es cuando parece ocurrir el pico de segundas lesiones (Webster and Feller, 2019). La tasa de nuevas lesiones del LCA se reduce significativamente en un 51 % por cada mes que se retrasa el regreso al deporte hasta 9 meses después de la cirugía, después de lo cual no se observa una mayor reducción del riesgo (Kaplan and Witvrouw, 2019; Webster and Hewett, 2019).

Se ha demostrado que tener una respuesta psicológica positiva está fuertemente asociado con el regreso al deporte previo a la lesión. La razón más citada por los atletas para no volver a practicar deporte después de la cirugía de reconstrucción del LCA es el miedo a volver a lesionarse. No está claro exactamente qué constituye el miedo a volver a lesionarse. Puede ser miedo al dolor de la lesión en sí, miedo a las implicaciones laborales y la pérdida de ingresos relacionada, miedo a no poder volver al nivel anterior de función, o cualquier combinación de estos. No confiar en la rodilla y puntuaciones bajas en la función de la rodilla auto informada también se ha citado como razones para no volver a practicar deporte después de la reconstrucción del LCA (Kaplan and Witvrouw, 2019; Webster and Feller, 2019; Webster and Hewett, 2019).

Fuerza muscular de rodilla en pacientes con lesión del LCA

Después de una lesión del LCA hay un déficit en la activación de los cuádriceps bilateralmente y un menor volumen de los músculos de las piernas de los pacientes con deficiencia del LCA en comparación con los controles sanos (Norte et al., 2018; Rodriguez et al., 2021). También la fuerza de los isquiotibiales es menor (Norte et al., 2018; Sherman et al., 2021). Sin embargo, la pérdida de fuerza del cuádriceps es aproximadamente tres veces mayor que la pérdida de fuerza de los isquiotibiales (Kim et al., 2016). Este fenómeno se considera un mecanismo de compensación natural para prevenir la subluxación anterior de la tibia, que puede provocar dolor y movimientos potencialmente perjudiciales de la rodilla lesionada. En este mecanismo de compensación

se produce una facilitación (activación) de los flexores de la rodilla junto con una inhibición del cuádriceps. La facilitación de los isquiotibiales podría contrarrestar las fuerzas de cizallamiento anteriores durante la carga de la rodilla (Sherman et al., 2021). El equilibrio entre los cuádriceps y los músculos isquiotibiales generalmente es evaluado mediante la relación entre los isquiotibiales y el cuádriceps (I/C). La relación I/C es un método común para evaluar la progresión después de una lesión del LCA (Hohmann et al., 2019; Ruas et al., 2019). Se considera un factor determinante de la función de la rodilla a tener en cuenta en el progreso de la rehabilitación y la vuelta a la práctica deportiva tras una lesión del LCA (Hohmann et al., 2019). Se ha sugerido que la relación I/C es más importante que el torque máximo en la evaluación de la función muscular (Fischer et al., 2018; Kaplan and Witvrouw, 2019; Kim et al., 2016). Para la relación I/C en la población sana se acepta, generalmente, 0,6 como valor normativo, con rangos que varían de 0,5 a 0,7 (Hiemstra et al., 2004; Hohmann et al., 2019). La relación I/C está alterada en rodillas con LCA deficiente y LCA reconstruido en comparación con la extremidad contralateral no lesionada y controles sanos (Hohmann et al., 2019; Kim et al., 2016). Los desequilibrios entre las fuerzas del cuádriceps y de los isquiotibiales, pueden aumentar el riesgo de sufrir más lesiones en las extremidades inferiores y artrosis tras una lesión del LCA (Hohmann et al., 2019; Kim et al., 2016).

Después de una reconstrucción del LCA, la debilidad persistente del cuádriceps se ha asociado con biomecánica anormal de la rodilla (Goerger et al., 2015; Markström et al., 2018; Pamukoff et al., 2018), mala función informada por el paciente (Bodkin et al., 2017), disminución del rendimiento funcional (Ithurburn et al., 2019, 2018; Palmieri-Smith and Lepley, 2015; Pamukoff et al., 2018; Pua et al., 2017), con el retorno al deporte (Almeida et al., 2019) y mayor riesgo de una nueva ruptura (Kaplan and Witvrouw, 2019; Webster and Feller, 2019; Webster and Hewett, 2019). La activación voluntaria

disminuida está bien documentada en la literatura tanto para las piernas reconstruidas como para las no reconstruidas (Palmieri-Smith and Thomas, 2009; Rodriguez et al., 2021). Las fuentes propuestas de déficits de activación voluntaria incluyen factores periféricos, como dolor, derrame articular y retroalimentación aferente anormal de los mecanorreceptores (Hart et al., 2010; Konishi et al., 2002; Labanca et al., 2018; Mirkov et al., 2017). La evidencia reciente también apunta a las contribuciones de las alteraciones neurales que ocurren después de la reconstrucción del LCA (Rodriguez et al., 2021). Se han informado alteraciones en el reflejo espinal y la excitabilidad corticoespinal después de una lesión y reconstrucción del LCA, y estas alteraciones se han asociado con debilidad del cuádriceps después de la reconstrucción del LCA. Los cambios en el reflejo espinal y la excitabilidad corticoespinal son paralelos a reducciones bilaterales en la fuerza del cuádriceps y la activación voluntaria del músculo cuádriceps en comparación con la pierna de control sana. Parece haber una reducción significativa en la excitabilidad de las vías corticoespinales (aumento del umbral motor), que es compensada por un aumento de la excitabilidad de las vías del reflejo espinal. El aumento del umbral motor es significativo tanto para las piernas reconstruidas como para las no reconstruidas en comparación con la pierna sana de control. Se observan aumentos significativos en el umbral motor en la pierna reconstruida en relación con la pierna no reconstruida. La fuerza del cuádriceps y la activación voluntaria son predictores significativos de la salud y función de la articulación de la rodilla después de la reconstrucción del LCA (Grooms and Myer, 2017; Rodriguez et al., 2021).

Interrupciones similares del sistema neuromuscular pueden amenazar la capacidad de los isquiotibiales para atenuar y contrarrestar las fuerzas de cizallamiento anterior y rotacional de la tibia durante la carga de la rodilla en las actividades de la vida diaria y el deporte (Buckthorpe et al., 2021; Sherman et al., 2021). La función neuromuscular de los

isquiotibiales es un componente crucial del movimiento funcional (por ejemplo, caminar, saltar, cortar), y los cambios después de una reconstrucción del LCA pueden contribuir a los factores de riesgo de lesiones secundarias y artrosis postraumática. La coactivación de los isquiotibiales se asocia con una disminución de la tensión en el LCA (Sherman et al., 2021). Una consideración importante después de la RLCA es la recuperación de la función de los músculos isquiotibiales, particularmente cuando se utiliza un autoinjerto de isquiotibiales ipsilateral (Buckthorpe et al., 2021).

Los déficits de fuerza extensora y flexora de la rodilla todavía están presentes más de 6 meses después de la RLCA (Huber et al., 2019). Dichos déficits están influenciados por los tipos de injertos y, lo que es más importante, pueden mitigarse mediante programas de rehabilitación específicos. Los hitos clave de la rehabilitación deben incluir puntajes absolutos de fuerza e índice de simetría de las extremidades en comparación con controles sanos o valores previos a la lesión para proporcionar una comprensión más completa de la función de la rodilla y el estado de rehabilitación (Maestroni et al., 2021).

El índice de simetría de las extremidades (ISE) es un método común para evaluar la fuerza (Harput et al., 2018) y el rendimiento funcional después de RLCA (Davies et al., 2020; Queen et al., 2020). En el momento de evaluar el retorno seguro al deporte, los valores inferiores al 90% no deben aceptarse como buenos resultados (Lynch et al., 2015; Tatlıcioğlu et al., 2019; Zwolski et al., 2016), aunque actualmente se sugiere un criterio más restrictivo de >95% (Zwolski et al., 2016) e incluso >100% (Andrade et al., 2020; Webster and Feller, 2019). La asimetría en la fuerza de las extremidades > 15 % después de RLCA es un predictor de nuevas lesiones y disminución de los parámetros de rendimiento deportivo (Almeida et al., 2019). Sin embargo, como señalamos, se han informado déficits bilaterales en la activación del cuádriceps entre personas con RLCA. Por lo tanto, el índice de simetría de las extremidades puede sobrestimar la recuperación

de la fuerza del músculo cuádriceps después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (Wellsandt et al., 2017). La comparación de personas que se han sometido a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior con un grupo control emparejado por edad, sexo y actividad podría ser más apropiada para guiar las intervenciones de rehabilitación (Brown et al., 2021).

Traslación tibial anterior

La lesión del LCA también puede provocar una traslación tibial anterior (TTA) excesiva e inestabilidad de la articulación con la posibilidad de una artrosis temprana (Filbay et al., 2018; Lynch et al., 2015; Ruano et al., 2017; Whittaker et al., 2015). Una diferencia en TTA de >3 mm entre las rodillas lesionadas y no lesionadas se considera patológica. La TTA está influenciada por la actividad muscular de los isquiotibiales y por el tiempo transcurrido desde la lesión (Barcellona et al., 2014; Keizer and Otten, 2019).

La laxitud de la rodilla se refiere a la traslación intraarticular pasiva disponible en la articulación tibio femoral (es decir, evaluada manualmente o mediante un dispositivo), mientras que la inestabilidad funcional se refiere a la percepción del paciente de una rodilla "inestable". La magnitud de la laxitud de la rodilla tiene una relevancia clínica cuestionable dado que no tiene en cuenta el control articular dinámico que proporciona la musculatura circundante (Filbay and Grindem, 2019).

Cuestionarios de valoración basados en el paciente para evaluar la función del LCA

Las medidas de resultado informadas por el paciente (PROM, abreviatura del inglés de *Patient-reported Outcome Measures*) se utilizan para evaluar los cambios en el estado de salud a lo largo del tiempo desde la perspectiva del paciente. Los PROM son componentes clave de las evaluaciones de resultados en la práctica clínica y la investigación (Gagnier

et al., 2018). Hay cuatro tipos básicos de instrumentos de resultados basados en el paciente: genéricos, específicos de la enfermedad, específicos de la región y específicos del paciente (Niki et al., 2013). Existen numerosos instrumentos para evaluar el impacto de la lesión del LCA en la vida diaria. Habitualmente evalúan la función, la participación en actividades deportivas y recreativas y los síntomas. Los PROM comúnmente utilizados en la investigación clínica para pacientes con lesiones del LCA incluyen la puntuación subjetiva del Comité Internacional de Documentación de la Rodilla (IKDC, abreviatura del inglés de *International Knee Documentation Committee*) y la escala de puntuación de la rodilla de Lysholm (en inglés, *Lysholm Knee Score*) (Gagnier et al., 2018).

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar la fuerza muscular de ambas rodillas en pacientes con rotura unilateral del LCA y los valores de los resultados auto informados más usados en estos pacientes. Estudiar las modificaciones en estos parámetros tras tratamiento quirúrgico mediante plastia de sustitución del ligamento.

Objetivos específicos

Estudiar los resultados funcionales de pacientes intervenidos de reconstrucción del ligamento cruzado anterior utilizando técnica “all-inside”

El propósito de este estudio fue evaluar anualmente los cambios en la traslación tibial anterior y los resultados funcionales auto informados durante 5 años en una cohorte de pacientes con deficiencia de LCA que se sometieron a una reconstrucción con técnica “all-inside” empleando autoinjerto de tendón semitendinoso ipsilateral. Nuestra hipótesis fue que una RLCA con técnica “all-inside” lograría niveles normales de TTA y función

auto informada de rodilla y que estos valores se mantendrían durante un período de seguimiento a medio plazo.

Estudiar la correlación entre la fuerza muscular de la rodilla, resultados funcionales auto informados y el tiempo transcurrido tras la lesión en pacientes con insuficiencia del ligamento cruzado anterior

El objetivo de este trabajo fue conocer la relación existente entre la función auto percibida y los parámetros objetivos de fuerza muscular de la rodilla y traslación anterior de la tibia en un grupo de pacientes con rotura unilateral del LCA, comparando los resultados con un grupo control de no lesionados. Se planteó la hipótesis de que la fuerza muscular de la rodilla se correlaciona negativamente con la función percibida y TTA en pacientes con deficiencia del LCA (“non-copers”). La segunda hipótesis fue que la función auto informada de la rodilla no se correlaciona significativamente con la TTA y el tiempo transcurrido después de la lesión.

Estudiar la fuerza muscular de la rodilla y resultados funcionales auto percibidos en pacientes intervenidos mediante reconstrucción del ligamento cruzado anterior usando uno versus dos autoinjertos de tendones de isquiotibiales

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar si, cinco años después de la operación, la fuerza muscular diferencial entre la rodilla reconstruida y la contralateral no lesionada es diferente en pacientes en los que se usó un solo tendón isquiotibial en la reconstrucción, comparando los resultados con pacientes en los que se usaron dos tendones isquiotibiales. Otro objetivo fue valorar si existían diferencias en los resultados de PROM y TTA laterolateral (rodilla lesionada-rodilla sana) entre el grupo operado mediante un solo tendón con respecto al grupo intervenido con dos tendones. La hipótesis inicial fue que no se detectarían diferencias significativas en los resultados, y que el uso de un solo tendón es tan seguro y efectivo como el empleo de dos tendones.

JUSTIFICACIÓN

Las lesiones del LCA imponen una carga personal, social y económica de gran alcance. El fortalecimiento de los músculos de la rodilla es una parte esencial del programa de rehabilitación del tratamiento conservador y quirúrgico. Aunque existen numerosas publicaciones que demuestran las alteraciones musculares en pacientes con insuficiencia del LCA, no está claro el papel que juega la musculatura de la rodilla. Dado que la musculatura flexora y extensora de la rodilla es la principal responsable de la función realizada por ésta, en casos de insuficiencia del LCA se producen modificaciones en la fuerza generada por dicha musculatura, que pueden afectar a la funcionalidad del paciente. Sin embargo, muchos pacientes con rotura completa de LCA no tienen síntomas de inestabilidad (Filbay and Grindem, 2019; Meuffels et al., 2009; Paterno, 2017; Saueressig et al., 2022; Smith et al., 2014; van Yperen et al., 2018; Wellsandt et al., 2018). Poco se sabe sobre la asociación entre las variables objetivas, subjetivas y tiempo transcurrido tras la rotura del LCA en una población de pacientes con deficiencia de LCA que optan por operarse después de fallar el tratamiento conservador (non-copers). El conocimiento de la relación existente entre los parámetros que miden función percibida, TTA, evaluación de la fuerza muscular y el tiempo transcurrido tras la lesión debería proporcionar información para mejorar la recuperación funcional de pacientes que sufren deficiencia del LCA. Los resultados ayudarían a implementar cambios en el programa de rehabilitación para mejorar los resultados de las terapias conservadoras.

Tras la reconstrucción del LCA los déficits de fuerza no sólo se mantienen, sino que se pueden agravar al ser dependientes del sitio donante y por la presencia de la inhibición muscular artrogénica (Hart et al., 2010; Huber et al., 2019; Konishi et al., 2002; Labanca et al., 2018; Maestroni et al., 2021; Mirkov et al., 2017; Rodriguez et al., 2021; Sonnery-

Cottet et al., 2019). Esos déficits musculares pueden tardar meses en recuperarse (Cristiani et al., 2019; Huber et al., 2019; Lee et al., 2015; Svantesson et al., 2020; Wellsandt et al., 2017). Actualmente, las técnicas “all-inside” para RLCA son comúnmente utilizadas, siendo el tipo de fijación la principal diferencia entre ellos (de SA et al., 2018). En 2011, Collette y Cassard describieron una técnica de RLCA híbrida (Collette and Cassard, 2011), utilizando una construcción de tipo suspensión junto con un tornillo de interferencia. Esta construcción utiliza un injerto de hebra cuádruple de un solo tendón isquiotibial (semitendinoso). Está suspendido de una cinta de tereftalato de polietileno, asegurando la cinta con un tornillo de interferencia insertado en la corteza en lugar de en el túnel óseo desde dentro de la rodilla. El sistema se ha comercializado como una construcción de tornillo de bloqueo de cinta (TLS, del inglés “*Tape Locking Screw*”). La técnica TLS tiene varias ventajas potenciales sobre la mayoría de los sistemas de fijación del LCA en tejidos blandos. La fijación se logra con un tornillo de interferencia ubicado entre las cintas dentro del túnel óseo, evitando dañar el injerto; el stock óseo se conserva con túneles ciegos femorales y tibiales más cortos con taladro retrógrado; el injerto se ajusta a presión en los túneles óseos y tiene 360 grados de contacto, lo que permite la cicatrización directa del tendón al hueso a través de toda la circunferencia del injerto. Estudios biomecánicos previos han demostrado los beneficios de TLS (Ayzenberg et al., 2017; Robert et al., 2015; Vertullo et al., 2018).

Los déficits en la función flexora de la rodilla después de una RLCA se asocian con un mayor riesgo de artrosis de rodilla, alteración de la calidad de la marcha y del movimiento de tipo deportivo, y un mayor riesgo de volver a lesionarse al regresar al deporte (Buckthorpe et al., 2021; Sherman et al., 2021). Los músculos isquiotibiales son de vital importancia para la rodilla. Durante movimientos dinámicos enérgicos, la coactivación de los isquiotibiales es importante para proporcionar una estabilización dinámica de la

articulación de la rodilla y para evitar fuerzas de cizallamiento excesivas del LCA (Buckthorpe et al., 2021; Sherman et al., 2021). De particular relevancia después de una RLCA con autoinjerto isquiotibial, son los déficits comúnmente observados en la debilidad de la fuerza de rotación interna de la rodilla, que contribuyen al aumento de la rotación tibial externa y al valgo dinámico de la rodilla que puede aparecer en los pacientes con RLCA (Buckthorpe et al., 2021; Sherman et al., 2021). Un objetivo clave del proceso de recuperación funcional es restaurar este déficit. Después de una RLCA con isquiotibiales puede haber una migración proximal de la unión músculo-tendinosa del semitendinoso (ST). La regeneración del tendón ST puede tardar aproximadamente 18 meses y no ocurrir en absoluto en el 10-50 % de los pacientes (Buckthorpe et al., 2021; Dhillon et al., 2021; Rambaud et al., 2022; Suydam et al., 2017). La falta de recuperación de la fuerza de los músculos isquiotibiales puede comprometer la salud de la rodilla y elevar el riesgo de volver a lesionarse en el regreso a la actividad deportiva (Buckthorpe et al., 2021; Rambaud et al., 2022). Es probable que esto se deba a la incapacidad para comprimir y estabilizar la rodilla y evitar alteraciones en el control de la rodilla en los planos frontal y transversal, que se sabe que sobrecargan el LCA (Buckthorpe et al., 2021; Rambaud et al., 2022; Sherman et al., 2021). La recolección aislada del tendón semitendinoso (ST) para una RLCA “all-inside” puede resultar en menos déficit de fuerza que la recolección de ambos isquiotibiales semitendinoso y gracilis (ST-G) para la técnica del túnel tibial completo (Desai et al., 2019; Lee et al., 2019; Monaco et al., 2019; Sharma et al., 2016). Sin embargo, este asunto todavía crea incertidumbre. Algunos autores señalan que no existen diferencias en la fuerza muscular de la rodilla entre la rodilla reconstruida y la contralateral después de utilizar 1 o 2 autoinjertos de isquiotibiales (Connaughton et al., 2017); otros refieren que existen diferencias significativas, pero no clínicamente relevantes (Sharma et al., 2016) y que las diferencias dependen del ángulo

de rodilla (Lee et al., 2019) o la velocidad angular utilizada durante la prueba (Kouloumentas et al., 2019). Sin embargo, la mayoría de los artículos que comparan el uso de injertos de isquiotibiales ST vs ST-G presentan datos con un seguimiento máximo de 3 años (Fu et al., 2020; Kouloumentas et al., 2019; Lee et al., 2019; Monaco et al., 2019; Sharma et al., 2016).

La adecuada fijación biológica de los tendones en la entrada del túnel es motivo de preocupación durante el proceso de rehabilitación postoperatoria inicial. Independientemente del método de fijación elegido, el proceso de curación del tendón óseo tiende a ser más lento después de una reconstrucción con tendones isquiotibiales (Yamazaki et al., 2006). Con respecto a la laxitud, parece que no hay diferencias entre las técnicas all-inside y las técnicas de túnel tibial completo usando tendones isquiotibiales con datos de seguimiento máximo de 3 años (Connaughton et al., 2017; Kouloumentas et al., 2019; Lee et al., 2019; Orfeuvre et al., 2019; Sharma et al., 2016).

Teniendo en cuenta la función de rodilla auto informada, la mayoría de los estudios reportan que no hay diferencias entre el uso de 1 o 2 tendones isquiotibiales (Desai et al., 2019; Kouloumentas et al., 2019; Lee et al., 2019; Sharma et al., 2016).

Ha habido pocos estudios sobre los resultados clínicos usando sistema TLS en pacientes con reconstrucción del LCA y todos ellos tuvieron un corto período de seguimiento (Cassard et al., 2014; Collette and Cassard, 2011; Orfeuvre et al., 2019, 2018; Poudroux et al., 2020). El TLS es una técnica “all-inside” de reconstrucción del LCA, con resultados prometedores a corto plazo. Sin embargo, no está claro si dichos resultados se mantienen o si se deterioran con el tiempo.

Este trabajo que se presenta como memoria de tesis doctoral es una compilación de tres estudios publicados en revistas internacionales con factor de impacto en JCR, y que responden algunas de las cuestiones planteadas en esta justificación.

METODOLOGÍA

Para la realización de los tres artículos que conforman el cuerpo principal de esta tesis doctoral por compendio de publicaciones los protocolos de estudio fueron aprobados por el Comité Ético de Investigación Humana de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (número de protocolo CEIH-2017-11), y los estudios se realizaron de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki de 1964. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todas las personas para participar en el estudio (pacientes y controles).

Aunque el trabajo comenzó a efectuarse en 2016, se contó con pacientes intervenidos en 2013, los cuales dieron su consentimiento para participar en el estudio. Todos los pacientes fueron intervenidos de insuficiencia unilateral del LCA en el Hospital Perpetuo Socorro de Las Palmas de Gran Canaria por el mismo equipo quirúrgico.

Criterios de inclusión

De los pacientes intervenidos por rotura del LCA en el periodo citado se escogieron para formar parte del estudio aquellos que reunían los siguientes criterios:

- Aceptar forma parte del estudio (consentimiento informado por escrito).
- Presentar síntomas y signos evidentes de insuficiencia del LCA que recomendasen la realización de una intervención estabilizadora de la rodilla.
- Llevar más de 4 semanas tras la rotura del LCA y tener una movilidad completa de la rodilla. Solo se aceptó una limitación de los últimos grados de flexión en pacientes con sospecha de patología meniscal (Quick test y maniobras específicas positivas).
- Rotura de más del 80% del LCA demostrado en la artroscopia.

- Para ser incluido entre los controles no debía haber antecedentes de accidentes o enfermedades que afectasen a los miembros inferiores, ni haber padecido dolores en los mismos durante los 6 meses previos a la exploración.

Criterios de exclusión

Los criterios para ser excluidos entre los pacientes que formaron parte del estudio fueron los siguientes:

- No aceptar formar parte del estudio.
- Mostrar síntomas y signos de insuficiencia de alguno de los ligamentos de la rodilla distintos del LCA.
- Antecedentes de cirugía artroscópica o abierta en la rodilla afecta o en la contralateral.
- Antecedentes de rotura de alguno de los ligamentos en la rodilla afecta o la contralateral.
- Antecedentes de rotura muscular o tendinosa y/o fractura en el fémur o tibia del miembro afecto o el contralateral.
- Hallazgo artroscópico de rotura parcial o total del ligamento cruzado posterior.

El hallazgo artroscópico de lesiones condrales o meniscales no fue criterio de exclusión.

Parámetros de valoración

Los métodos de valoración fueron los mismos en los tres estudios, aunque no todos se llevaron a cabo en dichos estudios. Se exponen a continuación.

Traslación tibial anterior (TTA)

El desplazamiento tibial anterior se midió con un artrómetro KT-1000 (MEDmetric, San Diego, CA). Este dispositivo fue diseñado para medir la traslación anterior de la tibia respecto al fémur. El KT-1000 es el método de medición instrumental de la laxitud más utilizado (Keizer and Otten, 2019). Los resultados obtenidos proporcionan datos objetivos

del estado del LCA. Para realizar la prueba, el paciente se acomoda en posición supina sobre una mesa de examen. Se coloca un soporte (suministrado con el KT1000) debajo de los muslos para que las rodillas permanezcan aproximadamente a 30° de flexión. Los talones se disponen simétricamente en un tope de posicionamiento (también suministrado con el dispositivo) que coloca la tibia en una rotación de 15°. Una vez que se logra la postura correcta, se coloca el aparato de medición en la rodilla del paciente. En la parte superior del dispositivo, dos topes de plástico de forma rectangular sirven como indicadores para colocar el artrómetro en la rodilla. El primero se coloca en la rótula y el segundo en la tuberosidad tibial anterior. Luego, el dispositivo se sujeta a la pierna por medio de dos cinchas de velcro y se determina el punto cero. El desplazamiento se mide calculando el movimiento relativo entre tope de la rótula y el de la tuberosidad tibial anterior con un indicador ubicado en la parte superior del dispositivo (Lam et al., 2009; Robert et al., 2009). La TTA fue evaluada mediante tracción manual máxima antes de la operación y posteriormente durante el tiempo de seguimiento. Todas las mediciones fueron realizadas tres veces en ambas rodillas de cada paciente; primero en la rodilla sana y luego en la rodilla lesionada. Se utilizó el valor promedio de las tres mediciones para el análisis estadístico.

Determinación de la fuerza muscular de la rodilla

La determinación de fuerza se llevó a cabo siguiendo criterios internacionalmente aceptados (Mafurelli et al. 2010) para determinar la fuerza isométrica de flexores y extensores de la rodilla. La fuerza isométrica de los cuádriceps y los isquiotibiales de ambas rodillas se midió con un dinamómetro manual MicroFET3 (Hoggan Health Industries, West Jordan, UT, EE. UU.) (Almeida et al., 2019; Maffiuletti, 2010). La fuerza máxima se expresó en Newton (N). A los participantes se les enseñó a realizar contracciones isométricas de los músculos de la rodilla. Realizaron ejercicios de

calentamiento durante 5 min y 2 ensayos de práctica de las pruebas, descansaron durante 30 s y posteriormente se realizaron 3 mediciones. La fuerza de extensión se midió de acuerdo con el protocolo descrito en estudios previos (Almeida et al., 2019; Maffiuletti, 2010). El dinamómetro manual se colocó en la cara anterior de la tibia, 2 cm proximal al maléolo lateral. La fuerza isométrica del cuádriceps se realizó en sedestación, con las caderas y las rodillas en 90 y 60 de flexión respectivamente. La fuerza isométrica de los isquiotibiales se midió con el participante colocado en posición prona con los brazos cruzados debajo de la frente en una camilla con las rodillas a 30° de flexión y las caderas en 0° de flexión. El dinamómetro manual se colocó en el calcáneo, al nivel de la inserción del tendón de Aquiles. En todas las pruebas de fuerza, el dinamómetro se aseguró a la pierna con una correa inamovible. Las mediciones se realizaron tres veces para cada miembro y el promedio se utilizó para el análisis estadístico. Si la diferencia entre uno de los tres datos intra-test y los demás era >10%, se retomaba la medición. Durante las pruebas, se alentó a los participantes a contraer al máximo el músculo.

Valoración subjetiva por parte del paciente. Cuestionario IKDC

La forma subjetiva del IKDC se utiliza para medir los síntomas, la función y la actividad deportiva. Este formulario contiene 18 elementos seleccionados diseñados para medir los síntomas que permiten a los clínicos evaluar el dolor, la rigidez, la hinchazón, el bloqueo articular y la inestabilidad articular, mientras que otros elementos diseñados para medir la función de la rodilla evalúan la capacidad para realizar actividades asociadas con la vida diaria (Comins et al., 2018; Harput et al., 2018). La forma subjetiva del IKDC se puntúa de 0 a 100; las puntuaciones más altas representan una mejor función de la rodilla y menos síntomas, y ha demostrado ser una medida específica de la rodilla confiable, válida y receptiva para la población con lesión del LCA. También se ha demostrado que refleja la satisfacción del paciente (Grindem et al., 2011; Khair et al., 2018). En 2006 se

publicaron valores normativos de este cuestionario estratificado por grupo de edad y género (Anderson et al., 2006).

Valoración subjetiva por parte del paciente. Lysholm Knee Score

La puntuación de Lysholm se utiliza para evaluar la función de la rodilla de los pacientes después de una lesión del ligamento de la rodilla. Está compuesto por un cuestionario de ocho ítems con una puntuación máxima de 100 puntos, indicando ausencia de síntomas (Comins et al., 2018). La puntuación de Lysholm se describió por primera vez en 1982 como una medida de las lesiones de los ligamentos de la rodilla, con énfasis en la inestabilidad clínica (Gagnier et al., 2018). Consta de ocho subescalas: dolor, inestabilidad, bloqueo, hinchazón, cojera, capacidad de subir escaleras, ser capaz de ponerse en cuclillas y la necesidad de ayudas para la marcha. Un puntaje de >90 se considera excelente, 84 a 90 es bueno, 65 a 83 es regular y <65 es pobre (Briggs et al., 2009; Wright, 2009). En 2009 se publicaron valores normativos para individuos sanos de la escala de Lysholm (Briggs et al., 2009).

Estadística

Para el estudio estadístico de las pruebas objetivas se han comparado las diferencias de los resultados obtenidos entre los miembros inferiores de cada paciente y su evolución en el tiempo. Los resultados de los cuestionarios auto informados por los pacientes fueron valorados por diferencias entre el pre y el postoperatorio. Los diversos parámetros se han correlacionado aplicando las pruebas adecuadas siguiendo el consejo de un experto en estadística médica.

Estudios realizados

Estudio de los resultados funcionales de pacientes intervenidos de reconstrucción del ligamento cruzado anterior utilizando técnica “all-inside”

Este trabajo es un estudio de cohorte observacional retrospectivo, que involucró a 22 pacientes que se habían sometido a RLCA con técnica TLS. El tiempo de seguimiento fue de 1 a 5 años. Al inicio del estudio se contó con veintiséis pacientes varones con rotura sintomática del LCA unilateral que se sometieron a RLCA con técnica TLS en 2013 bajo el cuidado del mismo equipo quirúrgico. La mediana de edad fue de 30 años (rango: 15-46).

Los métodos de valoración incluyeron la medición de la diferencia de TTA entre lado lesionado y no lesionado, y los resultados auto informados mediante los cuestionarios IKDC y Lisholm Knee Score. Los pacientes fueron evaluados antes de la operación y a los 6 meses, y 1, 2, 3 y 5 años después de la operación. Dos pacientes se perdieron durante el seguimiento debido a traslado a otro país, uno experimentó el aflojamiento de uno de los tornillos de interferencia y otro experimentó una rotura del injerto del LCA. Veinticuatro pacientes completaron el seguimiento de 3 años y 22 pacientes completaron el seguimiento de 5 años.

Los pacientes fueron operados mediante artroscopia con el uso de un torniquete. Una vez confirmada la rotura del LCA, se extrajo el tendón semitendinoso a través de una pequeña incisión antero medial en tibia proximal. El tendón se preparó para la técnica quirúrgica TLS, siguiendo la técnica de injerto semitendinoso de cuatro hebras, descrita por Colette y Cassard (Collette and Cassard, 2011). Se perforaron túneles óseos en los puntos de referencia anatómicos del fémur y la tibia del LCA. La longitud del injerto era de 50 a 55 mm y el diámetro del injerto de 9 a 10 mm. El injerto se tensó dentro de la articulación

con la herramienta “lata de sardinas”, creada por los diseñadores del TLS (Orfeuvre et al., 2019). El protocolo de rehabilitación postoperatoria fue el mismo para todos los pacientes e implicó evitar la contracción del cuádriceps contra la gravedad durante las primeras 6 semanas posteriores a la cirugía.

Para la valoración estadística de la TTA se utilizó el valor medio derivado de tres mediciones. Las diferencias interobservador e intraobservador fueron $< 10\%$. Los datos cuantitativos se expresan como medianas (percentiles del 25 % al 75 %). La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para probar la normalidad de la distribución de datos. Se usó la prueba de Wilcoxon para comparar muestras pareadas y la prueba de Friedman para comparar variables numéricas en diferentes momentos. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0,05$. Para todos los análisis se utilizó el programa estadístico R Core Team 2019, versión 3.6.2, (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria).

Estudio de la correlación entre la fuerza muscular de la rodilla, resultados funcionales y el tiempo posterior a la lesión en pacientes con insuficiencia del ligamento cruzado anterior

Este trabajo es un estudio observacional transversal. Se reclutó a 194 pacientes que presentaban inestabilidad de rodilla después de una ruptura unilateral del LCA y 53 controles sin lesiones. Los controles se seleccionaron de una población sin lesiones en las piernas, cuya edad y sexo eran similares a los de los pacientes; fueron reclutados entre los usuarios de un centro deportivo ubicado cerca del hospital. Los pacientes fueron seleccionados de una población de pacientes programados para RLCA entre enero de 2016 y diciembre de 2018. Los pacientes respondieron a los cuestionarios subjetivos y se sometieron a pruebas objetivas dentro de las 24 horas previas a la reconstrucción artroscópica del ligamento cruzado anterior. Se realizaron las mismas pruebas objetivas

a los controles. Estas pruebas fueron la determinación de la TTA y de la fuerza flexora y extensora de ambas rodillas en pacientes y controles. Las pruebas subjetivas fueron el cuestionario IKDC y el Lisholm Knee Score.

En el estudio estadístico, la normalidad de la edad en casos y controles se probó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los resultados se resumen como media y desviación estándar. Las medias se compararon mediante la prueba t de Student. El género se resume como frecuencias y porcentajes y se compara mediante la prueba de chi-cuadrado (χ^2). Para el análisis intrasujeto (comparación de rodillas), los resultados se expresaron como medianas y rangos intercuartílicos (percentil 25-75) y se compararon mediante la prueba de Wilcoxon para muestras dependientes. Para el análisis entre grupos, los marcadores se resumieron como medias (Intervalo de Confianza del 95 %) ajustadas por edad y género utilizando mínimos cuadrados. Las concordancias entre los marcadores continuos se determinaron mediante el coeficiente de correlación intraclase, que se estimó en base a intervalos de confianza (IC) del 95 %. Todas las correlaciones lineales se evaluaron mediante el coeficiente de correlación de Spearman (R). Se realizó un análisis de potencia para las correlaciones de Spearman. Las potencias se estimaron para el valor observado de la correlación y el tamaño de la muestra. Los valores de los marcadores y escalas obtenidos a lo largo del periodo de seguimiento fueron ajustados por LOESS (Regresión Local). Para los contrastes de regresión, los valores de p se obtuvieron mediante la prueba de razón de verosimilitud. Cuando fue apropiado, se representó un resultado de análisis de potencia usando el bootstrap. La significación estadística se fijó en $p < 0,05$. Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico R, versión 3.6.1 (R Development Core Team, 2019. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria).

Estudio de la fuerza muscular de la rodilla y resultados funcionales en pacientes intervenidos mediante reconstrucción del ligamento cruzado anterior: diferencias observadas cuando se usa uno versus dos autoinjertos de isquiotibiales

Este trabajo es un estudio retrospectivo observacional de dos cohortes de 26 pacientes masculinos que se sometieron a RLCA unilateral 5 años antes y otra cohorte de pacientes de control masculinos sin lesiones. Cincuenta y dos pacientes masculinos con deficiencia sintomática del LCA unilateral que se sometieron a RLCA en 2013 participaron en el estudio. Para ser incluido en el estudio, los pacientes debían participar en actividades deportivas recreativas 5 años después de la operación.

Veintiséis pacientes se sometieron a RLCA con una reconstrucción artroscópica “all-inside” con autoinjerto de tendón semitendinoso de cuatro hebras (grupo ST). Los 26 pacientes restantes se sometieron a RLCA artroscópica con injerto combinado de tendón semitendinoso y gracilis doble a través de un túnel tibial completo (grupo ST-G). El tercer grupo de 22 controles masculinos ilesos se reclutó de un centro deportivo cerca del hospital cinco años después de comenzar el estudio. Los criterios de inclusión en este grupo control fueron la ausencia de lesión previa en uno o ambos miembros inferiores y la participación en actividades deportivas a nivel no profesional. Los controles se emparejaron con pacientes por edad y tipo de actividad deportiva en la revisión de seguimiento, 5 años después de la operación.

Las intervenciones quirúrgicas fueron realizadas artroscópicamente por el mismo equipo quirúrgico. Una vez confirmada la rotura del LCA, se realizó una incisión longitudinal anteromedial en tibia proximal para obtener el injerto de los tendones isquiotibiales. Los pacientes del grupo ST fueron intervenidos con técnica all-inside. El tendón del semitendinoso se obtuvo y preparó para la técnica quirúrgica con tornillo de bloqueo de cinta (TLS) (Laboratoire FH, Mulhouse, Francia), siguiendo la técnica de injerto

semitendinoso de cuatro hilos descrita por Colette y Cassard (Collette and Cassard, 2011).

La longitud del injerto fue de 50-55 mm y el diámetro del injerto fue de 9-10 mm.

En los pacientes del grupo ST-G, se obtuvieron y prepararon los tendones semitendinoso y gracillis para crear un injerto semitendinoso y gracilis combinado doble. A través de RLCA artroscópica estándar, la fijación cortical femoral se logró utilizando XO Button (ConMed Linvatec, Largo, FL, EE. UU.). La fijación tibial se realizó con un tornillo de interferencia bioabsorbible (Matryx, ConMed Linvatec, Largo, FL, EE. UU.) junto con una grapa cortical adicional sobre la parte del injerto fuera del túnel.

El protocolo de rehabilitación postoperatoria fue muy similar para los pacientes de ambos grupos, evitando la contracción del cuádriceps contra la gravedad durante las primeras 6 semanas tras la operación. Se permitió correr 3-4 meses después de la operación y regresar a las actividades deportivas 8-10 meses después de la reconstrucción.

Los pacientes fueron evaluados dentro de las 48 horas previas a la reconstrucción quirúrgica y 5 años después de la operación. Los sujetos control fueron evaluados una sola vez, coincidiendo con el 5º año postoperatorio de los pacientes. Las medidas de resultado informadas por el paciente (PROM) se evaluaron con la puntuación subjetiva IKDC y la escala de puntuación de la rodilla de Lysholm. El TTA se evaluó con el artrómetro KT-1000 (MEDmetric, San Diego, CA). La fuerza muscular de la rodilla se midió solo 5 años después de la operación. La fuerza isométrica de los cuádriceps y los isquiotibiales de ambas rodillas se midió con el dinamómetro manual MicroFET3 (Hoggan Health Industries, West Jordan, UT, EE. UU.). (Almeida et al., 2019; Maffiuletti, 2010). Todas las pruebas fueron realizadas por los mismos dos investigadores tres veces en ambas rodillas de los pacientes y los controles, primero en la rodilla no lesionada y luego en la rodilla lesionada. El valor medio de las tres mediciones

se utilizó para el análisis estadístico. Las diferencias inter e intra observador fueron $< 10\%$.

Los valores de fuerza utilizados para la evaluación estadística fueron los siguientes: ISE del cuádriceps = $[(\text{pico isométrico del cuádriceps lesionado}/\text{pico isométrico del cuádriceps no lesionado}) \times 100]$; ISE de isquiotibiales = $[(\text{pico isométrico de isquiotibiales lesionados}/\text{pico de isquiotibiales no lesionados}) \times 100]$; Relación I/C del lado lesionado = $(\text{pico isométrico del isquiotibial lesionado}/\text{pico isométrico del cuádriceps lesionado})$, y relación I/C del lado no lesionado = $(\text{pico isométrico del isquiotibial no lesionado}/\text{pico isométrico del cuádriceps no lesionado})$. Para los controles, la pierna no dominante se usó como la pierna lesionada y la pierna dominante se usó como la pierna no lesionada.

Para las variables cuantitativas se calcularon las medias, las desviaciones estándar, las medianas y los percentiles 25 y 75. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de los datos. Se utilizó regresión lineal para datos apareados para predecir variables numéricas en función del tiempo y de la técnica utilizada. Se utilizó el ANOVA para comparar las medias de los tres grupos. Tanto para la regresión como para el ANOVA, se realizaron comparaciones post hoc con la prueba de Tukey. Se consideró significativo un valor de $p < 0,05$. El programa estadístico utilizado fue R versión 4.0.2 (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria).

ARTÍCULOS PUBLICADOS

Los trabajos realizados se han publicado en 3 revistas internacionales indexadas en diferentes categorías. Dos de estos trabajos fueron publicados en revistas cuyo índice de

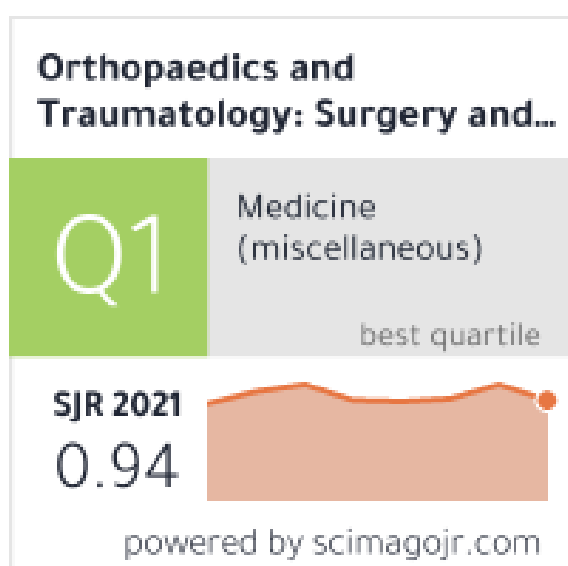
impacto JCR la sitúa dentro de la primera mitad, por cuartiles, entre las revistas de su área (Q1-Q2).

1. Manchado-Herrera, I., Motta, L.M., Blanco, G., González, J., Garcés, G.L., 2021. Anterior tibial translation and patient-reported outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction with a tape locking screw: A 5-year follow-up study. *Orthop Traumatol Surg Res* 107, 102790. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102790>

Datos de la revista: **Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research (OTSR)**. Publica trabajos científicos originales en inglés relacionados con todos los dominios de la ortopedia. Los artículos originales, las revisiones, las notas técnicas y el seguimiento conciso de un estudio anterior de OTSR se publican en inglés solo en formato electrónico y se indexan en las principales bases de datos internacionales.

Journal Citation Report 2021, Factor de impacto: 2.425. Revista Q3 (ORTHOPEDICS 48/86; SURGERY 109/203).

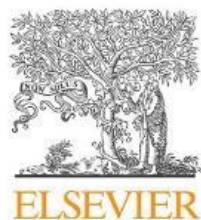
Scimago Journal Rank. SJR 2021 = 0.94. Q1 (MEDICINE; ORTHOPEDICS AND SPORTS MEDICINE; SURGERY)



Indexada en:

- WEB OF SCIENCE

- SCIENCE CITACION INDEX EXPANDED
- PUBMED
- MEDLINE
- CROSSREF
- SCOPUS
- EMBASE



Original article

Anterior tibial translation and patient-reported outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction with a tape locking screw: A 5-year follow-up study



Ignacio Manchado-Herrera^{a,b}, Luci M. Motta^{a,b}, Gustavo Blanco^a, Jesús González^c, Gerardo L. Garcés^{a,b,*}

^a Hospital Perpetuo Socorro, Las Palmas, Spain

^b University of Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas, Spain

^c Statistical Research Unit, Hospital Dr Negrin, Las Palmas, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 February 2020

Accepted 1st June 2020

Keywords:

Anterior cruciate ligament reconstruction

Taping locking screw

Patient-reported outcome measures

Lysholm score

ABSTRACT

Background: The Tape Locking Screw system (TLS) is a recognised technique used in anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). However, only a few previous studies have reported associated outcomes, all of which had been examined over a short-term period. The aim of this study was to assess the time-dependent changes in the objective and patient-reported outcome measures (PROM) in a group of patients with anterior cruciate ligament deficiency who have been operated on with this technique.

Hypothesis: Previously reported satisfactory short-term outcomes following TLS persist for several years after the operation.

Patients and methods: This study was a retrospective observational study including 26 patients, who were followed after unilateral ACLR with TLS. Anterior tibial translation (ATT) was measured in both knees using the KT-1000 arthrometer and two PROMs: International Knee Documentation Committee (IKDC) and Lysholm subjective form scores were examined preoperatively, 6 months postoperatively, and annually for 5 years thereafter in all patients.

Results: One patient suffered a rupture of the graft, and one patient had a screw loosening. Two patients were lost for follow-up, so 22 patients were the final study group. Median (25–75%) ATT side-to-side differences between the injured and uninjured sides were 4 (3.5–4) mm preoperatively, 0.75 (0–1) mm 1 year postoperatively, and 0.75 (0–1) mm 5 years after the operation ($P < 0.001$). Median (25–75%) IKDC scores were 44.25 (35.6–55.15), 92.55 (87.08–96.6), and 95.4 (90.8–97.7) points preoperatively and 1 year ($P < 0.001$) and 5 years postoperatively, respectively. Median (25–75%) Lysholm scores were 52 (38.75–64.5), 95.5 (94.75–99.25), and 97.5 (95–99) points preoperatively and 1 year ($P < 0.001$) and 5 years postoperatively, respectively.

Discussion: ACLR with TLS might already achieve favourable outcomes 1 year postoperatively, when measured objectively (ATT) and with PROMs. These outcomes persist 5 year postoperatively.

Level of Evidence IV: retrospective cohort study.

© 2020 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

The use of hamstring grafts is a popular approach to anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) [1,2]. However, the bone

tendon healing process tends to be slower after this type of surgery to allow for adequate biological fixation of tendons at the tunnel entrance, which is a cause of concern during the initial postoperative rehabilitation process [3]. Graft integration is conditioned by the contact surface between the tendon graft and bone tunnel [4]. The loss of flexion strength after harvesting two hamstring tendons is a well-documented consequence [5–8]. In 2011, Collette and Cassard [9] described a hybrid ACLR technique, utilizing a suspension-type construct in conjunction with an interference screw. This construct uses a quadruple strand graft, from only one hamstring tendon. It is suspended from a polyethylene terephthalate tape, securing the tape with an interference screw inserted at

Abbreviations: ACLR, anterior cruciate ligament reconstruction; TLS, tape locking screw; ATT, anterior tibial translation; MRI, magnetic resonance imaging; PROM, patient-reported outcome measures; IKDC, International Knee Documentation Committee.

* Corresponding author. Hospital Perpetuo Socorro, c/León y Castillo 407, 35007 Las Palmas, Spain.

E-mail address: ggarcés@imqc.es (G.L. Garcés).

<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102790>

1877-0568/© 2020 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

the cortex rather than into the bone tunnel from within the knee. The construct has been commercialised as a Tape Locking Screw (TLS) construct (TLS, FH Orthopaedics, Heimsbrunn, France).

The TLS technique has several potential advantages over the majority of soft-tissue ACL fixation systems [9–12]. The fixation is reached with an interference screw located between the tape strips within the bone tunnel, avoiding graft damage; bone stock is preserved with shorter femoral and tibial blind tunnels with a retrograde drill; the graft is press-fit into the bone tunnels and has 360 degrees of contact, allowing direct tendon-to-bone healing through the entire circumference of the graft. Previous biomechanical studies have shown the benefits of TLS. For example, the TLS designers have reported on its pull-out strength in a cadaveric femoral head model [13]. More recently, Ayzenberg et al. [12] have reported results from a study on human and porcine bones, showing excellent pull-out strength compared to other soft-tissue ACL fixation methods. However, there have been few studies on the clinical results using TLS in ACL-deficient patients; all of them had a short follow-up period. For example, Collette and Cassard [9] have presented their findings, covering a period of 6–36 months post-operation. Moreover, Cassard et al. [14] have reported a study on 28 children, which had a 2-year follow-up. Finally, Orfeuvre et al. [10] have shown good results in 61 patients during a follow-up of 12 months. Nevertheless, these authors have found no differences in postoperative laxity between patients treated with TLS and patients treated with another non-specified technique using hamstring tendons within 24 months of the operation [11].

Presently, the all-inside techniques for ACLR are commonly used [4,15–19], with the type of fixation being the main difference among them. The TLS is an all-inside technique for ACLR, with promising short-term outcomes. However, it remains unclear whether these outcomes are sustained or whether they deteriorate over time. The purpose of this study was to annually evaluate changes in the ATT and functional outcomes over 5 years in a cohort of ACL-deficient patients who underwent ACLR with TLS. We hypothesised that ACLR with TLS would achieve normal side-to-side ATT levels and self-reported knee function, which would be maintained during a mid-term follow-up period.

2. Patients and methods

This was a retrospective observational cohort study, involving 22 patients who had undergone ACLR with TLS, followed up for 1–5 years.

2.1. Patients

Twenty-six male patients with symptomatic unilateral ACL rupture had undergone ACLR with TLS in 2013 at a single hospital under the care of the same surgical team. The median age was 30 (range: 15–46) years. Patients were eligible for inclusion in the present study if they were aged > 18 years, had symptoms of anterior knee instability with positive Lachman and pivot shift tests, their ACL tear was confirmed by magnetic resonance imaging (MRI), and the side-to-side ATT difference measured by the KT 1000TM (MedMetric, San Diego, Ca) was > 3 mm. Exclusion criteria included history of a previous knee surgery or fracture around the knee. Concurrent meniscus tear or a small chondral lesion was not sufficient for patient exclusion. Patients were assessed preoperatively and 6 months, and 1, 2, 3, and, 5 years postoperatively. Two patients were lost to follow-up due to relocation to another country, one experienced loosening of one of the interference screws, and one experienced a repeat rupture of the ACL graft. Twenty-four patients completed the 3-year follow-up, and 22 patients completed the 5-year follow-up. Informed consent to participate in this study was

obtained from patients during the third year of follow-up. The study protocol was approved by the Human Research Ethics Committee at the University of Las Palmas de Gran Canaria (protocol number CEIH-2017-11), and the study was conducted in accordance with the principles of the 1964 Declaration of Helsinki.

2.2. Surgical methods

Patients were operated on through arthroscopy with the use of a tourniquet. Once the ACL rupture was confirmed, the semitendinosus tendon was harvested through a small anteromedial tibial incision. The tendon was prepared for the TLS surgical technique, following the four-strand semitendinosus graft technique, described by Colette and Cassard [9]. Bone tunnels were drilled at the femur and tibia anatomic landmarks of ACL. The graft length was 50–55 mm, and the graft diameter was 9–10 mm. The graft was tightened within the joint using the “sardine box” tool, created by the designers of the TLS [11]. Postoperative rehabilitation protocol was the same for all patients and involved avoiding quadriceps contraction against gravity during the first 6 weeks after surgery.

2.3. Methods of assessment

ATT was assessed using the KT-1000 arthrometer (MEDmetric, San Diego, CA) through maximal manual traction. Pre- and post-operatively, all tests were performed by the same two researchers three times on both knees of each patient; first on the uninjured knee and then on the injured knee. The mean value derived from three measurements was used in the statistical analysis. Inter- and intra-observer differences were < 10%.

Self-reported knee function was evaluated by two patient-reported outcome measures (PROM): the Lysholm Knee Scoring Scale and International Knee Documentation Committee (IKDC) subjective form.

2.4. Statistical analysis

Quantitative data are expressed as median (25%–75% percentiles). The Shapiro-Wilk test was used to test for normality of data distribution. The Wilcoxon test was used to compare paired samples, and the Friedman test was used to compare numeric variables at different time points. A *P*-value < 0.05 was considered statistically significant. The statistical program R Core Team 2019, version 3.6.2, (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) was used for all analyses.

3. Results

One and 5 patients had a concurrent medial and lateral meniscal rupture, respectively. Partial meniscectomy was carried out in all the cases. Six patients had small cartilage injuries at the time of the operation. They were not treated. Except for some postoperative joint effusions, repeat rupture of one ACL graft, and a single case of screw loosening (Fig. 1), no complications were observed.

Median (25–75% percentile) ATTs on the injured and uninjured sides were 6 (5–7) mm and 2 (20–3) mm preoperatively, respectively (*P* < 0.001), and 3 (2.4–3.6) mm and 2 (2–3) mm 1 year postoperatively, respectively (*P* < 0.001). Two to five years after the operation, the ATT was less than 1 mm greater on the uninjured side than on the reconstructed side (Fig. 2). No increase in median ATT was observed between the first and fifth year postoperatively.

Median IKDC scores were 44.25 (35.6–55.15), 70.7 (66.6–77), and 92.55 (87.08–96.6) points preoperatively and 6 months and 1 year postoperatively, respectively (Table 1). Two, 3, and 5 years postoperatively, IKDC scores were 94.85 (89.95–98.9), 95.4 (89.95–98.9), and 95.4 (90.8–97.7), respectively. Median



Fig. 1. This radiography shows that the distal screw is loose and have migrated proximally.

Lysholm scores were 52 (38.75–64.5), 88 (84.5–90.25), and 95.5 (94.75–99.25) points preoperatively and 6 months and 1 year postoperatively, respectively (Table 1). Two, 3, and 5 years postoperatively, Lysholm scores were 95.5 (94.75–100), 95 (93.5–100), and 97.5 (95–99), respectively. Differences in both scoring systems preoperatively and 6 months postoperatively were not significant. However, differences in both scoring systems of these two periods with each of the other periods were highly significant ($P < 0.001$).

4. Discussion

The main finding from this study is that laxity and knee function after ACLR with the TLS technique achieved normative levels

a year after the operation, and this effect was persistent for 5 years after surgery. Our initial hypothesis was confirmed. The ATT of our patients' reconstructed knees was significantly greater than the ATT of the contralateral knees. However, the side-to-side difference was < 1 mm 1 year postoperatively, remaining stable throughout the follow-up period. Pouderoux et al. [20] have shown that joint laxity and graft compliance increase a few months after ACLR with TLS, becoming stable after 9 months. Nevertheless, ATTs of the injured knees were slightly greater than that of the non-injured knee. Other authors have reported similar findings with the TLS technique, despite a short follow-up period [9–11,14]. The present study is the first to show that side-to-side differences observed a year after the operation persist after 5 years. This finding notwithstanding, it remains unclear whether this state is likely to remain stable long-term, as Salmon et al. [21] have found increased laxity in patients who had undergone ACLR with hamstring autografts after 20 years.

Although there is no consensus, scores between 85 and 90 points are considered satisfactory PROMs [22,23]. Our patients' scores improved significantly from the preoperative period to 1 year postoperatively. In our study, the median age was 30 (range: 24.5–40) years, while the IKDC values increased from 92.55 in the first year to 95.4 in the fifth year. These results are comparable to normative IKDC data in a healthy knee population in the age range: 25–34 years (score of 94 points) [24]. In the present study, Lysholm values increased from 95.5 in the first year to 97.5 in the fifth year. These results are comparable to normative Lysholm Knee scores [25]. Our findings are consistent with previous studies with a 1-year follow-up period; no previous studies have reported long-term outcomes [10,11].

This study has several limitations. First, a small number of patients was included in the present study; although, the results were homogeneous. Four patients were lost for follow-up after 5

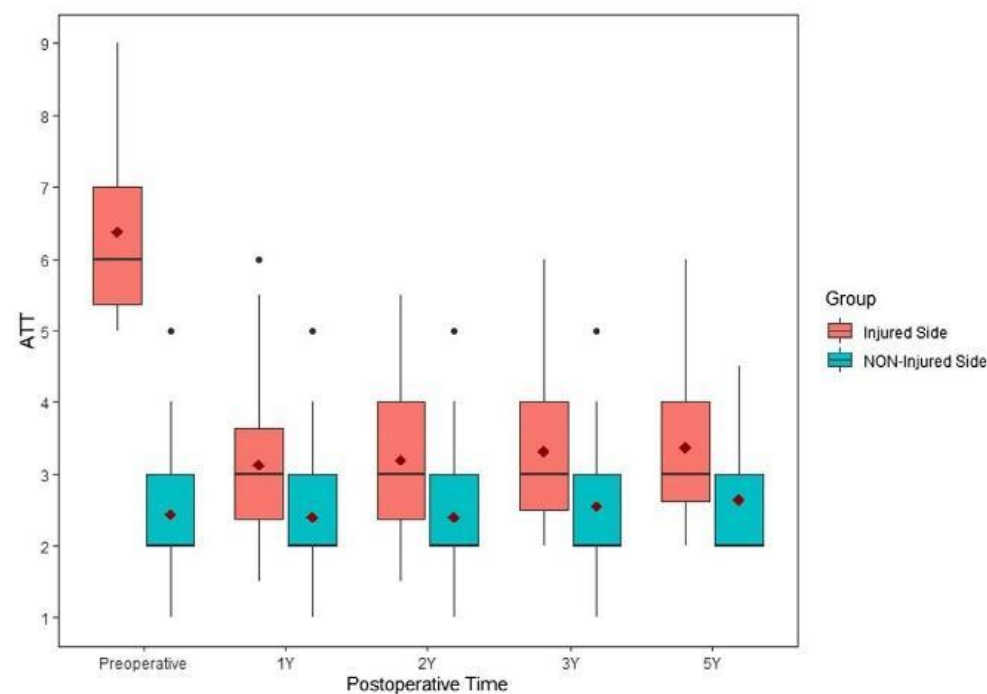


Fig. 2. Time-dependent changes to the anterior tibial translation (ATT [mm]) in injured and non-injured knees. Although differences are significant ($*P < 0.001$ in Wilcoxon signed-rank test), the observed changes are The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: Normative data 1 mm at all times after the operation.

Table 1
Changes over time in International Knee Documentation Committee (IKDC) and Lysholm scores.

	Preop	6 M	1Y	2Y	3Y	5Y	P-value
IKDC	44.25 (35.6–55.15)	70.7 (66.65–77)	92.55 (87.08–96.6)	94.85 (89.95–98.9)	95.4 (89.95–98.9)	95.4 (90.8–97.7)	< 0.001
LYSHOLM	52 (38.75–64.5)	88 (84.5–90.25)	95.5 (94.75–99.25)	95.5 (94.75–100)	95 (93.5–100)	97.5 (95–99)	< 0.001

Preop: preoperative; M: months; Y: year. Data reported as medians (25%–75% percentiles); P-values obtained for the non-parametric Friedman test.

years (15% of the initial sample). Outcomes of 2 patients were fails (one re-rupture and one screw loosening); however, the outcomes of the patients who had moved are unknown. Second, ATT was only measured under maximum manual force, which could influence the results. However, intra- and inter-observer differences were <10%. Moreover, a systematic review performed by Keizer and Otten [26] showed that the force applied does not affect ATT. Finally, due to the small number of cases, we did not distinguish results in cases with and without meniscal rupture. No functional tests were performed.

TLS is an all-inside ACLR technique type. Its theoretical advantages include the use of a single tendon and a graft that is press-fit into the bone tunnels and has a 360-degree point of contact [9–12]. The theoretical limitation includes an arbitrary length of the graft and a possible lack of tension, which depends on the tunnel depth [10,11]. Although tibial fixation is a weakness of the ACLR construct, several previous studies have shown adequate fixation strength with TLS [12,14,27,28]. Our work supports these findings.

5. Conclusions

TLS is a technique used in the surgical treatment of ACL deficiency. A year after ACLR, ATT of the operated limb was comparable to that of the contralateral limb, with no deterioration within 5 years. Similarly, IKDC and Lysholm scores have shown nearly normal values within 1–5 years after the operation, without deteriorating over time. The main advantage of this technique is the use of a single tendon as a graft. The difficulty in removing the screws in cases requiring revision remains a cause for concern. A longer follow-up of patients operated with this technique is required to elucidate associated advantages.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

Funding

This work was supported in part by a research grant from Traumaquir SL, Fundación Parque Científico Tecnológico, and University of Las Palmas de Gran Canaria (C2015/44 Traumaquir).

Contribution

- G. Garcés and I. Manchado wrote the paper.
- G. Garcés and G. Blanco performed the surgeries.
- I. Manchado, G. Blanco, and L. Motta performed the tests and collected the data.
- J. Gonzalez performed the statistical analysis.

Acknowledgements

We thank the Elsevier Language Editing team for their help with the preparation of this manuscript.

References

- [1] Bodkin S, Goetschius J, Hertel J, Hart J. Relationships of muscle function and subjective knee function in patients after ACL reconstruction. *Orthop J Sport Med* 2017;5:1–7.
- [2] Sasahara J, Takao M, Miyamoto W, Oguro K, Matsushita T. Partial harvesting technique in anterior cruciate ligament reconstruction with autologous semitendinosus tendon to prevent a postoperative decrease in deep knee flexion torque. *Knee* 2014;21:936–43.
- [3] Yamazaki S, Yasuda K, Tomita F, Minami A, Tohyama H. The effect of intraosseous graft length on tendon-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction using flexor tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:1086–93.
- [4] de Sa D, Shanmugaraj A, Weidman M, Peterson DC, Simunovic N, Musahl V, et al. All-inside anterior cruciate ligament reconstruction—a systematic review of techniques, outcomes, and complications. *J Knee Surg* 2018;31:895–904.
- [5] Arder CL, Webster KE. Knee flexor strength recovery following hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Orthop Rev (Pavia)* 2009;1:e12.
- [6] Lee DH, Lee JH, Jeong HJ, Lee SJ. Serial changes in knee muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendon autografts. *Arthroscopy* 2015;31:890–5.
- [7] Huber R, Vecelli C, Bizzini M, Friesenbichler R, Dohm-Acker M, Rosenheck T, et al. Knee extensor and flexor strength before and after anterior cruciate ligament reconstruction in a large sample of patients: influence of graft type. *Phys Sportsmed* 2019;47:85–90.
- [8] Biau DJ, Katsahian S, Kartus J, Harilainen A, Feller JA, Sajovic M, et al. Patellar tendon versus hamstring tendon autografts for reconstructing the anterior cruciate ligament: A meta-analysis based on individual patient data. *Am J Sports Med* 2009;37:2470–8.
- [9] Collette M, Cassard X. The Tape Locking Screw technique (TLS): A new ACL reconstruction method using a short hamstring graft. *Orthop Traumatol Surg Res* 2011;97:555–9.
- [10] Orfeuvre B, Pailhe R, Sigwalt L, Rubens Duval B, Lateur G, Plaweski, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with the Tape Locking Screw (TLS) and a short hamstring graft: Clinical evaluation of 61 cases with a minimum 12 months' follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018;104:701–5.
- [11] Orfeuvre B, Pailhé R, Sharma A, Gaillot J, Rubens Duval B, Saragaglia D. Independent clinical appraisal of the Tape Locking Screw (TLS[®]) anterior cruciate ligament reconstruction technique compared with the hamstring graft technique with a minimum of 12-month follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2019;29:1271–6.
- [12] Azyenberg M, Arango D, Gershkovich GE, Samuel PS, Saing M. Pullout strength of a novel hybrid fixation technique (Tape Locking ScrewTM) in soft-tissue ACL reconstruction: a biomechanical study in human and porcine bone. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017;103:591–5.
- [13] Collette M. An innovative method of hamstring graft preparation and a new concept of intratunnel tendon fixation. *Curr Orthop Pract* 2012;23:577–83.
- [14] Cassard X, Cavaignac E, Maubisson L, Bowen M. Anterior cruciate ligament reconstruction in children with a quadrupled semitendinosus graft: preliminary results with minimum 2 years of follow-up. *J Pediatr Orthop* 2014;34:70–7.
- [15] Desai VS, Anderson GR, Wu It, Levy BA, Dahm DL, Camp CL, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft: a matched cohort comparison of the all-inside and complete tibial tunnel techniques. *Orthop J Sports Med* 2019;7 [2325967118820297].
- [16] Haber DB, Brook EM, Whitlock K, Matzkin EG. Predicting quadrupled graft length and diameter using single-strand tendon dimensions in all-inside anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2018;34:243–50.
- [17] Jones PE, Schuett DJ. All-Inside anterior cruciate ligament reconstruction as a salvage for small or attenuated hamstring grafts. *Arthrosc Tech* 2018;7:e453–7.
- [18] Noronha JC, Oliveira JP. Inside-out tibial tunnel drilling technique for all-inside anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc Tech* 2018;7:e373–7.
- [19] Bi M, Zhao C, Zhang S, Yao B, Hong Z, Bi Q. All-Inside single-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament with the anterior half of the peroneus longus tendon compared to the semitendinosus tendon: a two-year follow-up study. *J Knee Surg* 2018;31:1022–30.
- [20] Poudroux T, Muller B, Robert H. Joint laxity and graft compliance increase during the first year following ACL reconstruction with short hamstring tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019, 1–0.
- [21] Salmon LJ, Heath E, Akrawi H, Roe JP, Linklater J, Pinczewski LA. 20-year outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft: the catastrophic effect of age and posterior tibial slope. *Am J Sports Med* 2018;46:531–43.
- [22] Lynch AD, Legerstedt DS, Grindem H, Eitzen I, Hicks GE, Axe MJ, et al. Consensus criteria for defining 'successful outcome' after ACL injury and reconstruction: a Delaware-Oslo ACL cohort investigation. *Br J Sports Med* 2015;49:335–42.
- [23] Curran MT, Lepley LK, Palmieri-Smith RM. continued improvements in quadriceps strength and biomechanical symmetry of the knee after postoperative anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: is it time to reconsider the 6-month return-to-activity criteria? *J Athl Train* 2018;53:535–44.
- [24] Anderson AF, Irrgang JJ, Kocher MS, Mann BJ, Harrast JJ. International Knee Documentation Committee. The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: normative data. *Am J sports Med* 2006;34:128–35.
- [25] Briggs KK, Steadman JR, Hay CJ, Hines SL. Lysholm score and tegner activity level in individuals with normal knees. *Am J Sports Med* 2009;37:898–901.
- [26] Keizer MNJ, Otten E. Passive anterior tibia translation in anterior cruciate ligament-injured, anterior cruciate ligament-reconstructed and healthy knees: a systematic review. *Musculoskelet Surg* 2019;103:121–30.
- [27] Robert H, Bowen M, Odry G, Collette M, Cassard X, Lanternier H, et al. A comparison of four tibial-fixation systems in hamstring-graft anterior ligament reconstruction. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2015;25:339–47.
- [28] Vertullo CJ, Cadman J, Dabirrahmani D, Appleyard R. Can tape-screw fixation of a quadrupled semitendinosus graft in a full-length tibial tunnel provide superior fixation compared with a doubled semitendinosus-gracilis held with an interference screw? A matched-pair cadaveric biomechanical comparison. *J Orthop Traumatol* 2018;19:11.

2. Manchado, I., Alvarez, D., Motta, L.M., Blanco, G., Saavedra, P., Garcés, G.L., 2021. Correlation among Knee Muscle Strength and Self-Reported Outcomes Score, Anterior Tibial Displacement, and Time Post-Injury in Non-Coper Anterior Cruciate Ligament Deficient Patients: A Cross-Sectional Study. *Int J Environ Res Public Health* 18, 13303. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413303>

Datos de la revista: **International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)**. Es una revista científica revisada por pares que publica artículos originales, revisiones críticas, notas de investigación y comunicaciones breves en el área interdisciplinaria de las ciencias de la salud ambiental y la salud pública. Vincula varias disciplinas científicas, incluidas la biología, la bioquímica, la biotecnología, la biología celular y molecular, la química, la informática, la ecología, la ingeniería, la epidemiología, la genética, la inmunología, la microbiología, la oncología, la patología, la farmacología y la toxicología, de manera integrada, para abordar temas críticos relacionados con la calidad ambiental y la salud pública. Por ello, el IJERPH se enfoca en la publicación de información científica y técnica sobre los impactos de los fenómenos naturales y los factores antrópicos en la calidad de nuestro medio ambiente, las interrelaciones entre la salud ambiental y la calidad de vida, así como las condiciones socioculturales, políticas, económicas y consideraciones legales relacionadas con la administración ambiental, la medicina ambiental y la salud pública.

Journal Citation Report 2021, Factor de impacto: 4.614. Revista Q1 (PUBLIC, ENVIRONMENTAL & OCCUPATIONAL HEALTH 45/182).

Scimago Journal Rank. SJR 2021 = 0.81. Q1 (HEALTH, TOXICOLOGY AND MUTAGENESIS); Q2 (POLLUTION); Q2 (PUBLIC HEALTH, ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH).



Indexada en:

- WEB OF SCIENCE
- SCIENCE CITACION INDEX EXPANDED
- SCOPUS
- PUBMED
- MEDLINE
- GLOBALHEALTH
- DOAJ, CROSSREF
- CAB ABSTRACTS
- PUBMEDCENTRAL
- EMBASE



Article

Correlation among Knee Muscle Strength and Self-Reported Outcomes Score, Anterior Tibial Displacement, and Time Post-Injury in Non-Coper Anterior Cruciate Ligament Deficient Patients: A Cross-Sectional Study

Ignacio Manchado ^{1,2} , David Alvarez ³ , Luci M. Motta ^{1,2}, Gustavo Blanco ^{1,2}, Pedro Saavedra ⁴ and Gerardo L. Garcés ^{1,2,*}

¹ Hospital Perpetuo Socorro, 35007 Las Palmas, Spain; nachomanchado@gmail.com (I.M.);

luci.motta@traumaquir.es (L.M.M.); gustblan@gmail.com (G.B.)

² Department of Ciencias Médicas y Quirúrgicas, University of Las Palmas de Gran Canaria, 35016 Las Palmas, Spain

³ Terapias Acuáticas Canarias, 35011 Las Palmas, Spain; davidalvarez@tacs.es

⁴ Mathematics Department, University of Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas, Spain; pedro.saavedra@ulpgc.es

* Correspondence: gerardo.garcés@ulpgc.es; Tel.: +34-696-471-915



Citation: Manchado, I.; Alvarez, D.; Motta, L.M.; Blanco, G.; Saavedra, P.; Garcés, G.L. Correlation among Knee Muscle Strength and Self-Reported Outcomes Score, Anterior Tibial Displacement, and Time Post-Injury in Non-Coper Anterior Cruciate Ligament Deficient Patients: A Cross-Sectional Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 13303. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413303>

Academic Editor: Veronica Cimolin

Received: 23 October 2021

Accepted: 11 December 2021

Published: 17 December 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Little attention has been paid to knee muscle strength after ACL rupture and its effect on prognostic outcomes and treatment decisions. We studied hamstrings (H) and quadriceps (Q) strength correlation with a patient-reported outcome measures score (International Knee Documentation Committee, IKDC), anterior tibial translation (ATT), and time post-injury in 194 anterior cruciate ligament deficient patients (ACLD) who required surgery after a failed rehabilitation program (non-copers). The correlation between knee muscle strength and ATT was also studied in 53 non-injured controls. ACLD patients showed decreased knee muscle strength of both the injured and non-injured limbs. The median (interquartile range) values of the H/Q ratio were 0.61 (0.52–0.81) for patients' injured side and 0.65 (0.57–0.8) for the non-injured side ($p = 0.010$). The median H/Q ratio for the controls was 0.52 (0.45–0.66) on both knees ($p < 0.001$, compared with the non-injured side of patients). The H/Q, ATT, and time post-injury were not significantly correlated with the IKDC score. ATT was significantly correlated with the H/Q of the injured and non-injured knees of patients, but not in the knees of the controls. Quadriceps strength and H/Q ratio were significantly correlated with ATT for both limbs of the patients. IKDC score correlated significantly with the quadriceps and hamstrings strengths of the injured limb but not with the H/Q ratio, ATT or time passed after injury.

Keywords: anterior cruciate ligament; non-copers; hamstring/quadriceps ratio; International Knee Documentation Committee score

1. Introduction

Non-operative treatment of anterior cruciate ligament (ACL) rupture is a better option over surgical reconstruction for many surgeons. Patients who return to their pre-injury activities after ACL rupture, following non-operative treatment without ACL reconstruction, are defined as “copers”, whereas individuals who require surgical intervention to resume their pre-injury activities are defined as “non-copers” [1].

Fitzgerald et al. [2] developed a test battery to identify potential copers after an ACL rupture, concluding that they are patients who demonstrate good self-reported activity performance and knee function. Non-copers are those with instability and/or poor self-reported or performance-based knee function. However, after an adequate neuromuscular and strength-training program, a significant percentage of patients initially classified as non-copers can become copers, avoid anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR), and successfully perform sport activities [3]. These authors observed that persistent non-copers fared poorly after 2 years and advised a more intensive preoperative rehabilitation

program. When treated with physical therapy alone, 70% of the patients classified as non-copers early after injury became true copers after 1 year [3].

Becker and Karlson [4] indicated that more attention should be paid to muscle strength and knee function instead of surgical techniques for ACLR. ACL rupture elicits changes in the extensor and flexor muscles of the knee. There is a deficit in the activation of the quadriceps bilaterally [5] and a smaller volume of the leg muscles of patients with ACL injuries compared with those of healthy controls [6]. The H/Q ratio is the balance between the flexor and extensor muscles of the knee. Therefore, it should be related to the subjective functional capacity of the knee, which is a better outcome measure over an isolated measurement of extensor or flexor strength [7,8]. The H/Q ratio is a determining factor of knee function to be considered in the progress of rehabilitation and return to sports after an ACL injury [9]. It is altered in an ACL-deficient knee compared with that in the uninjured contralateral limb [8,10]. In non-copers, identifying the values of knee muscle strength before the operation could help to address the rehabilitation program to improve conservative treatment outcomes.

ACL injury can elicit excessive ATT and instability of the joint with the possibility of early arthrosis [11–14]. A difference in ATT of >3 mm between the injured and non-injured knees is considered pathological. However, it remains unclear whether ATT affects patient-reported outcome measures (PROMs), and little is known about the association between patient-related outcome scores and time post-injury.

Knee muscle strengthening is an essential part of the rehabilitation program for conservative and operative treatment of ACL rupture. PROM and ATT, among others, are crucial parameters that help to decide on conservative or surgical treatment. Knowing if there is a significant correlation between knee strength and these parameters in a population of ACL deficient patients who chose to be operated on after failing conservative treatment (non-copers) would help implement changes in the rehabilitation program to improve the results of the non-operative treatment. It was hypothesized that knee muscle strength correlates negatively with IKDC scoring and ATT in non-copers ACL deficient patients. The second hypothesis was that IKDC does not significantly correlate with ATT and time passed after injury.

2. Materials and Methods

2.1. Ethics Statements

This study was approved by the Local Human Research Ethics Committee (protocol number CEIH-2017-11) and performed in accordance with the 1964 Helsinki Declaration. Written informed consent was obtained from all participants prior to their participation in the study.

2.2. Design

This cross-sectional observational study recruited 194 patients presenting with knee instability after a unilateral rupture of the ACL and 53 non-injured controls. Patients answered subjective questionnaires and underwent objective tests within 24 h prior to an arthroscopic ACL reconstruction. The same objective tests were performed for the controls.

2.3. Participants

The participants were selected from a population of patients scheduled for ACLR at the same hospital between January 2016 and December 2018. All patients were diagnosed with symptomatic rupture of the ACL with positive Lachman and Pivot shift test results. The preoperative diagnosis was complemented by nuclear magnetic resonance findings for all but four patients. Diagnostic certainty was confirmed through arthroscopy. Controls were selected from a population without leg injury, whose age and sex were similar to that of the patients; they were recruited from users of a fitness center located close to the hospital.

The inclusion criteria for the patients were as follows: patients who consented to study investigations; those who presented with symptoms and signs of instability and

were scheduled for ACLR; those with unilateral ACL rupture >80% (according to the arthroscopic view) caused by a knee injury >4 weeks prior to ACLR; and those whose range of movement of the injured knee was >90% of that of the non-injured knee. The inclusion criteria for the controls were as follows: individuals without injury in both legs, individuals without physical restrictions in activities of daily living, and individuals who agreed to participate in the study.

The exclusion criteria for the patients were as follows: patients with symptoms and/or signs of insufficiency of any of the knee ligaments other than ACL and history of ligament rupture or tendon injury of the injured or uninjured knee and femur or tibial fracture. Patients with a chondral or meniscal lesion were not excluded.

2.4. Measures

Self-reported knee function was evaluated using the International Knee Documentation Committee (IKDC) form. The objective test was performed on both knees of the patients (first on the injured knee, and subsequently on the uninjured knee) and controls by the same researchers.

ATT was assessed using the KT-1000 arthrometer (MEDmetric, San Diego, CA, USA). The isometric strength of the quadriceps and hamstrings of both knees was measured using a hand-held dynamometer [15,16] (HHD) (MicroFET3; Hoggan Health Industries, West Jordan, UT, USA). Maximal force was expressed in Newton (N).

Participants were taught to perform isometric contractions of the knee muscles. They performed warm-up exercises for 5 min and 2 practice trials of the tests, rested for 30 s, and subsequently performed the 3 measurement trials. Extension strength was measured according to the protocol described in previous studies [15,16]. The HHD was positioned 2 cm proximal to the lateral malleolus. Isometric quadriceps strength was tested with the hips and knees in 90° and 60° of flexion, respectively. Hamstring isometric strength was measured with the participant positioned in the prone position with an arm crossed under the forehead on a stretcher with the knees at 3° flexion and hips at 0° flexion. The HHD was placed on the calcaneus, at the level of the Achilles tendon insertion. In all strength tests, the dynamometer was secured to the leg with an immovable strap.

Measurements were performed three times for each limb, and the average was used for statistical analysis. If the difference between one of the three intratest data and the others was >10%, the measurement was retaken. During the tests, participants were encouraged to maximally contract the muscle.

2.5. Statistical Analyses

The normality of age in cases and controls was tested using the Kolmogorov–Smirnov test. The results are summarized as mean and standard deviation (SD) in each group. The means were compared using the Student's *t*-test. Gender is summarized as frequencies and percentages and compared using the chi-square test (χ^2). For within-subject analysis (comparison of knees), results were expressed as medians and interquartile ranges (IQR = 25th–75th percentile) and were compared using the Wilcoxon test for dependent samples. For between-group analysis, markers were summarized as means (95% CI) adjusted for age and gender using least squares. Concordances between continuous markers were determined by the intraclass correlation coefficient (ICC), which was estimated based on 95% confidence intervals (CIs). All linear correlations were evaluated by the Spearman correlation coefficient (R). A power analysis was performed for the Spearman's correlations. The powers were estimated for the observed value of the correlation and the sample size. The values of the markers and scales obtained throughout the follow-up period were adjusted for LOESS (Local Regression). For the regression contrasts, the *p*-values were obtained using the likelihood ratio test. When appropriate, a power analysis result was represented using the bootstrap. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Data were analyzed using the R statistical package, version 3.6.1 (R Development Core Team, 2019. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)

3. Results

Of 194 patients, 77 (39.69%) had no meniscal rupture, 40 (20.61%) had external meniscus rupture, 51 (26.28%) had internal meniscus rupture, and 26 (13.4%) had rupture of both menisci. There were 21 patients (10.82%) who showed a type of minor chondral lesion.

Table 1 summarizes the demographic characteristics of the patients and controls.

Table 1. Demographic data of the patients and controls.

	ACL N = 194	Controls N = 53	<i>p</i>
Age	29.5 ± 9.9	29.9 ± 8.9	0.814
Sex (Male)	155 (79.9%)	46 (86.8%)	0.253
IKDC scoring	53.3 ± 10.7	-	-
Time from injury in months	4 (3–7)	-	-

Data are means ± SD and median (25–75% IQR).

Table 2 shows the comparisons of the quadriceps and hamstrings strengths, H/Q ratio, and ATT between the patients and controls. Both quadriceps and hamstrings strength of patients were significantly greater on the non-injured side than on the injured side ($p < 0.001$); the H/Q ratio was slightly greater on the non-injured side than on the injured side ($p = 0.010$); and ATT was significantly greater on the injured side than on the non-injured side (6 versus 2.5 mm; $p < 0.001$).

Table 2. Muscular strength (Newtons) and anterior translation of the tibia (ATT).

	ACL (N = 194)			Controls (N = 53)			Average of Both Sides	<i>p</i> **
	Injured Side	Non-Injured Side	<i>p</i> *	Non-Dominant Side	Dominant Side	<i>p</i> *		
Q	101.9 (82.4–119)	133.4 (116–154.4)	<0.001	166.4 (145.1–190.5)	177.6 (157.4–196.5)	<0.001	174.8 (152.6–192.6)	<0.001
H	65.5 (52.17–78)	86.6 (73.6–103.9)	<0.001	84.1 (74.9–108.9)	90.2 (77.4–115.3)	<0.001	89.3 (76.5–111.5)	0.487
H/Q ratio	0.61 (0.52–0.81)	0.65 (0.57–0.8)	0.010	0.51 (0.44–0.66)	0.54 (0.46–0.66)	0.292	0.52 (0.45–0.66)	<0.001
ATT (mm)	6 (5.1–7.5)	2.5 (2–3)	<0.001	2 (2–3)	2 (2–3)	0.575	2.25 (2–2.75)	0.454

Data are medians (25–75% IQR). Q: quadriceps. H: hamstrings. ATT: anterior tibial translation. (*) Wilcoxon test for paired data. (**) Unpaired Wilcoxon test for comparing the non-injured side (ACL) with the average of both sides (controls).

Although differences were less evident, both quadriceps and hamstring strength was greater on the dominant side than on the non-dominant side of the controls ($p \leq 0.001$). However, neither the H/Q ratio nor knee displacement showed significant differences between both limbs in the control group. Quadriceps strength of the non-injured side of the patients was significantly less than the average of the quadriceps strength of both limbs in the controls ($p < 0.001$). The H/Q ratio of the non-injured limb was significantly greater than the average of the H/Q ratio of both limbs in the controls ($p < 0.001$). ATT was not significantly different between the non-injured side of patients and the average of both limbs in the controls.

Figure 1 shows the simultaneous scatter plot of the H/Q ratio for the two sides; namely, for the patients (injured versus non-injured side) and for the controls (dominant versus non-dominant side). For the controls, the estimated ICC was 0.932 (95% CI = 0.886–0.969), indicating strong agreement between the values of both sides. However, this agreement was lower between the injured and non-injured sides in the patients (ICC = 0.834; 95% CI = 0.786–0.872).

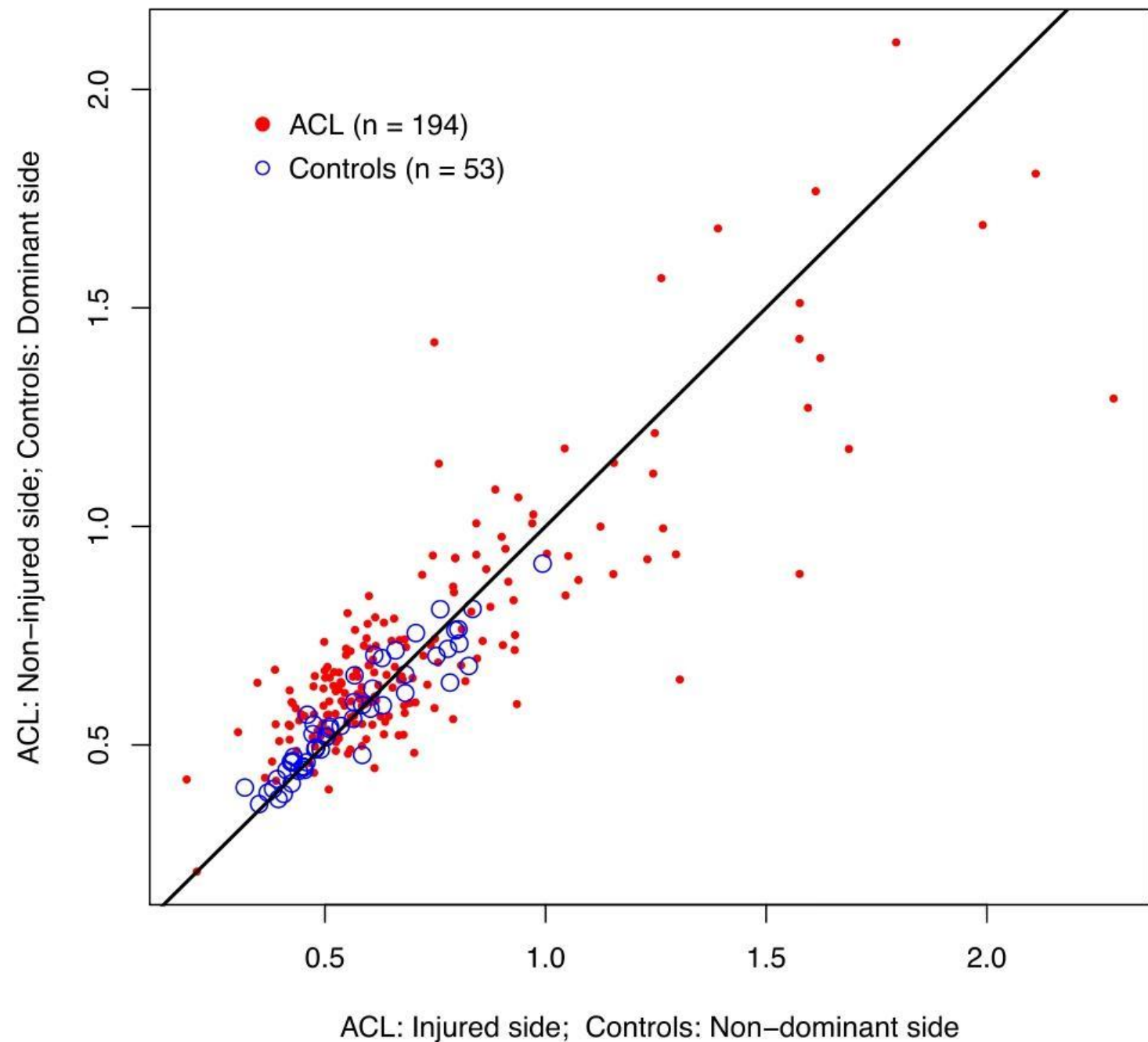


Figure 1. Agreement between the H/Q ratio of the knees. ACL: healthy versus affected (ICC = 0.872; 95%CI = 0.786–0.872). Control subjects: right versus left sides (ICC = 0.932; 95% CI = 0.886–0.960); H/Q, hamstring/quadriceps; ACL, anterior cruciate ligament; ICC, intraclass correlation coefficient; CI, confidence interval.

Quadriceps strength was significantly correlated with ATT for both injured and non-injured limbs of the patients (Spearman $R = 0.214$, $p = 0.003$ versus (vs.) 0.18 , $p = 0.012$; Figure 2).

Hamstrings strength was significantly correlated (negatively) with ATT on the non-injured side (Spearman $R = -0.157$, $p = 0.029$) but not on the injured side (Spearman $R = -0.031$, $p = 0.664$; Figure 2). The H/Q ratio was significantly (negatively) correlated with ATT on the injured and non-injured sides (Spearman $R = -0.153$, $p = 0.034$ vs. -0.291 , $p < 0.001$; Figure 2).

Quadriceps and hamstrings strength of the injured side was significantly correlated with the IKDC score (Spearman $R = 0.201$, $p = 0.005$ vs. 0.181 , $p = 0.011$; Figure 3).

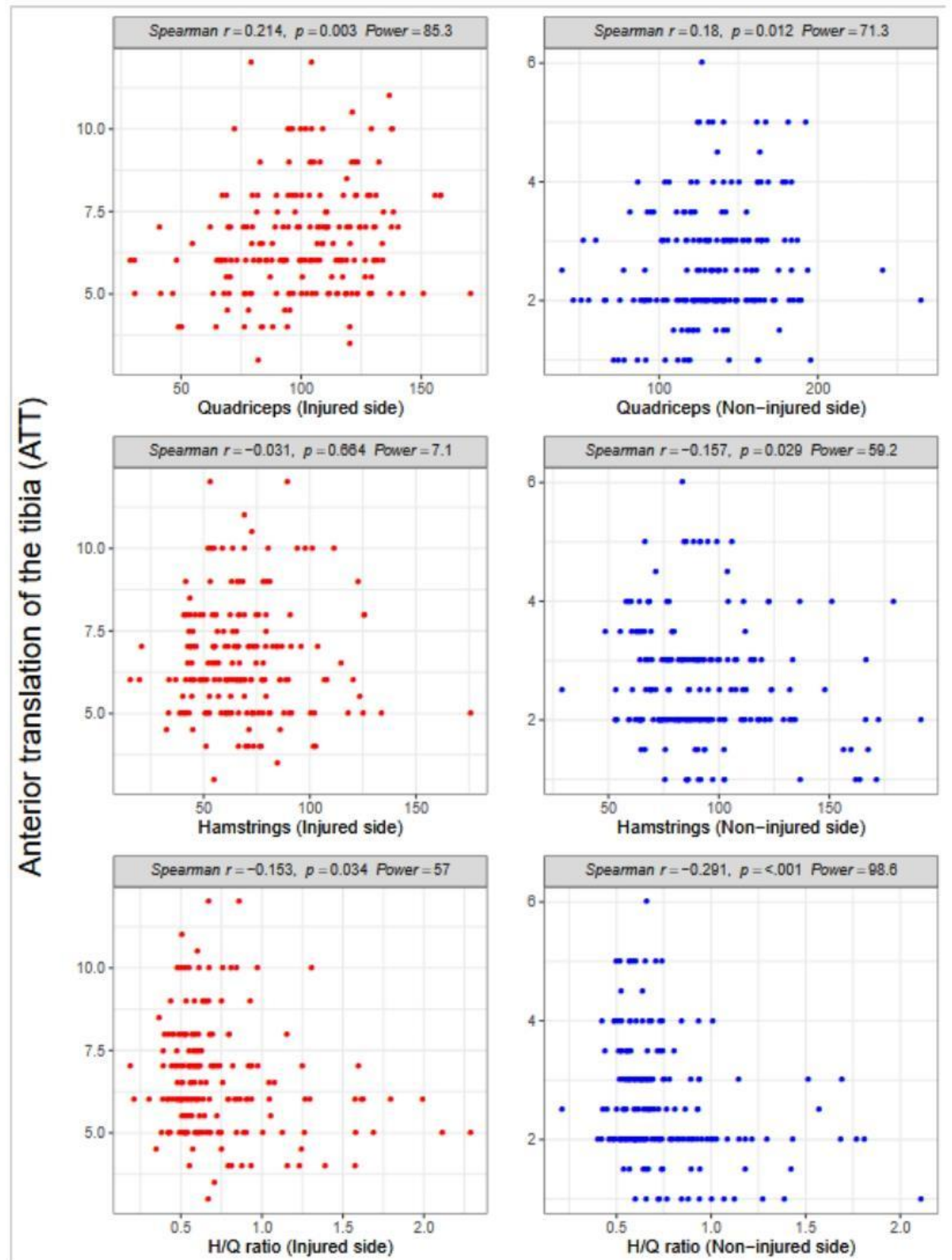


Figure 2. Anterior tibial translation (ATT) according to strength in the quadriceps and hamstrings and side (injured and non-injured); H/Q, hamstring/quadriceps.

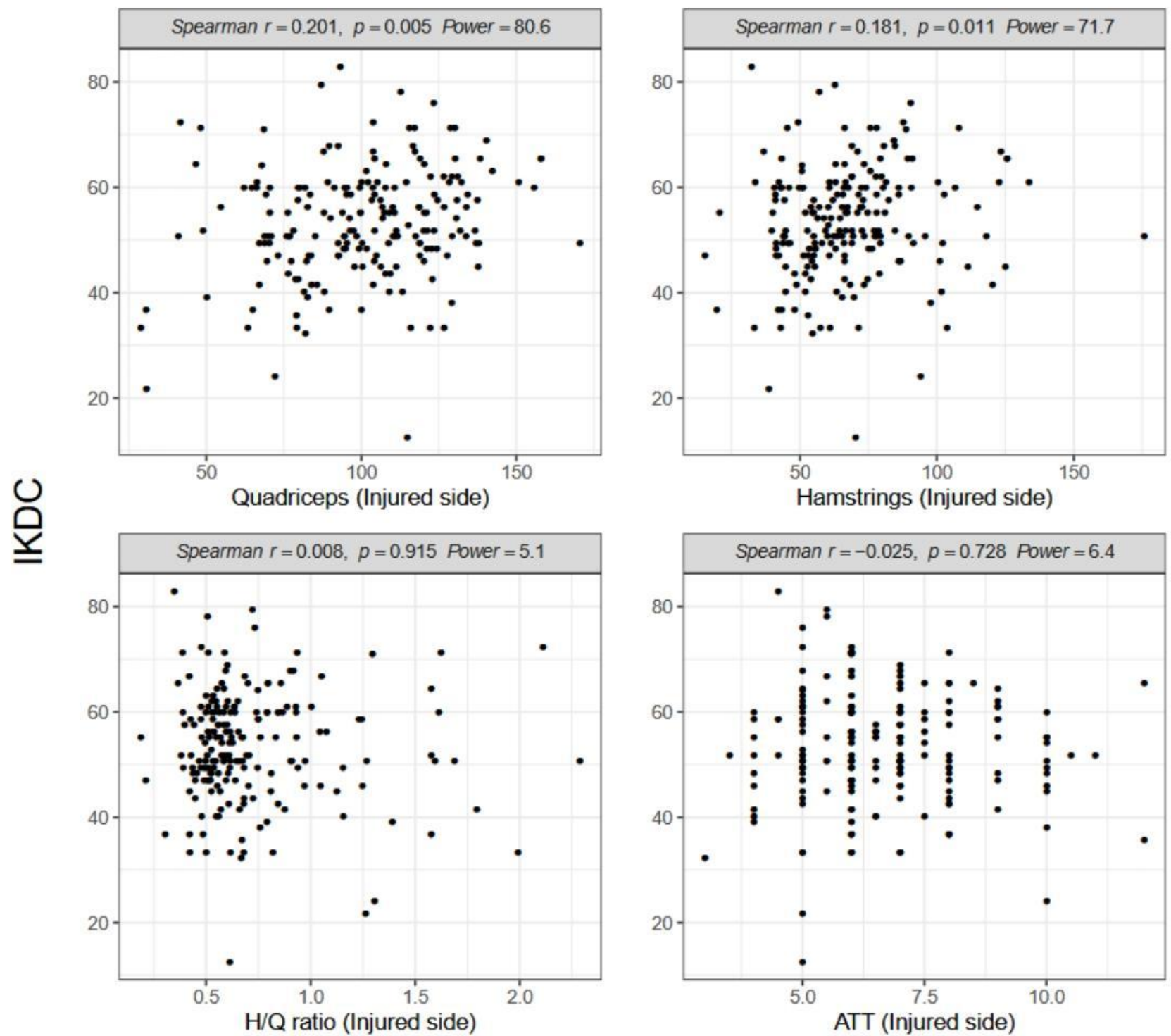


Figure 3. Spearman correlations between the International Knee Documentation Committee (IKDC) score, muscle strength and anterior tibial translation (ATT) on the injured side; H/Q, hamstring/quadriceps.

However, neither the H/Q ratio (Spearman $R = 0.008$, $p = 0.915$; Figure 3) nor tibial displacement (Spearman $R = -0.025$, $p = 0.728$; Figure 3) was significantly correlated with the IKDC score. No significant correlation was observed between the IKDC score and quadriceps or hamstrings strength, H/Q ratio, or ATT on the non-injured side (Figure 4).

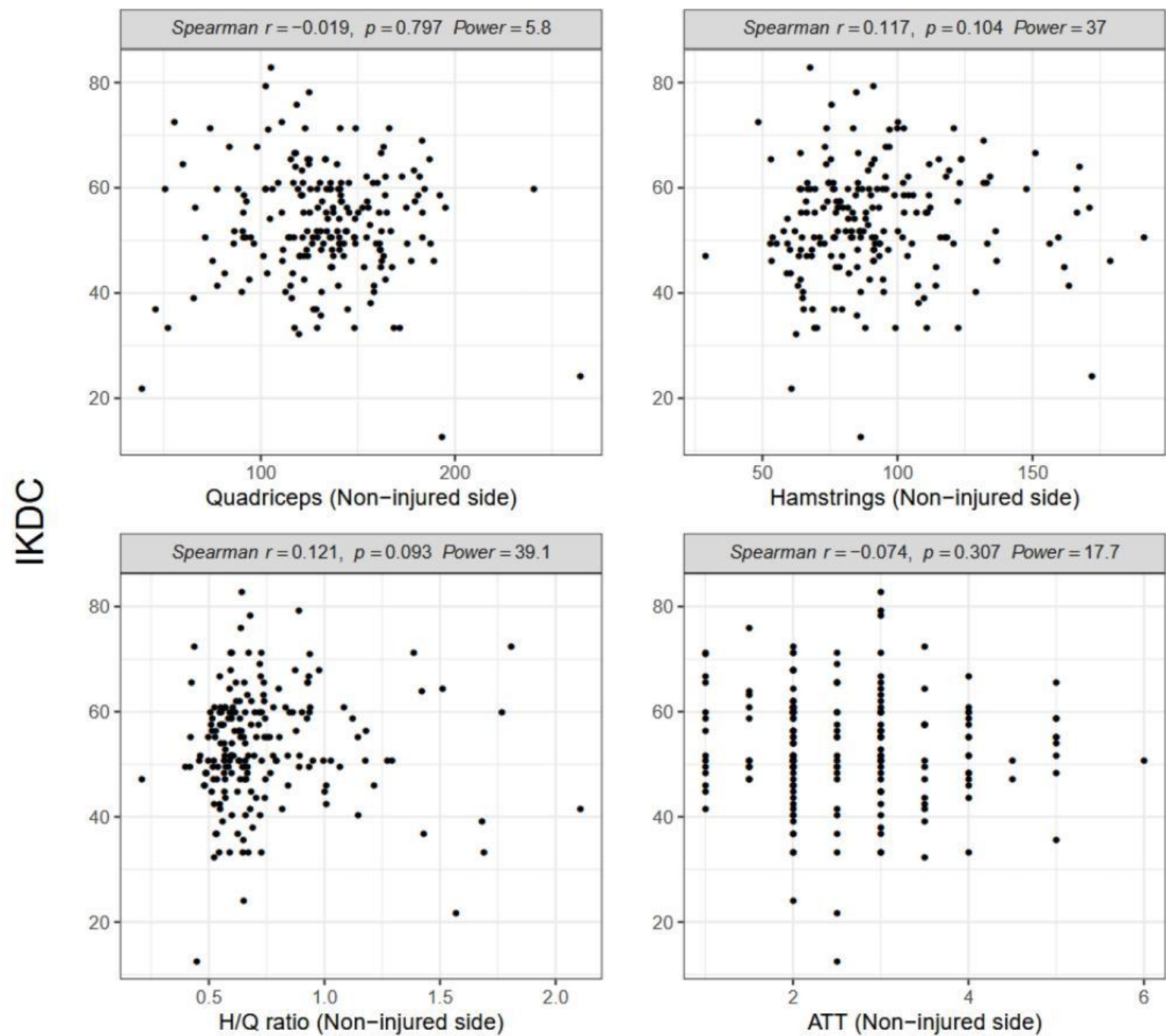


Figure 4. Spearman correlations between the International Knee Documentation Committee (IKDC) score, muscle strength and anterior tibial translation (ATT) on the non-injured side; H/Q, hamstring/quadriceps.

Hamstrings strength on the injured side was nearly significantly correlated with time post-injury (Spearman $R = 0.158$, $p = 0.052$). No significant correlation was observed between time post-injury and quadriceps strength, the H/Q ratio, IKDC, or ATT (Figure 5).

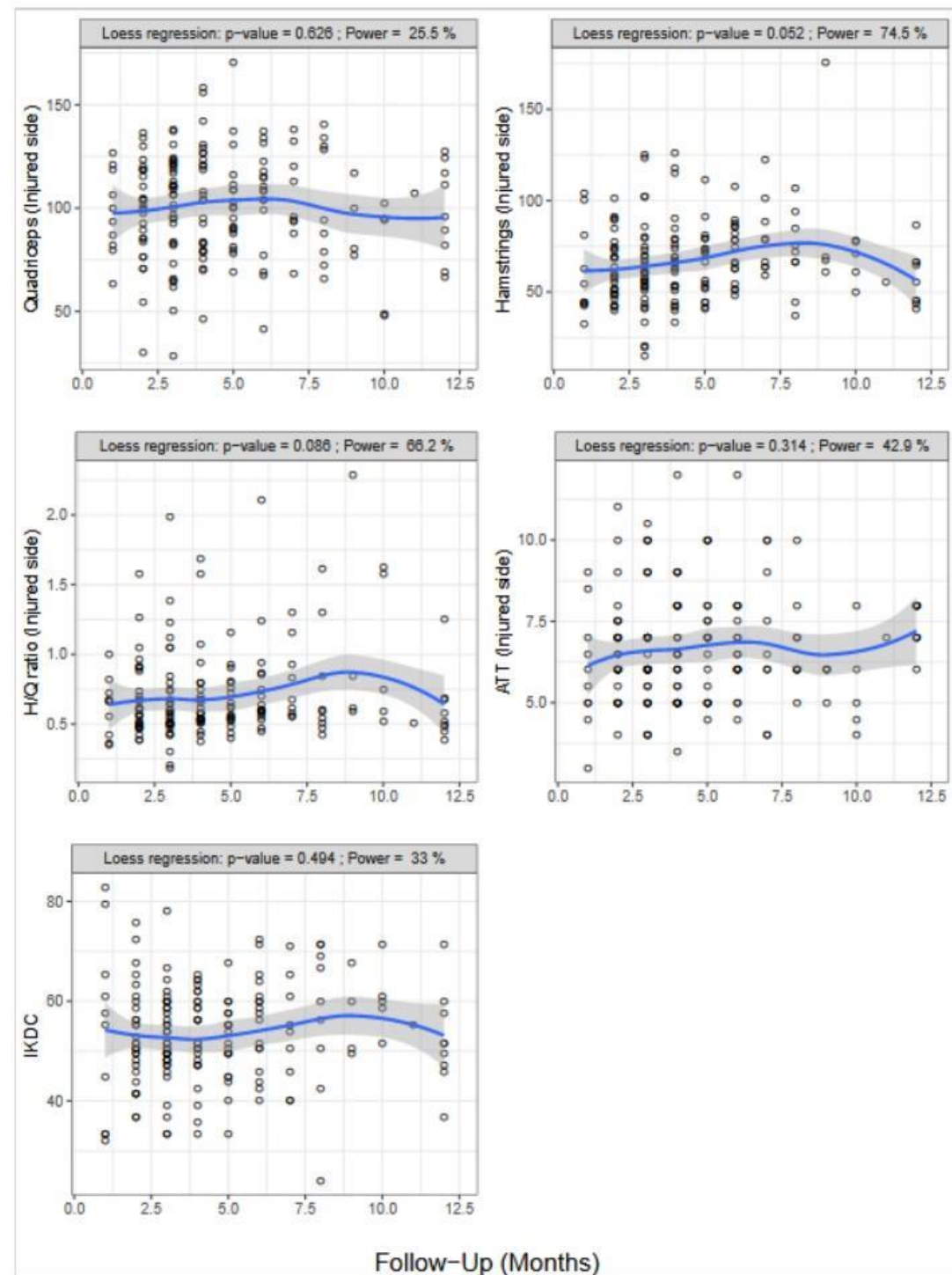


Figure 5. Muscle strength, the hamstring/quadriceps (H/Q) ratio, and International Knee Documentation Committee (IKDC) score according to the time post-injury (months). Data smoothing was performed using the LOESS function.

4. Discussion

In this study, quadriceps and hamstrings strengths and the H/Q ratio were significantly higher on the non-injured side than on the injured side of patients; the H/Q ratio was significantly higher and quadriceps strength was significantly lower on the non-injured side of patients compared with the average H/Q ratio and quadriceps strength on both legs of the controls. This finding has also been observed by other authors [5,6,10,17] and justified by factors such as bilateral arthrogenic muscle inhibition and atrophy due to a decrease in physical activity after injury.

The H/Q ratio can be used as an indicator of muscular imbalance around the knee joint, and it is suggested to be more important than the maximal torque in the assessment of muscle function [7,8]. The H/Q values of both legs of patients and controls in our study were within the range of 0.5 to 0.75, which are considered normal [10,18,19]. However, the average H/Q ratio was higher in both legs of the patients than in those of the controls, suggesting a bilateral decrease in quadriceps activity in patients with ACLD [5,10,17,20,21].

In a meta-analysis, Kim et al. [8] found that the reduction in quadriceps muscle strength was about three times greater than the reduction in hamstrings muscle strength. These uneven reductions in thigh muscle strength contributed to muscle imbalance, as shown by the higher H/Q ratio of the injured than of the uninjured limbs. Since muscle strength of both legs is affected after ACL rupture, using the uninjured leg as the control leg for muscle strength comparisons after ACL injuries may produce false results [22].

The IKDC results of most of our patients were less than 80. A PROM such as the IKDC may serve as a valuable screening tool for identifying quadriceps strength deficits in patients with ACLD [23] and the possibility of a successful return to sports [24]. The IKDC results of our patients were significantly correlated with quadriceps and hamstrings strength of their injured knee, but not with those of the uninjured one. Despite being significant, correlations between quadriceps strength and IKDC score and ATT were weak. Other variables not considered could influence these results. Adjusting the power by age, sex or normalized body mass index might change the correlations observed. Although there are huge references about the importance of quadriceps strength for a successful recovery after ACLR, little is known about the correlation of muscle strength and PROMs before the operation and how this relationship could influence treatment decisions. Our results differ from others that did not find significant correlations between IKDC score and muscle strength in ACLD patients [17]. As in our study, Hohmann et al. [10] observed no significant relationship between the H/Q ratio and several PROM results in non-operated ACLD patients. However, the correlation was significant after ACLR.

PROM questionnaire scores are significantly lower in patients with ACLD than in healthy individuals. Although questionnaire scores show better results after ACLR, patients rarely achieve the same score observed in healthy populations [25]. Previous studies reported that in a group of participants with ACL injury capable of performing hop and side cut tasks, there was a significantly lower subjective function in all PROMs and knee extensor torque [25].

One important finding of the present study was that time post-injury did not significantly correlate with the hamstring strength, the quadriceps strength, H/Q ratio, IKDC, and ATT in patients with ACLD, confirming our hypothesis. A recent systematic review by Keizer and Otten [26] found that ATT was significantly higher in chronic than acute ACL injuries. Nguyen et al. [27] observed that before reconstruction (>6 months), the chronic group achieved higher baseline IKDC scores than the acute group (<3 months). They concluded that the chronic group participated less in pivoting and cutting sports but had improved pain/function. Interestingly, Cristiani et al. [24] found that a time from injury to surgery longer than 3 months significantly reduced the odds of achieving symmetrical hamstring muscle strength 6 months after ACLR. The time elapsed since an injury can possibly reduce physical activity. Perhaps preoperative rehabilitation prioritizes muscular strengthening of the quadriceps. Both situations can cause hamstring deconditioning. In these studies, patients were divided into two groups (acute and chronic) empirically. To the best of our knowledge, our study is the first to correlate real-time post-injury with objective and subjective parameters of ACL-deficient knees.

4.1. Study Limitations

This study has several limitations. First, strength was not normalized to body mass or weight as recommended in previous studies [16]. Similar to previous studies [7,8], we considered that the H/Q ratio rather than quadriceps or hamstrings strength is a better determinant of knee muscle function. The H/Q ratio is a quotient, and its value does not change when using absolute values or values normalized to body mass. We used an HDD to measure force, since there is currently sufficient evidence that measuring isometric strength using manual devices provides enough reliability and reproducibility, and HDD is a very useful tool in normal clinical settings [15,16,28–31]. Several studies have confirmed that H/Q ratio values are highly dependent on the knee joint angle at which the measurement is taken [8,19,32]. We do not know if our results could be different with tests carried out at

other knee flexion angles. Another concern could be that we did not consider the length of the lever arm used to measure muscle strength in our cases [33].

Second, we used only the IKDC questionnaire as a PROM, which is the most used PROM [25,34,35]. This study could not assess if the muscle strength of our patients significantly correlates with other PROM results. Third, no specific rehabilitation protocol was prescribed prior to surgery because the patients were recruited from different health facilities. We used the non-injured leg as a “healthy” comparison for the injured leg, despite a previous report that the non-injured leg is also affected by the decrease in strength [22]. Based on our results that showed significant differences between the healthy knees of patients and that of controls, the effect of ACL injury on the strength of the non-injured knee can be possibly determined if the pre-injury values were obtained. Therefore, it is more appropriate to use normative values of knee muscle strength, adjusted for sex, weight, and activity level [22]. Another limitation is that our patient population was patients with ACLD who opted for surgery due to the persistence of instability after several weeks of rehabilitation (non-copers). Therefore, the findings of this study could not be compared with non-copers who did not opt for surgery, and we could not determine the number of non-copers who could become copers after a longer rehabilitation program.

Finally, correlations drawn from cross-sectional studies cannot establish the temporal relationship that links cause with effect. In observational studies, the relationship between the variables is vulnerable to bias from those unobserved variables that were not measured. These variables might be affecting the study variables, influencing the interpretation of the data. Thus, interpretation of correlational findings must be cautious until further research is completed [36]. In our study, a significant, although weak, correlation was observed between IKDC scoring and muscle strength of the injured knee, but not the uninjured one. From these results it cannot be assumed that improving the knee strength will increase the IKDC results in ACLD patients. However, they support the finding observed by Thoma et al. [3] that progressive neuromuscular and strength training can change the status of ACLD patients from non-copers to copers, avoiding operations in a substantial number of cases. The correlations observed in our study advise us to carry out the next stage of clinical research through randomized controlled clinical trials.

4.2. Clinical Implications

In this study, the quadriceps strength was weaker than the hamstring strength in patients’ injured and uninjured knees, independently of the time passed after the injury. Muscle strength of the injured knees significantly correlated with the IKDC scoring (positive correlation) and the ATT, two crucial parameters for ACLD treatment decisions. Tests were carried out within 48 h before patients and doctors decided on ACLR due to symptomatic instability of the knee after a minimum of 4 weeks of rehabilitation. There was no control about the rehabilitation program followed by the patients before the operation and how knee muscle strengthening was carried out. Perhaps with more prolonged time and specific muscle training, some of our patients would not have needed an ACLR. Logersted et al. [37] found that deficits in pre-operative quadriceps strength influence self-reported function 6 months after surgery. Pre-operative quadriceps and hamstring muscle strength deficits may significantly negatively impact functional performance following ACLR [38].

Thoma et al. [3] observed that patients classified initially as non-copers can become copers after an adequate neuromuscular and strength conditioning program [3]. The findings of our study advise strengthening quadriceps and hamstring of both the injured and uninjured knees after ACL rupture, checking the knee strength objectively regularly to implement changes in the program if necessary [38].

5. Conclusions

Patients with ACLD (non-copers) showed a decrease in knee muscle strength of both the injured and non-injured limbs. Quadriceps strength and H/Q ratio were significantly correlated with ATT for both the injured and non-injured limbs of the patients. The IKDC

score correlated significantly with quadriceps and hamstrings strength of the injured limb but not with the H/Q ratio, ATT or time passed after injury. After an ACL rupture, muscle strength conditioning of both the injured and non-injured limb should be considered and implemented as soon as possible.

Author Contributions: Conceptualization, G.L.G., I.M., G.B. and D.A.; investigation, I.M., D.A., G.B. and L.M.M.; methodology, P.S. and L.M.M.; project administration, G.L.G., I.M. and L.M.M.; wrote the paper, I.M., G.L.G., G.B. and D.A.; figure and tables, P.S. and L.M.M.; formal analysis, P.S.; review and editing, G.L.G., I.M. and L.M.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported in part by an agreement among Traumaquir SL and Fundación Parque Científico Tecnológico, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. None of the funding institutions participated in any way or had an influence on the design, data collection, interpretation, or elaboration of the manuscript.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Human Research Ethics Committee of Las Palmas de Gran Canaria University (protocol number CEIH-2017-11) in accordance with the 1964 Helsinki Declaration.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, G.L.G., upon reasonable request.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Kaplan, Y. Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and non-copers: A narrative literature review. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2011**, *41*, 758–766. [[CrossRef](#)]
- Fitzgerald, G.K.; Axe, M.J.; Snyder-Mackler, L. A decision-making scheme for returning patients to high-level activity with non-operative treatment after anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2000**, *8*, 76–82. [[CrossRef](#)]
- Thoma, L.M.; Grindem, H.; Logerstedt, D.; Axe, M.; Engebretsen, L.; Risberg, M.A.; Snyder-Mackler, L. Coper classification early after anterior cruciate ligament rupture changes with progressive neuromuscular and strength training and is associated with 2-year success: The Delaware-Oslo ACL cohort study. *Am. J. Sports Med.* **2019**, *47*, 807–814. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Becker, R.; Karlsson, J. The role of muscle function after anterior cruciate ligament rupture and treatment. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2018**, *26*, 355–357. [[CrossRef](#)]
- Hart, J.M.; Pietrosimone, B.; Hertel, J.; Ingersoll, C.D. Quadriceps activation following knee injuries: A systematic review. *J. Athl. Train.* **2010**, *45*, 87–97. [[CrossRef](#)]
- Norte, G.E.; Knaus, K.R.; Kuenze, C.; Handsfield, G.G.; Meyer, C.H.; Blemker, S.S.; Hart, J.M. MRI-based assessment of lower-extremity muscle volumes in patients before and after ACL reconstruction. *J. Sport Rehabil.* **2018**, *27*, 201–212. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Fischer, F.; Fink, C.; Herbst, E.; Hoser, C.; Hepperger, C.; Blank, C.; Gföller, P. Higher hamstring-to-quadriceps isokinetic strength ratio during the first post-operative months in patients with quadriceps Tendon compared to hamstring tendon graft following ACL reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2018**, *26*, 418–425. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Kim, H.-J.; Lee, J.-H.; Ahn, S.-E.; Park, M.-J.; Lee, D.-H. Influence of anterior cruciate ligament tear on thigh muscle strength and hamstring-to-quadriceps ratio: A meta-analysis. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0146234. [[CrossRef](#)]
- Saltzman, B.M.; Cvetanovich, G.L.; Nwachukwu, B.U.; Mall, N.A.; Bush-Joseph, C.A.; Bach, B.R. Economic analyses in anterior cruciate ligament reconstruction: A qualitative and systematic review. *Am. J. Sports Med.* **2016**, *44*, 1329–1335. [[CrossRef](#)]
- Hohmann, E.; Tetsworth, K.; Glatt, V. The hamstring/quadriceps ratio is an indicator of function in ACL-deficient, but not in ACL-reconstructed knees. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* **2019**, *139*, 91–98. [[CrossRef](#)]
- Filbay, S.R.; Ackerman, I.N.; Dhupelia, S.; Arden, N.K.; Crossley, K.M. Quality of life in symptomatic individuals after anterior cruciate ligament reconstruction, with and without radiographic knee osteoarthritis. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2018**, *48*, 398–408. [[CrossRef](#)]
- Ruano, J.S.; Sitler, M.R.; Driban, J.B. Prevalence of radiographic knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction, with or without meniscectomy: An evidence-based practice article. *J. Athl. Train.* **2017**, *52*, 606–609. [[CrossRef](#)]
- Whittaker, J.L.; Toomey, C.M.; Woodhouse, L.J.; Jaremko, J.L.; Nettel-Aguirre, A.; Emery, C.A. Association between MRI-defined osteoarthritis, pain, function and strength 3–10 years following knee joint injury in youth sport. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 934–939. [[CrossRef](#)]

14. Whittaker, J.L.; Woodhouse, L.J.; Nettel-Aguirre, A.; Emery, C.A. Outcomes associated with early post-traumatic osteoarthritis and other negative health consequences 3–10 years following knee joint injury in youth sport. *Osteoarthr. Cartil.* **2015**, *23*, 1122–1129. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Almeida, G.P.L.; Albano, T.R.; Melo, A.K.P. Hand-held dynamometer identifies asymmetries in torque of the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2019**, *27*, 2494–2501. [[CrossRef](#)]
16. Maffiuletti, N.A. Assessment of hip and knee muscle function in orthopaedic practice and research. *J. Bone Jt. Surg.-Am. Vol.* **2010**, *92*, 220–229. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Hohmann, E.; Bryant, A.; Tetsworth, K. Strength does not influence knee function in the ACL-deficient knee but is a correlate of knee function in the and ACL-reconstructed knee. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* **2016**, *136*, 477–483. [[CrossRef](#)]
18. Coombs, R.; Garbutt, G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *J. Sports Sci. Med.* **2002**, *1*, 56–62.
19. Hiemstra, L.A.; Webber, S.; MacDonald, P.B.; Kriellaars, D.J. Hamstring and quadriceps strength balance in normal and hamstring anterior cruciate ligament-reconstructed subjects. *Clin. J. Sport Med.* **2004**, *14*, 274–280. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Konishi, Y.; Fukubayashi, T.; Takeshita, D. Mechanism of quadriceps femoris muscle weakness in patients with anterior cruciate ligament reconstruction: Mechanism of quadriceps femoris muscle weakness. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2002**, *12*, 371–375. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Labanca, L.; Laudani, L.; Mariani, P.; Macaluso, A. Postural adjustments following ACL rupture and reconstruction: A longitudinal study. *Int. J. Sports Med.* **2018**, *39*, 549–554. [[CrossRef](#)]
22. Risberg, M.A.; Steffen, K.; Nilstad, A.; Myklebust, G.; Kristianslund, E.; Moltubakk, M.M.; Krosshaug, T. Normative quadriceps and hamstring muscle strength values for female, healthy, elite handball and football players. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 2314–2323. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Zwolski, C.; Schmitt, L.C.; Quatman-Yates, C.; Thomas, S.; Hewett, T.E.; Paterno, M.V. The influence of quadriceps strength asymmetry on patient-reported function at time of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* **2015**, *43*, 2242–2249. [[CrossRef](#)]
24. Cristiani, R.; Mikkelsen, C.; Forssblad, M.; Engström, B.; Stålmán, A. Only one patient out of five achieves symmetrical knee function 6 months after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2019**, *27*, 3461–3470. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Smale, K.B.; Flaxman, T.E.; Alkjaer, T.; Simonsen, E.B.; Krogsgaard, M.R.; Benoit, D.L. Anterior cruciate ligament reconstruction improves subjective ability but not neuromuscular biomechanics during dynamic tasks. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA* **2019**, *27*, 636–645. [[CrossRef](#)]
26. Keizer, M.N.J.; Otten, E. Passive anterior tibia translation in anterior cruciate ligament-injured, anterior cruciate ligament-reconstructed and healthy knees: A systematic review. *Musculoskelet. Surg.* **2019**, *103*, 121–130. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Nguyen, J.T.; Wasserstein, D.; Reinke, E.K.; Spindler, K.P.; Mehta, N.; Doyle, J.B.; MOON Group; Marx, R.G.; Amendola, A.; Andrich, J.T.; et al. Does the chronicity of anterior cruciate ligament ruptures influence patient-reported outcomes before surgery? *Am. J. Sports Med.* **2017**, *45*, 541–549. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Baschung Pfister, P.; de Bruin, E.D.; Sterkele, I.; Maurer, B.; de Bie, R.A.; Knols, R.H. Manual muscle testing and hand-held dynamometry in people with inflammatory myopathy: An Intra- and interrater reliability and validity study. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0194531. [[CrossRef](#)]
29. Jackson, S.M.; Cheng, M.S.; Smith, A.R.; Kolber, M.J. Intrarater reliability of hand held dynamometry in measuring lower extremity isometric strength using a portable stabilization device. *Musculoskelet. Sci. Pract.* **2017**, *27*, 137–141. [[CrossRef](#)]
30. Mentiplay, B.F.; Perraton, L.G.; Bower, K.J.; Adair, B.; Pua, Y.-H.; Williams, G.P.; McGaw, R.; Clark, R.A. Assessment of lower limb muscle strength and power using hand-held and fixed dynamometry: A reliability and validity study. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0140822. [[CrossRef](#)]
31. Romero-Franco, N.; Jiménez-Reyes, P.; Montaña-Munuera, J.A. Validity and reliability of a low-cost digital dynamometer for measuring isometric strength of lower limb. *J. Sports Sci.* **2017**, *35*, 2179–2184. [[CrossRef](#)]
32. Ruas, C.V.; Pinto, R.S.; Haff, G.G.; Lima, C.D.; Pinto, M.D.; Brown, L.E. Alternative methods of determining hamstrings-to-quadriceps ratios: A comprehensive review. *Sports Med.-Open* **2019**, *5*, 11. [[CrossRef](#)]
33. Garcia, M.A.C.; Fonseca, D.S.; Souza, V.H. Handheld dynamometers for muscle strength assessment: Pitfalls, misconceptions, and facts. *Braz. J. Phys. Ther.* **2021**, *25*, 231–232. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Lynch, A.D.; Logerstedt, D.S.; Grindem, H.; Eitzen, I.; Hicks, G.E.; Axe, M.J.; Engebretsen, L.; Risberg, M.A.; Snyder-Mackler, L. Consensus criteria for defining ‘Successful Outcome’ after ACL injury and reconstruction: A Delaware-Oslo ACL cohort Investigation. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 335–342. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Gagnier, J.J.; Shen, Y.; Huang, H. Psychometric properties of patient-reported outcome measures for use in patients with anterior cruciate ligament injuries: A systematic review. *JBJS Rev.* **2018**, *6*, e5. [[CrossRef](#)]
36. Hung, M.; Bounsanga, J.; Voss, M. Interpretation of correlations in clinical research. *Postgrad. Med.* **2017**, *129*, 902–906. [[CrossRef](#)]

37. Logerstedt, D.; Di Stasi, S.; Grindem, H.; Lynch, A.; Eitzen, I.; Engebretsen, L.; Risberg, M.A.; Axe, M.J.; Snyder-Mackler, L. Self-reported knee function can identify athletes who fail return-to-activity criteria up to 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction: A Delaware-Oslo ACL cohort study. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2014**, *44*, 914–923. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Riesterer, J.; Mauch, M.; Paul, J.; Gehring, D.; Ritzmann, R.; Wenning, M. Relationship between pre- and post-operative isokinetic strength after ACL reconstruction using hamstring autograft. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* **2020**, *12*, 68. [[CrossRef](#)]

3. Manchado, I., Motta, L.M., Blanco, G., González, J., Garcés, G.L., 2022. Isometric Knee Muscle Strength and Patient-Reported Measures Five Years after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison of Single versus Dual Autograft Hamstring Tendon Harvesting. *J Clin Med* 11, 5682. <https://doi.org/10.3390/jcm11195682>

Datos de la revista: **Journal of Clinical Medicine**. Es una revista internacional de acceso abierto, revisada por pares, sobre investigación clínica y preclínica. Publica tipos de artículos que incluyen trabajos de investigación, revisiones, editoriales, comunicaciones, etc. Su objetivo es alentar a los científicos a publicar sus resultados experimentales y teóricos con el mayor detalle posible. Se deben proporcionar todos los detalles experimentales para que los resultados puedan reproducirse.

Journal Citation Report 2021, Factor de impacto: 4.964. Revista Q2 (MEDICINE, GENERAL & INTERNAL 55/172).

Scimago Journal Rank. SJR 2021 = 1.04. Q1 (MEDICINE).



Indexada en:

- WEB OF SCIENCE
- SCIENCE CITACION INDEX EXPANDED
- SCOPUS

- EMBASE
- PUBMEDCENTRAL
- PUBMED
- DOAJ
- CROSSREF
- ROAD

Article

Isometric Knee Muscle Strength and Patient-Reported Measures Five Years after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison of Single versus Dual Autograft Hamstring Tendon Harvesting

Ignacio Manchado ^{1,2}, Luci M. Motta ^{1,2}, Gustavo Blanco ¹, Jesús González ³ and Gerardo L. Garcés ^{1,2,*}

¹ Hospital Perpetuo Socorro, 35007 Las Palmas, Spain

² Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas, University of Las Palmas de Gran Canaria, Paseo Blas Cabrera Felipe s/n, 35016 Las Palmas, Spain

³ Unidad de Investigación, Hospital Dr Negrin, 35007 Las Palmas, Spain

* Correspondence: gerardo.garces@ulpgc.es; Tel.: +34-696-471-915

Citation: Manchado, I.; Motta, L.M.; Blanco, G.; González, J.; Garcés, G.L. Isometric Knee Muscle Strength and Patient-Reported Measures Five Years after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison of Single versus Dual Autograft Hamstring Tendon Harvesting. *J. Clin. Med.* **2022**, *11*, 5682. <https://doi.org/10.3390/jcm11195682>

Academic Editors: Yuichi Hoshino and Andrea Redler

Received: 4 July 2022

Accepted: 20 September 2022

Published: 26 September 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: There is some controversy regarding the use of one or two hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). In this study, two cohorts of 22 male patients underwent an ACLR with hamstring tendon autografts. One cohort was reconstructed through an all-inside technique with the semitendinosus tendon (ST group) and the other with the semitendinosus and gracilis tendons (ST-G group). Anterior tibial translation (ATT), Lysholm, and IKDC scores were assessed preoperatively and five years postoperation. Additionally, isometric knee muscle strength was manually measured in both groups and in another cohort of 22 uninjured control male subjects five years after the operation. There were no significant differences in ATT and Lysholm scores between the operated groups. The IKDC score was lower in the ST-G group than in the ST group—9.57 (CI 14.89–4.25) ($p < 0.001$). No significant differences between injured and uninjured knees were detected in hamstring to quadriceps ratio strength and quadriceps limb symmetry index of the two operated groups, but the hamstring limb symmetry index was significantly lower in the ST-G group than in the ST and control groups. This study shows that using an ST-G autograft for ACLR yielded less flexor strength and worse results in some patient-reported outcome measures (PROM) than using an ST autograft five years after the operation. The observed results let us suggest that the use of one autograft hamstring tendon for ACLR is clinically preferable to the use of two hamstring tendons.

Keywords: anterior cruciate ligament; hamstring tendon graft; knee strength; IKDC; Lysholm

1. Introduction

In recent years, there has been an increase in hamstring graft preference over the “gold standard” bone–patellar tendon–bone (BPTB) for anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). Harvesting hamstrings has lower morbidity and reduces the risk of knee pain, kneeling pain, flexion limitation, and osteoarthritis [1,2]. Hamstring autografts most used are doubled semitendinosus and doubled gracilis tendons (ST-G), with a fixed or adjustable femoral device and an interference screw within the tibial tunnel [3–7]. This type of reconstruction is mostly carried out through a complete tibial tunnel to deliver the graft into the femoral socket. Another alternative is using a single bundle four-strand semitendinosus tendon graft (ST4), fixed to a femoral and tibial socket through an “all inside technique” (AIT) [3,4,7–13]. The potential advantages of AIT include preservation of bone stock, reduced incidence of complications (tibial plateau fractures, decreased cortical bone periosteal disruption, decreased postoperative pain), improved

bone-graft integration, accelerated graft maturation, increased precision of anatomic placement [11,14–16], and, usually, an ST4 graft harvest with a larger diameter graft [5,7,17].

To assess successful results after an ACLR, it is necessary to evaluate knee laxity, limb strength, and patient-reported outcome measures (PROMs) [18]. Regarding laxity, it seems that there are no differences between all-inside techniques and full tibial tunnel techniques using hamstring tendons [3,4,10–13]. Considering self-reported knee function, most studies report that there are no differences in the results between the use of one or two hamstring tendons [3,4,8,10,11,13], but other authors [12] have noted that there may be minor nonsignificant differences.

Isolated ST tendon harvesting for an all-inside ACLR may result in fewer strength deficits than harvesting both ST-G hamstrings for the complete tibial tunnel technique [3,8,10,19]. However, this issue is not clear. Some authors point out that there are no differences in knee muscle strength between the reconstructed and their contralateral knees after using one or two hamstring autografts [4]; others refer that there are significant but not clinically relevant differences [3] and that differences depend on the knee angle during strength testing [10] or the angular velocity used during testing [12]. Nevertheless, most of the articles comparing the clinical results using the ST vs. ST-G hamstring grafts present data with a maximum follow-up of 3 years [3,7,10,12,19]. It is not known if the results could be different if assessed at a longer follow-up.

After an ACLR, leg muscle strength is related to return to activity (RTA) or sport (RTS) [18,20–22], functional performance [23–27], and the risk of re-rupture [28,29]. Additionally, thigh muscle strength is correlated with self-reported patient outcomes [20,23,25,30–37]. The Limb Symmetry Index (LSI), for extensors and flexors, is the ratio of strength between the injured and uninjured knees. It is a common method of assessing the strength and functional performance after ACLR [26,35,38]. Another common method to assess progression after ACL injury is the hamstring/quadriceps (H/Q) ratio [39]. The H/Q ratio can be used to detect muscle imbalance, monitor knee joint stability, and indicate lower extremity injury prevention and rehabilitation [40–42]. It has been suggested that the H/Q ratio is more important than the maximal torque in the assessment of muscle function [40,41]. The H/Q ratio is altered in ACL-deficient and ACL-reconstructed knees compared with the uninjured contralateral limb and controls [39,41]. A decrease in relative hamstring strength combined with high relative quadriceps strength may present a potential risk factor for ACL tears [40,43–45].

There is controversy about using one versus two hamstring autografts for ACLR since this could influence postoperation knee strength [3,10,12,19]. Because of its importance in sports performance, knee muscle strength after ACLR has become an important parameter to assess objective results in the last few years. The most extended published follow-up was less than three years [3,7,10,12,19]. Knee strength, PROM, and anterior tibial translation (ATT) are important parameters for assessing results after ACLR. Our work aimed to study if, five years after the operation, the differential muscle strength between the reconstructed and its contralateral uninjured knee is different when the ST versus ST-G are harvested. We also aimed to study if there are differences in PROMs results and side-to-side ATT between the ST and ST-G groups five years after the operation. We hypothesized that no significant differences in the results would be detected and that the use of one of two tendons is equally safe and effective.

2. Materials and Methods

This is a retrospective observational study of two cohorts of 26 male patients who underwent unilateral ACLR 5 years previously and another cohort of uninjured male control patients. The study protocol was approved by the Human Research Ethics Committee at the University of Las Palmas de Gran Canaria (protocol number CEIH-2017-11), and the study was conducted in accordance with the principles of the 1975 Declaration of Helsinki. Informed consent to participate in the study was obtained from patients and

controls. Informed consent was also obtained from one of their parents for each of the five underaged patients in the study.

2.1. Participants

Fifty-two male patients with symptomatic unilateral ACL deficiency, who underwent ACLR at the same hospital by the same surgical team in 2013, participated in the study. Inclusion criteria were unilateral ACL rupture diagnosed by the Lachman and Pivot-Shift positive test and side-to-side ATT differences >3 mm measured by a KT 1000™ (MedMetric: San Diego, CA, USA). The diagnosis was confirmed by magnetic resonance imaging (MRI). The patients were scheduled to undergo surgery due to symptomatic instability or patient–doctor decisions after a minimum of 4 weeks of rehabilitation. Exclusion criteria included a history of previous knee surgery or fracture around the knee, concomitancy of other knee ligament ruptures, and osteoarthritis greater than grade 2 (Kellgren and Lawrence classification). Concurrent meniscus tears or small chondral lesions were not criteria for patient exclusion. To be included in the study, patients needed to be involved in recreational sports activities 5 years postoperation.

Twenty-six patients underwent ACLR with a single bundle semitendinosus four-strand (ST group) arthroscopic all-inside reconstruction. The remaining 26 patients underwent arthroscopic ACLR with a single bundle combined doubled semitendinosus and double gracilis graft through a complete tibial tunnel (ST-G group). The mean age of the ST group was 26.8, and that of the ST-G group was 25.8. The third group of 22 uninjured male controls was recruited from a fitness center near the hospital five years after starting the study (Figure 1). Criteria for inclusion in this control group were lack of the previous injury in one or both lower limbs and participation in sports activities at a nonprofessional level. Controls were paired with patients for age and type of sports activity at follow-up revision, 5 years postoperation. Demographic data of the study population are presented in Table 1.

Table 1. Demographic data of the patients and controls. Preop—Preoperatively; ST—semitendinosus. ST-G—semitendinosus and gracilis. Data are means ± SD and median (25–75% IQR).

	Preop (n = 26 Each Group)	5 Years Postoperation (n = 22 Each Group)	
		ST group	
Age	26.8 ± 8.5 25.5 (16–41)		31.7 ± 8.5 30.5 (21–46)
Sex (Male)	100%		100%
		ST-G group	
Age	25.8 ± 8.9 27 (16–49)		30.9 ± 8.8 32 (21–54)
Sex (Male)	100%		100%
		Controls	
Age	-		31.4 ± 8.6 30 (20–46)
Sex (Male)	-		100%

2.2. Surgical Methods

Operations were carried out arthroscopically by the same surgical team. Once ACL rupture was confirmed, an anteromedial longitudinal incision was made to obtain the graft from the hamstring tendons. Patients in the ST group underwent surgery with an all-inside technique. The semitendinosus tendon was harvested and prepared for the tape locking screw surgical technique (TLS) (Laboratoire FH: Mulhouse, France), following the single bundle four-strand semitendinosus graft technique described by Colette and Cassard [14]. The graft length was 50–55 mm, and the graft diameter was 9–10 mm.

In patients in the ST-G group, both the semitendinosus and gracilis tendons were harvested and prepared to create a single bundle combined doubled semitendinosus doubled gracilis graft. Through standard arthroscopic ACLR, femoral cortical fixation was achieved using XO Button (ConMed Linvatec: Largo, FL, USA). Tibial fixation was performed with a bioabsorbable interference screw (Matryx, ConMed Linvatec: Largo, FL, USA) in conjunction with an additional cortical staple over the out-of-the-tunnel portion of the graft.

The postoperative rehabilitation protocol was very similar for all patients in both groups, avoiding quadriceps contraction against gravity during the first 6 weeks after the operation. Running was allowed 3–4 months after the operation, and returning to sports activities was allowed 8–10 months post-reconstruction.

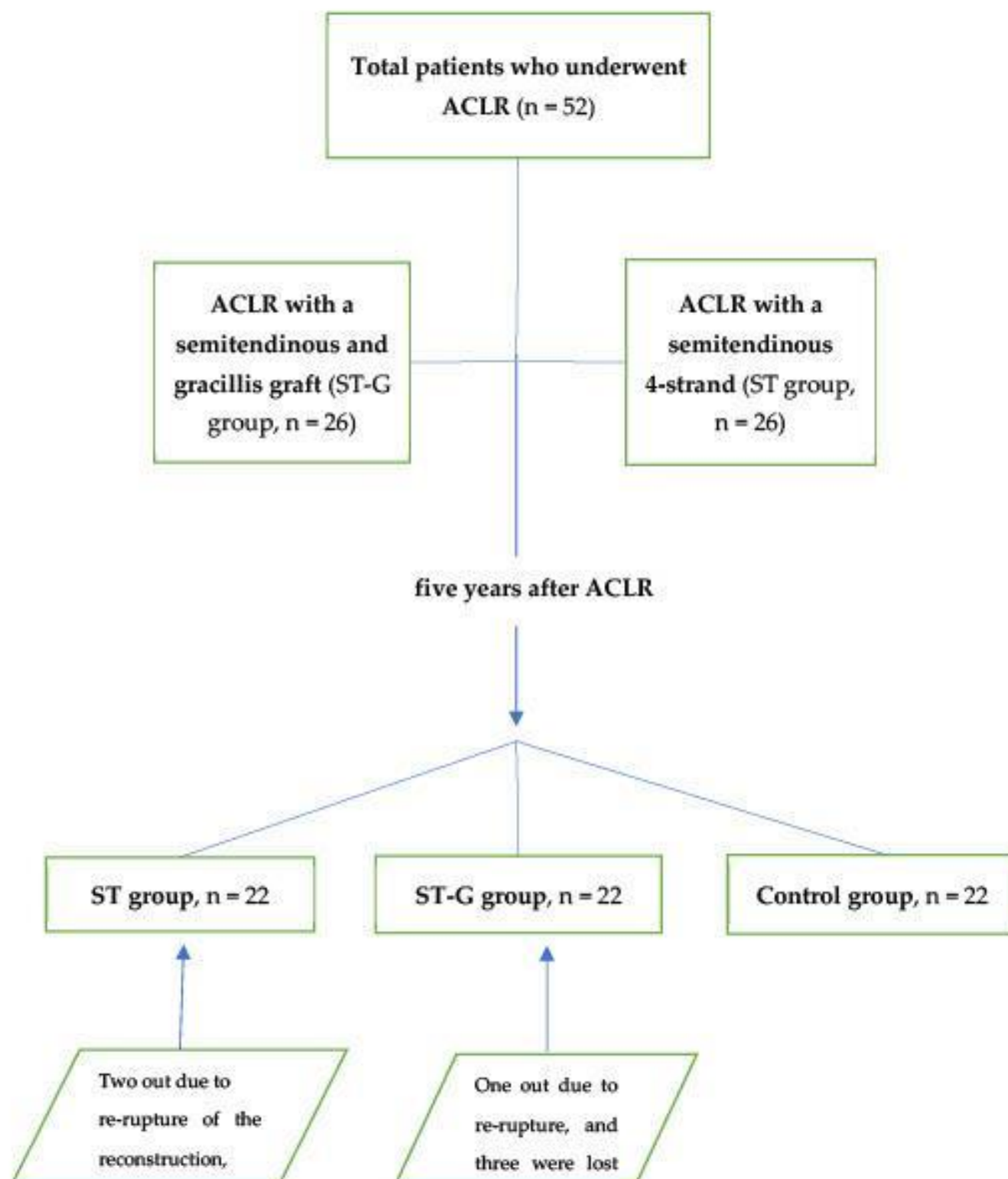


Figure 1. Method of assessment.

Patients were evaluated within 48 h prior to surgical reconstruction and 5 years postoperation. The control subjects were evaluated only once, coinciding with the fifth postoperative year of the patients. Patient-reported outcome measures (PROMs) were evaluated with the International Knee Documentation Committee (IKDC) subjective score and the Lysholm knee scoring scale. ATT was assessed using a KT-1000 arthrometer (MEDmetric: San Diego, CA, USA) through maximal manual traction with the knee at 30° of flexion. All tests were performed by the same two researchers independently (LM, GB) three times on both knees of the patients and controls, first on the uninjured knee and then on the injured knee. The mean value of the six measurements was used for the statistical analysis. Measures of the three tests carried out by the same observer and the six tests carried out by both coincided in more than 90% of cases.

Knee muscle strength was measured only 5 years postoperation. The isometric strength of the quadriceps and hamstrings of both knees was measured using a handheld dynamometer (HHD) [46,47], MicroFET3 (Hoggan Health Industries: West Jordan, UT, USA). The maximal force was expressed in Newtons (N). Participants were taught to perform isometric contractions of the knee muscles. They performed warm-up exercises for 5 min and two practice trials of the tests, rested for 30 s, and then performed the three measurement trials. Knee extension strength was measured according to the protocol described in other studies [46,47]. The HHD was positioned 2 cm proximal to the lateral malleolar tip with the knee at 60° of flexion and the hip at 90° of flexion. Knee flexion strength was measured with the participant placed on a stretcher in a prone position, with knees at 30° and hips at 0° of flexion. Arms were crossed under the participant's forehead. The HHD was placed in the calcaneus at the level of the Achilles tendon insertion. Measurements were made three times for each limb by the same two researchers, and the average of the values was used for statistical analysis. If one of the intratest data points differed by >10% from the other data points, the measurement was repeated. During the tests, both in extension and flexion, participants were encouraged to make the maximum contraction.

The strength values used for the statistical assessment were as follows:

Quadriceps Limb Symmetry Index (QLSI) = (injured quadriceps isometric peak/uninjured quadriceps isometric peak) * 100

Hamstring Limb Symmetry Index (HLSI) = (injured hamstring isometric peak/uninjured hamstring peak) * 100

H/Q ratio of the injured side = (injured hamstring isometric peak/injured quadriceps isometric peak)

H/Q ratio on the uninjured side = (uninjured hamstring isometric peak/uninjured quadriceps isometric peak).

For the controls, the nondominant leg was used as the injured leg, and the dominant leg was used as the uninjured leg.

2.3. Statistical Analysis

The statistical program used to assess results was R, version 4.0.2 (R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria). The means, standard deviations, medians, and 25th and 75th percentiles were calculated for the quantitative variables. The Shapiro–Wilk test was used to check the normality of the data. Multiple linear regression for paired data was used to predict numerical variables as a function of time. The technique is a complete method to compare the evolution of numerical variables over time and in different groups. ANOVA was used to compare the means of the three groups since it is considered a very robust method despite the small sample size. Post hoc comparisons were made with the Tukey test for the regression and the ANOVA. A *p*-value of less than 0.05 was considered significant.

Using the R Studio “pwr” package, with $\alpha = 0.05$ and power = 0.80, the sample size would be:

- For small effect size (0.1): 323 patients per group;
- For medium effect size (0.25): 53 patients per group;
- For large effect size (0.4): 22 patients per group.

Then, we reach the necessary sample size for a large effect size.

3. Results

Twenty-two patients in the ST group and 22 in the ST-G group were available for the assessment five years after ACLR. Two out of the initial twenty-six patients in the ST group underwent reoperation due to re-rupture of the reconstruction, and two were lost to follow-up. Regarding the initial 26 patients of the ST-G group, one patient underwent reoperation due to re-rupture, and three were lost to follow-up. The mean age at the time of the postoperative assessment was 31.7, 30.9, and 31.4 years for the ST, ST-G, and control groups, respectively (Table 1).

Table 2 presents the results of the pre- and postoperative side-to-side differences between the anterior tibial translation of the injured and the uninjured knees and the values of the pre- and postoperative PROMs. Side-to-side preoperative differences were >3 mm in both the ST and the ST-G groups and <1 mm in both groups postoperatively. These differences were highly significant between the pre- and postoperative periods but not significant when both operative groups were compared.

Table 2. Results of the two groups of patients (median and 25–75% interquartile range). STSD—Side-to-side anterior tibial translation differences (injured vs. uninjured knee) in mm; Preop—Preoperatively; ST—semitendinosus; ST-G—semitendinosus and gracilis. * $p < 0.001$ when comparing the preoperative and 5-year postoperative groups; ^b $p < 0.001$ when comparing the ST and ST-G groups.

	Preop	5 Years Postoperation
		STSD
ST-G group	4 (2.2–5)	0.5 (0–1)
ST group	4 (3.5–4)	0.75 (0–1)
		IKDC
ST-G group	50.6 (46.8–56)	83.9 (77.6–90.5) *
ST group	44.25 (35.6–55.1)	95.4 (90.8–97.7) ^{ab}
		Lysholm
ST-G group	58.5 (47.7–63.2)	95 (94.2–100) *
ST group	52 (38.7–64.5)	97.5 (95–99) *

Minor but nonsignificant differences were observed preoperatively with the IKDC values of both groups. The median value for the ST-G group was 50.6 (47.6–57.7) preoperatively and 83.9 (77.5–90.5) postoperatively ($p < 0.001$). The median value for the ST group was 44.2 (35.6–55.1) preoperatively and 95.4 (90.8–97.7) postoperatively. The mean difference between the two groups at 5 years postoperation was 9.57 (CI 14.8–4.2) ($p < 0.001$). No significant differences between groups were detected both preoperatively and postoperatively for the Lysholm scoring. The preoperative vs. postoperative median values for the ST-G group were 58.5 (47.2–63) and 95 (94.2–100), respectively ($p < 0.001$). The preoperative vs. postoperative median values for the ST group were 52 (38.7–64.5) and 97.5 (95–99), respectively ($p < 0.001$).

Table 3 shows the values of the strength. Five years after the operation, the median QLSI was 102.5 (97–108.6) for the ST-G group, 96.7 (94.2–104.1) for the ST group, and 93.3 (87.9–99.6) for the control group. The mean differences were significant only between the ST-G group and the control group—9.62 (CI 17.4–1.7) ($p = 0.01$). The median HLSI was 88.3 (84–96.5) for the ST-G group, 95.2 (92–98.3) for the ST group, and 95.1 (91.6–97.3) for the control group. Differences between the ST-G and the other two groups were

significant ($p = 0.03$), but there were no significant differences between the ST and control groups. The H/Q ratio was between 0.6 and 0.63 for all the groups. No significant differences were observed between groups, between the injured versus uninjured sides in the operated patients, or between the dominant versus nondominant knees in the controls.

Table 3. LSI and H/Q ratio strength 5 years after reconstruction and in the control group. Results are expressed as medians (25–75% interquartile range). QLSI—Quadriceps Limb Symmetry Index; HLSI—Hamstring Limb Symmetry Index; H/Q—Hamstring to Quadriceps Ratio; ST—semitendinosus; ST-G—semitendinosus and gracilis. The values of the injured side were compared with those of the nondominant side of controls. The values of the uninjured side were compared with the values of the dominant side of controls. ^a $p = 0.01$ when comparing the ST-G and control groups. ^b $p = 0.033$ when comparing the ST-G with ST and control groups.

	QLSI	HLSI	H/Q Injured Side	H/Q Uninjured Side
ST-G group	102.5 (97–108.6) ^a	88.3 (84–96.5) ^b	0.6 (0.5–0.6)	0.63 (0.6–0.7)
ST group	96.7 (94.2–104.1)	95.2 (92–98.3)	0.61 (0.5–0.6)	0.63 (0.5–0.7)
Control	93.3 (87.9–99.6)	95.1 (91.6–97.3)	0.61 (0.4–0.7)	0.61 (0.4–0.7)

4. Discussion

Several findings can be highlighted in this work. First, ATT differences between injured and uninjured knees were less than 1 mm after 5 years in both the ST-G and the ST groups, with no significant differences between them. These results are consistent with those in the current literature when the use of ST vs. ST-G grafts is compared [3,4,10–13], although these studies involve data with a maximum follow-up of 3 years. Since different techniques were used by these authors, it can be assumed that the use of grafts with one or two tendons shows no differences in ATT after ACLR.

The second finding to be highlighted in our study is that the ST-G group showed IKDC score results that were significantly lower than those of the ST group, while the Lysholm score showed no significant differences between the two groups 5 years postoperation. Although there is no consensus, scores between 85 and 90 are considered the threshold of success in PROM [18,21]. The IKDC values of our ST-G group did not achieve those considered within the normative values in a healthy knee population of 25 to 34 years old [48]. However, in the ST group, the values of the IKDC score were within the range of those considered normal for a healthy population of their age group [48]. The Lysholm knee score at 5 years was similar between the ST-G and ST groups, and the results were within the range of normative values for a population of this age [49]. These findings are consistent with those reported in the current literature [3,4,8,10–13].

In contrast to our findings, Sharma et al. [3], in a systematic review, concluded that the addition of gracilis harvest to an isolated semitendinosus harvest for ACLR showed no significant differences in patient-reported outcomes. More recently, others have found similar results, showing no significant differences in PROMs regarding the use of ST grafts alone or combined with gracilis harvest [8,10,12]. However, the mean follow-up of these studies was not longer than 3 years.

The third finding of our study to be highlighted is the differences observed in muscle strength 5 years after ACLR. There were no differences in the H/Q ratio in either the injured or uninjured knees of the ST and ST-G groups or between the two knees of the control group. No significant differences in the H/Q ratio of either knee were observed among the three groups. The values observed were within the range from 0.5 to 0.75, considered for an average population [39,50,51]. In contrast, a recent study reported fewer flexor strength deficits when just one tendon graft, compared to two tendon grafts, was used 36 months after ACLR [10].

Compared with healthy controls, patients with ACLR have a deficit in the activation of the quadriceps bilaterally [52–54], different movement patterns in the coronal and sagittal planes [32,53,55], and different volumes of the leg musculature [21,36]. There is a neural regulation to maintain symmetry of the extremities and an agonist–antagonist

balance to dynamically stabilize the injured knee [39]. This compensatory mechanism includes facilitating hamstring and quadriceps inhibition [41]. The H/Q ratio may indicate a muscle imbalance around the knee joint [40,41]. The quadriceps and hamstring LSI are common methods of assessment success in restoring strength after ACLR [35]. The values of less than 90% should not be accepted as good results [18,56,57], although a more restrictive criterion of >95% is currently suggested [56]. Asymmetry in limb strength >15% after ACLR is a predictor of reinjury and decreased sports performance parameters [47]. In our study, the QLSI was >95% in both operated groups and 93.3% in the control group. However, HLSI for the ST and control groups was >95%, while the ST-G group did not even achieve the widely used 90% LSI cutoff value [32,35].

It has been shown that hamstring autograft harvesting can reduce knee flexor strength for up to 1–2 years after ACLR [58]. A decrease in relative hamstring strength combined with high relative quadriceps strength may present a potential risk factor for ACL tears [43]. Moreover, Monaco et al. [19] found that using the isolated ST tendon produced significantly better flexural force recovery than the full tibial tunnel technique with ST-G for ACLR. Sharma et al. [3] determined that the addition of gracilis to a single semitendinosus for ACL reconstruction results in statistically significant, but likely not clinically relevant, differences in hamstring strength. A recent study comparing outcomes of ST and ST-G tendon harvesting concluded that there was a significantly lower deficit in deep flexor strength, with better clinical outcomes at 3 years, in the group of only ST [10]. Kouloumentas et al. [12] concluded that all-inside ACL reconstruction with a short ST4 graft provides an advantage over ACL reconstruction with an ST/G graft in terms of improved knee flexion strength at higher angular velocities.

The results of this study suggest that the initial hypothesis should be rejected. Although the Lysholm score 5 years after the operation was not different between the two groups, the IKDC score was significantly lower in the ST-G group. The HLSI in this group 5 years postoperation was also significantly lower than that in the ST and control groups, with no significant differences between these two groups. Although no functional tests were carried out at follow-up in this study, the observed results let us suggest that the use of one autograft hamstring tendon for ACLR is clinically preferable to the use of two hamstring tendons. Further research with an appropriate number of patients is necessary to study how factors such as body mass index, type of sports activity, gender, and sports performance influence the differential results after using one vs. two autograft tendons.

This study has several limitations. First, we use HDD to measure force. The H/Q ratio is highly dependent on angular momentum, angular velocity, and contraction type [50]. This type of information can be obtained only by making measurements with an isokinetic dynamometer. Nevertheless, there is sufficient evidence today to consider that manual devices provide adequate knee muscle strength information with high reliability and reproducibility. They are very useful tools for standard clinical settings [46,47,59–62]. Second, we used the uninjured leg as a “healthy” comparison for the injured leg, despite a study reporting a decrease in the strength of both knees in unilateral ACL-deficient patients [63]. The influence of ACL injury on the strength of the uninjured knee would only be possible to determine if the preinjury values were obtained [64]. Therefore, it would be more appropriate to use normative values of strength adjusted for sex, body mass index, and activity level [63]. Third, all participants were males. We do not know if the results would be different in a group of unilateral ACL-deficient women. Fourth, we were able to measure strength only at 5 years of the study. Therefore, we do not know how knee muscle strength was before the operation or how it evolved from the first postoperative year. However, most authors comparing knee strength after ACLR with ST versus ST-G do not provide preoperative results [3,10,12,19,65]. We also do not know if a shorter follow-up time would produce results similar to those of other studies. Our results were based on PROMs, and we do not know if functional tests would have shown differences between patient groups. Although participation in recreational sports activity at follow-up was a condition to be included in the study, we do not know if there were

differences in sports performance of the patients between the preinjury level and the final follow-up. Another important limitation is that the number of cases was small, and the study could be underpowered. The surgical technique was not the same in both groups, which could influence the results. However, the ATT was nearly the same for both groups postoperatively, and others have also reported that the technique used has little influence on the result's differences when using one or two hamstring tendon grafts [3,7]. Finally, the clinical tools used could have some influence on our results. However, the KT1000 is the most used device to measure ATT [66], and the reliability of Microfet, the device used to measure isometric strength, is >0.95 [67,68].

5. Conclusions

IKDC scores were significantly lower in the ST-G graft group than in the ST group, but the Lysholm score showed no significant differences. The HLSI of the ST-G group was significantly lower than that of the ST and control groups, with no differences between these two. No significant differences in the H/Q ratio of the injured versus uninjured knees of the operated patients, nor the H/Q ratio of the nondominant versus the dominant knees of the controls, were observed 5 years postoperation. The QLSI was not significantly different between the three groups. No significant differences in ATT of reconstructed knees were detected between the ST and ST-G groups 5 years postoperation. This study shows that using just the ST autograft tendon for ACLR produces less flexor muscle strength decrease and better results on some PROMs than using both the ST and G autograft tendons.

Author Contributions: Conceptualization: G.L.G., I.M. and G.B.; investigation: I.M., G.B. and L.M.M.; methodology: G.L.G. and L.M.M.; project administration: G.L.G., I.M. and L.M.M.; writing—original draft preparation: I.M., G.L.G. and G.B.; tables: J.G. and L.M.M.; formal Analysis: J.G.; writing—review and editing: G.L.G., I.M. and L.M.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported in part by an agreement between Traumaquir SL and Fundación Parque Científico Tecnológico, University of Las Palmas de Gran Canaria (Ref C2019/13 and C2021/169). None of the funding institutions participated in any way or had an influence on the design, data collection, interpretation, or elaboration of the manuscript.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Human Research Ethics Committee of Las Palmas de Gran Canaria University (protocol number CEIH-2017-11) in accordance with the 1975 Helsinki Declaration.

Informed Consent Statement: Informed consent to participate was obtained from all subjects involved in the study. Moreover, informed consent was obtained from one of the parents of each of the 5 cases younger than 18 years.

Data Availability Statement: The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, G.L.G., upon reasonable request.

Acknowledgments: The authors thank the patients who authorized to be part of the study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

- Chee, M.Y.; Chen, Y.; Pearce, C.J.; Murphy, D.P.; Krishna, L.; Hui, J.H.; Wang, W.E.; Tai, B.C.; Salunke, A.A.; Chen, X.; et al. Outcome of Patellar Tendon Versus 4-Strand Hamstring Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Randomized Trials. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.* **2017**, *33*, 450–463. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.09.020>.
- Poehling-Monaghan, K.L.; Salem, H.; Ross, K.E.; Secrist, E.; Ciccotti, M.C.; Tjoumakaris, F.; Ciccotti, M.G.; Freedman, K.B. Long-Term Outcomes in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of Patellar Tendon Versus Hamstring Autografts. *Orthop. J. Sports Med.* **2017**, *5*, 232596711770973. <https://doi.org/10.1177/2325967117709735>.
- Sharma, A.; Flanigan, D.C.; Randall, K.; Magnussen, R.A. Does Gracilis Preservation Matter in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Systematic Review. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.* **2016**, *32*, 1165–1173. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.027>.
- Connaughton, A.J.; Geeslin, A.G.; Uggen, C.W. All-inside ACL Reconstruction: How Does It Compare to Standard ACL Reconstruction Techniques? *J. Orthop.* **2017**, *14*, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2017.03.002>.
- De Sa, D.; Shanmugaraj, A.; Weidman, M.; Peterson, D.C.; Simunovic, N.; Musahl, V.; Ayeni, O.R. All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction-A Systematic Review of Techniques, Outcomes, and Complications. *J. Knee Surg.* **2018**, *31*, 895–904. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1627446>.
- Widner, M.; Dunleavy, M.; Lynch, S. Outcomes Following ACL Reconstruction Based on Graft Type: Are All Grafts Equivalent? *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* **2019**, *12*, 460–465. <https://doi.org/10.1007/s12178-019-09588-w>.
- Fu, C.-W.; Chen, W.-C.; Lu, Y.-C. Is All-inside with Suspensory Cortical Button Fixation a Superior Technique for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2020**, *21*, 445. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03471-3>.
- Desai, V.S.; Anderson, G.R.; Wu, I.T.; Levy, B.A.; Dahm, D.L.; Camp, C.L.; Krych, A.J.; Stuart, M.J. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Hamstring Autograft: A Matched Cohort Comparison of the All-Inside and Complete Tibial Tunnel Techniques. *Orthop. J. Sports Med.* **2019**, *7*, 2325967118820297. <https://doi.org/10.1177/2325967118820297>.
- Kyung, H.-S.; Lee, H.-J.; Oh, C.-W.; Hong, H.-P. Comparison of Results after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using a Four-Strand Single Semitendinosus or a Semitendinosus and Gracilis Tendon. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2015**, *23*, 3238–3243. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3076-4>.
- Lee, D.W.; Shim, J.C.; Yang, S.J.; Cho, S.I.; Kim, J.G. Functional Effects of Single Semitendinosus Tendon Harvesting in Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison of Single versus Dual Hamstring Harvesting. *Clin. Orthop. Surg.* **2019**, *11*, 60. <https://doi.org/10.4055/cios.2019.11.1.60>.
- Orfeuvre, B.; Pailhé, R.; Sharma, A.; Gaillot, J.; Rubens Duval, B.; Saragaglia, D. Independent Clinical Appraisal of the Tape Locking Screw (TLS®) Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Technique Compared with the Hamstring Graft Technique with a Minimum of 12-Month Follow-Up. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* **2019**, *29*, 1271–1276. <https://doi.org/10.1007/s00590-019-02418-2>.
- Kouloumentas, P.; Kavrouidakis, E.; Charalampidis, E.; Kavrouidakis, D.; Triantafyllopoulos, G.K. Superior Knee Flexor Strength at 2 Years with All-inside Short-Graft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction vs a Conventional Hamstring Technique. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2019**, *27*, 3592–3598. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05456-9>.
- Pautasso, A.; Capella, M.; Barberis, L.; Drocco, L.; Giai Via, R.; Bistolfi, A.; Massè, A.; Sabatini, L. All-inside Technique in ACL Reconstruction: Mid-Term Clinical Outcomes and Comparison with AM Technique (Hamstrings and BpTB Grafts). *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* **2021**, *31*, 465–472. <https://doi.org/10.1007/s00590-020-02798-w>.
- Collette, M.; Cassard, X. The Tape Locking Screw Technique (TLS): A New ACL Reconstruction Method Using a Short Hamstring Graft. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* **2011**, *97*, 555–559. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2011.03.016>.
- Orfeuvre, B.; Pailhé, R.; Sigwalt, L.; Rubens Duval, B.; Lateur, G.; Plaweski, S.; Saragaglia, D. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with the Tape Locking Screw (TLS) and a Short Hamstring Graft: Clinical Evaluation of 61 Cases with a Minimum 12 Months' Follow-Up. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* **2018**, *104*, 701–705. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.03.016>.
- Ayzenberg, M.; Arango, D.; Gershkovich, G.E.; Samuel, P.S.; Saing, M. Pullout Strength of a Novel Hybrid Fixation Technique (Tape Locking Screw™) in Soft-Tissue ACL Reconstruction: A Biomechanical Study in Human and Porcine Bone. *Rev. Chir. Orthop. Traumatol.* **2017**, *103*, 404. <https://doi.org/10.1016/j.rcot.2017.02.010>.
- Haber, D.B.; Brook, E.M.; Whitlock, K.; Matzkin, E.G. Predicting Quadrupled Graft Length and Diameter Using Single-Strand Tendon Dimensions in All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.* **2018**, *34*, 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2017.08.257>.
- Lynch, A.D.; Logerstedt, D.S.; Grindem, H.; Eitzen, I.; Hicks, G.E.; Axe, M.J.; Engebretsen, L.; Risberg, M.A.; Snyder-Mackler, L. Consensus Criteria for Defining “Successful Outcome” after ACL Injury and Reconstruction: A Delaware-Oslo ACL Cohort Investigation. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 335–342. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092299>.
- Monaco, E.; Redler, A.; Fabbri, M.; Proietti, L.; Gaj, E.; Daggett, M.; Ferretti, A. Isokinetic Flexion Strength Recovery after ACL Reconstruction: A Comparison between All inside Graft-Link Technique and Full Tibial Tunnel Technique. *Phys. Sportsmed.* **2019**, *47*, 132–135. <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1537535>.

20. Bodkin, S.; Goetschius, J.; Hertel, J.; Hart, J. Relationships of Muscle Function and Subjective Knee Function in Patients after ACL Reconstruction. *Orthop. J. Sports Med.* **2017**, *5*, 232596711771904. <https://doi.org/10.1177/2325967117719041>.
21. Curran, M.T.; Lepley, L.K.; Palmieri-Smith, R.M. Continued Improvements in Quadriceps Strength and Biomechanical Symmetry of the Knee after Postoperative Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation: Is It Time to Reconsider the 6-Month Return-to-Activity Criteria? *J. Athl. Train.* **2018**, *53*, 535–544. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-478-15>.
22. Riesterer, J.; Mauch, M.; Paul, J.; Gehring, D.; Ritzmann, R.; Wenning, M. Relationship between Pre- and Post-Operative Isokinetic Strength after ACL Reconstruction Using Hamstring Autograft. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* **2020**, *12*, 68. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00215-7>.
23. Ithurburn, M.P.; Altenburger, A.R.; Thomas, S.; Hewett, T.E.; Paterno, M.V.; Schmitt, L.C. Young Athletes after ACL Reconstruction with Quadriceps Strength Asymmetry at the Time of Return-to-Sport Demonstrate Decreased Knee Function 1 Year Later. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2018**, *26*, 426–433. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4678-4>.
24. Markström, J.L.; Tengman, E.; Häger, C.K. ACL-Reconstructed and ACL-Deficient Individuals Show Differentiated Trunk, Hip, and Knee Kinematics during Vertical Hops More than 20 Years Post-Injury. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2018**, *26*, 358–367. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4528-4>.
25. Palmieri-Smith, R.M.; Lepley, L.K. Quadriceps Strength Asymmetry after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Joint Biomechanics and Functional Performance at Time of Return to Activity. *Am. J. Sports Med.* **2015**, *43*, 1662–1669. <https://doi.org/10.1177/0363546515578252>.
26. Davies, W.T.; Myer, G.D.; Read, P.J. Is It Time We Better Understood the Tests We Are Using for Return to Sport Decision Making Following ACL Reconstruction? A Critical Review of the Hop Tests. *Sports Med.* **2020**, *50*, 485–495. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01221-7>.
27. Pua, Y.-H.; Mentiplay, B.F.; Clark, R.A.; Ho, J.-Y. Associations Among Quadriceps Strength and Rate-of-Torque Development 6 Weeks Post Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Future Hop and Vertical Jump Performance: A Prospective Cohort Study. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2017**, *47*, 845–852. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7133>.
28. Ryman Augustsson, S.; Ageberg, E. Weaker Lower Extremity Muscle Strength Predicts Traumatic Knee Injury in Youth Female but Not Male Athletes. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* **2017**, *3*, e000222. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000222>.
29. Shimozaki, K.; Nakase, J.; Takata, Y.; Shima, Y.; Kitaoka, K.; Tsuchiya, H. Greater Body Mass Index and Hip Abduction Muscle Strength Predict Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Japanese High School Basketball Players. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2018**, *26*, 3004–3011. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-4888-4>.
30. Logerstedt, D.; Lynch, A.; Axe, M.J.; Snyder-Mackler, L. Pre-Operative Quadriceps Strength Predicts IKDC2000 Scores 6 Months after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Knee* **2013**, *20*, 208–212. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2012.07.011>.
31. Kuenze, C.; Hertel, J.; Saliba, S.; Diduch, D.R.; Weltman, A.; Hart, J.M. Clinical Thresholds for Quadriceps Assessment after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J. Sport Rehabil.* **2015**, *24*, 36–46. <https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0110>.
32. Zwolski, C.; Schmitt, L.C.; Quatman-Yates, C.; Thomas, S.; Hewett, T.E.; Paterno, M.V. The Influence of Quadriceps Strength Asymmetry on Patient-Reported Function at Time of Return to Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am. J. Sports Med.* **2015**, *43*, 2242–2249. <https://doi.org/10.1177/0363546515591258>.
33. Goetschius, J.; Hart, J.M. Knee-Extension Torque Variability and Subjective Knee Function in Patients with a History of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J. Athl. Train.* **2016**, *51*, 22–27. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.1.12>.
34. Paterno, M.V.; Flynn, K.; Thomas, S.; Schmitt, L.C. Self-Reported Fear Predicts Functional Performance and Second ACL Injury after ACL Reconstruction and Return to Sport: A Pilot Study. *Sports Health Multidiscip. Approach* **2018**, *10*, 228–233. <https://doi.org/10.1177/1941738117745806>.
35. Harput, G.; Ozer, H.; Baltaci, G.; Richards, J. Self-Reported Outcomes Are Associated with Knee Strength and Functional Symmetry in Individuals Who Have Undergone Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Hamstring Tendon Autograft. *Knee* **2018**, *25*, 757–764. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.06.007>.
36. Norte, G.E.; Knaus, K.R.; Kuenze, C.; Handsfield, G.G.; Meyer, C.H.; Blemker, S.S.; Hart, J.M. MRI-Based Assessment of Lower-Extremity Muscle Volumes in Patients Before and After ACL Reconstruction. *J. Sport Rehabil.* **2018**, *27*, 201–212. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0141>.
37. Chaput, M.; Palimenio, M.; Farmer, B.; Katsavelis, D.; Bagwell, J.J.; Turman, K.A.; Wichman, C.; Grindstaff, T.L. Quadriceps Strength Influences Patient Function More Than Single Leg Forward Hop During Late-Stage ACL Rehabilitation. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2021**, *16*, 145–155. <https://doi.org/10.26603/001c.18709>.
38. Queen, R.; Dickerson, L.; Ranganathan, S.; Schmitt, D. A Novel Method for Measuring Asymmetry in Kinematic and Kinetic Variables: The Normalized Symmetry Index. *J. Biomech.* **2020**, *99*, 109531. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109531>.
39. Hohmann, E.; Tetsworth, K.; Glatt, V. The Hamstring/Quadriceps Ratio Is an Indicator of Function in ACL-Deficient, but Not in ACL-Reconstructed Knees. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* **2018**, *139*, 91–98. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-3000-3>.
40. Fischer, F.; Fink, C.; Herbst, E.; Hoser, C.; Hepperger, C.; Blank, C.; Gföller, P. Higher Hamstring-to-Quadriceps Isokinetic Strength Ratio during the First Post-Operative Months in Patients with Quadriceps Tendon Compared to Hamstring Tendon Graft Following ACL Reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2018**, *26*, 418–425. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4522-x>.

41. Kim, H.J.; Lee, J.H.; Ahn, S.E.; Park, M.J.; Lee, D.H. Influence of Anterior Cruciate Ligament Tear on Thigh Muscle Strength and Hamstring-to-Quadriceps Ratio: A Meta-Analysis. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0146234. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146234>.
42. Ruas, C.V.; Pinto, R.S.; Haff, G.G.; Lima, C.D.; Pinto, M.D.; Brown, L.E. Alternative Methods of Determining Hamstrings-to-Quadriceps Ratios: A Comprehensive Review. *Sports Med.-Open* **2019**, *5*, 11. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0185-0>.
43. Hewett, T.E.; Myer, G.D.; Ford, K.R.; Paterno, M.V.; Quatman, C.E. Mechanisms, Prediction, and Prevention of ACL Injuries: Cut Risk with Three Sharpened and Validated Tools: ACL Injury Prevention. *J. Orthop. Res.* **2016**, *34*, 1843–1855. <https://doi.org/10.1002/jor.23414>.
44. Kellis, E.; Galanis, N.; Kofotolis, N. Hamstring-to-Quadriceps Ratio in Female Athletes with a Previous Hamstring Injury, Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, and Controls. *Sports* **2019**, *7*, 214. <https://doi.org/10.3390/sports7100214>.
45. Yamanashi, Y.; Mutsuzaki, H.; Iwai, K.; Ikeda, K.; Kinugasa, T. Failure Risks in Anatomic Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction via the Outside-in Tunnel Technique Using a Hamstring Autograft. *J. Orthop.* **2019**, *16*, 504–507. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2019.04.015>.
46. Maffiuletti, N.A. Assessment of hip and knee muscle function in orthopaedic practice and research. *J. Bone Jt. Surg.-Am. Vol.* **2010**, *92*, 220–229. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.00305>.
47. Almeida, G.P.L.; Albano, T.R.; Melo, A.K.P. Hand-held dynamometer identifies asymmetries in torque of the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2019**, *27*, 2494–2501. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5245-3>.
48. Anderson, A.F.; Irrgang, J.J.; Kocher, M.S.; Mann, B.J.; Harrast, J.J. The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: Normative Data. *Am. J. Sports Med.* **2006**, *34*, 128–135. <https://doi.org/10.1177/0363546505280214>.
49. Briggs, K.K.; Steadman, J.R.; Hay, C.J.; Hines, S.L. Lysholm Score and Tegner Activity Level in Individuals with Normal Knees. *Am. J. Sports Med.* **2009**, *37*, 898–901. <https://doi.org/10.1177/0363546508330149>.
50. Hiemstra, L.A.; Webber, S.; MacDonald, P.B.; Kriellaars, D.J. Hamstring and Quadriceps Strength Balance in Normal and Hamstring Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Subjects. *Clin. J. Sport Med.* **2004**, *14*, 274–280. <https://doi.org/10.1097/00042752-200409000-00005>.
51. Coombs, R.; Garbutt, G. Developments in the Use of the Hamstring/Quadriceps Ratio for the Assessment of Muscle Balance. *J. Sports Sci. Med.* **2002**, *1*, 56–62.
52. Hart, J.M.; Pietrosimone, B.; Hertel, J.; Ingersoll, C.D. Quadriceps Activation Following Knee Injuries: A Systematic Review. *J. Athl. Train.* **2010**, *45*, 87–97. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.1.87>.
53. Goerger, B.M.; Marshall, S.W.; Beutler, A.L.; Blackburn, J.T.; Wilckens, J.H.; Padua, D.A. Anterior Cruciate Ligament Injury Alters Preinjury Lower Extremity Biomechanics in the Injured and Uninjured Leg: The JUMP-ACL Study. *Br. J. Sports Med.* **2015**, *49*, 188–195. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092982>.
54. Mirkov, D.M.; Knezevic, O.M.; Maffiuletti, N.A.; Kadija, M.; Nedeljkovic, A.; Jaric, S. Contralateral Limb Deficit after ACL-Reconstruction: An Analysis of Early and Late Phase of Rate of Force Development. *J. Sports Sci.* **2017**, *35*, 435–440. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1168933>.
55. Pamukoff, D.N.; Montgomery, M.M.; Choe, K.H.; Moffit, T.J.; Garcia, S.A.; Vakula, M.N. Bilateral Alterations in Running Mechanics and Quadriceps Function Following Unilateral Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2018**, *48*, 960–967. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.8170>.
56. Zwolski, C.; Schmitt, L.C.; Thomas, S.; Hewett, T.E.; Paterno, M.V. The Utility of Limb Symmetry Indices in Return-to-Sport Assessment in Patients with Bilateral Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am. J. Sports Med.* **2016**, *44*, 2030–2038. <https://doi.org/10.1177/0363546516645084>.
57. Tathcioğlu, E.; Atalağ, O.; Kırmızıgil, B.; Kurt, C.; Acar, M.F. Side-to-Side Asymmetry in Lower Limb Strength and Hamstring-Quadriceps Strength Ratio among Collegiate American Football Players. *J. Phys. Ther. Sci.* **2019**, *31*, 884–888. <https://doi.org/10.1589/jpts.31.884>.
58. Cristiani, R.; Mikkelsen, C.; Forssblad, M.; Engström, B.; Stålmán, A. Only One Patient out of Five Achieves Symmetrical Knee Function 6 Months after Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* **2019**, *27*, 3461–3470. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05396-4>.
59. Romero-Franco, N.; Jiménez-Reyes, P.; Montaña-Munuera, J.A. Validity and Reliability of a Low-Cost Digital Dynamometer for Measuring Isometric Strength of Lower Limb. *J. Sports Sci.* **2017**, *35*, 2179–2184. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1260152>.
60. Mentiplay, B.F.; Perraton, L.G.; Bower, K.J.; Adair, B.; Pua, Y.-H.; Williams, G.P.; McGaw, R.; Clark, R.A. Assessment of Lower Limb Muscle Strength and Power Using Hand-Held and Fixed Dynamometry: A Reliability and Validity Study. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0140822. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140822>.
61. Pfister, P.B.; De Bruin, E.D.; Sterkele, I.; Maurer, B.; De Bie, R.A.; Knols, R.H. Manual Muscle Testing and Hand-Held Dynamometry in People with Inflammatory Myopathy: An Intra- and Interrater Reliability and Validity Study. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0194531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194531>.
62. Jackson, S.M.; Cheng, M.S.; Smith, A.R.; Kolber, M.J. Intrarater Reliability of Hand Held Dynamometry in Measuring Lower Extremity Isometric Strength Using a Portable Stabilization Device. *Musculoskelet. Sci. Pract.* **2017**, *27*, 137–141. <https://doi.org/10.1016/j.math.2016.07.010>.

63. Risberg, M.A.; Steffen, K.; Nilstad, A.; Myklebust, G.; Kristianslund, E.; Moltubakk, M.M.; Krosshaug, T. Normative Quadriceps and Hamstring Muscle Strength Values for Female, Healthy, Elite Handball and Football Players. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 2314–2323. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002579>.
64. Wellsandt, E.; Failla, M.J.; Snyder-Mackler, L. Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2017**, *47*, 334–338. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7285>.
65. Sengoku, T.; Nakase, J.; Asai, K.; Yoshimizu, R.; Sakurai, G.; Yoshida, S.; Yahata, T.; Tsuchiya, H. The effect of gracilis tendon harvesting in addition to semitendinosus tendon harvesting on knee extensor and flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* **2022**, *142*, 465–470. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03877-1>.
66. Li, Z. Efficacy of Repair for ACL Injury: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Int. J. Sports Med.* **2022**, *43*, 827–902. <https://doi.org/10.1055/a-1755-4925>.
67. Sentanin, A.; de Facio, C.; da Silva, M.; Sousa, F.; Arcuri, J.; Mendes, R.; Di Lorenzo, V. Reliability of Quadriceps Femoris Muscle Strength Assessment Using a Portable Dynamometer and Protocol Tolerance in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Phys. Ther.* **2021**, *101*, pzab107. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab107>.
68. Grootswagers, P.; Vaes, A.; Hangelbroek, R.; Tieland, M.; van Loon, L.; de Groot, L. Relative Validity and Reliability of Isometric Lower Extremity Strength Assessment in Older Adults by Using a Handheld Dynamometer. *Sports Health* **2022**, 19417381211063847. <https://doi.org/10.1177/19417381211063847>.

CONCLUSIONES

1. En pacientes con deficiencia del LCA (non-copers) la fuerza del cuádriceps y la relación I/C se correlaciona significativamente con la TTA en ambas extremidades de los pacientes. La puntuación IKDC se correlaciona significativamente con la fuerza del cuádriceps y los isquiotibiales de la extremidad lesionada.
2. Los pacientes con deficiencia del LCA (no-copers) muestran una disminución en la fuerza muscular de la rodilla tanto en la extremidad lesionada como en la no lesionada. Se debe implementar lo antes posible el acondicionamiento de la fuerza muscular en ambas rodillas.
3. Tras una reconstrucción del LCA con técnica TLS la traslación tibial anterior del miembro operado y la función auto informada muestran resultados satisfactorios desde el primer año y estos resultados se mantiene sin deterioro tras 5 años de la intervención.
4. A los 5 años de una RLCA la fuerza flexora de la rodilla es significativamente mayor en pacientes en los que se emplea el semitendinoso aislado que en los pacientes en los que se usa el semitendinoso y gracilis.
5. Tras 5 años de una RLCA los pacientes intervenidos con un solo tendón isquiotibial, mediante técnica TLS, muestran valores significativamente mejores en la puntuación IKDC que los pacientes operados con dos tendones isquiotibiales usando botón cortical femoral y tornillo interferencial en túnel tibial completo.

BIBLIOGRAFÍA

Almeida, G.P.L., Albano, T.R., Melo, A.K.P., 2019. Hand-held dynamometer identifies asymmetries in torque of the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27, 2494–2501.

<https://doi.org/10.1007/s00167-018-5245-3>

Anderson, A.F., Irrgang, J.J., Kocher, M.S., Mann, B.J., Harrast, J.J., Members of the International Knee Documentation Committee, 2006. The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: Normative Data. *Am J Sports Med* 34, 128–135. <https://doi.org/10.1177/0363546505280214>

Andrade, R., Pereira, R., van Cingel, R., Staal, J.B., Espregueira-Mendes, J., 2020. How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). *Br J Sports Med* 54, 512–519. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100310>

Ayzenberg, M., Arango, D., Gershkovich, G.E., Samuel, P.S., Saing, M., 2017. Pullout strength of a novel hybrid fixation technique (Tape Locking ScrewTM) in soft-tissue ACL reconstruction: A biomechanical study in human and porcine bone. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 103, 591–595.

<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.01.006>

Barcellona, M.G., Morrissey, M.C., Milligan, P., Amis, A.A., 2014. The effect of thigh muscle activity on anterior knee laxity in the uninjured and anterior cruciate ligament-injured knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22, 2821–2829.

<https://doi.org/10.1007/s00167-013-2695-5>

Bhimani, R., Shahriarirad, R., Ranjbar, K., Erfani, A., Ashkani-Esfahani, S., 2021. Transportal versus all-inside techniques of anterior cruciate ligament

- reconstruction: a systematic review. *J Orthop Surg Res* 16, 734.
<https://doi.org/10.1186/s13018-021-02872-x>
- Bodkin, S., Goetschius, J., Hertel, J., Hart, J., 2017. Relationships of Muscle Function and Subjective Knee Function in Patients After ACL Reconstruction. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 5, 232596711771904.
<https://doi.org/10.1177/2325967117719041>
- Briggs, K.K., Steadman, J.R., Hay, C.J., Hines, S.L., 2009. Lysholm Score and Tegner Activity Level in Individuals with Normal Knees. *Am J Sports Med* 37, 898–901. <https://doi.org/10.1177/0363546508330149>
- Brown, C., Marinko, L., LaValley, M.P., Kumar, D., 2021. Quadriceps Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Compared With Uninjured Matched Controls: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med* 9, 2325967121991534. <https://doi.org/10.1177/2325967121991534>
- Buckthorpe, M., Danelon, F., La Rosa, G., Nanni, G., Stride, M., Della Villa, F., 2021. Recommendations for Hamstring Function Recovery After ACL Reconstruction. *Sports Med* 51, 607–624. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01400-x>
- Cassard, X., Cavaignac, E., Maubisson, L., 2014. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Children With A Quadrupled Semitendinosus Graft: Preliminary Results With Minimum 2 Years of Follow-up. *J Pediatr Orthop* 34, 8.
- Cavanaugh, J.T., Powers, M., 2017. ACL Rehabilitation Progression: Where Are We Now? *Curr Rev Musculoskelet Med* 10, 289–296.
<https://doi.org/10.1007/s12178-017-9426-3>
- Chee, M.Y.K., Chen, Y., Pearce, C.J., Murphy, D.P., Krishna, L., Hui, J.H.P., Wang, W.E.J., Tai, B.C., Salunke, A.A., Chen, X., Chua, Z.K.H., Satkunanatham, K.,

2017. Outcome of Patellar Tendon Versus 4-Strand Hamstring Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Prospective Randomized Trials. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 33, 450–463.

<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.09.020>

Chia, L., De Oliveira Silva, D., Whalan, M., McKay, M.J., Sullivan, J., Fuller, C.W., Pappas, E., 2022. Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports: A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Med* 52, 2447–2467.

<https://doi.org/10.1007/s40279-022-01697-w>

Collette, M., Cassard, X., 2011. The Tape Locking Screw technique (TLS): A new ACL reconstruction method using a short hamstring graft. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 97, 555–559.

<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2011.03.016>

Comins, J.D., Siersma, V.D., Lind, M., Jakobsen, B.W., Krogsgaard, M.R., 2018. KNEES-ACL has superior responsiveness compared to the most commonly used patient-reported outcome measures for anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26, 2438–2446. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-4961-z>

Connaughton, A.J., Geeslin, A.G., Uggen, C.W., 2017. All-inside ACL reconstruction: How does it compare to standard ACL reconstruction techniques? *Journal of Orthopaedics* 14, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2017.03.002>

Cristiani, R., Mikkelsen, C., Forssblad, M., Engström, B., Stålmán, A., 2019. Only one patient out of five achieves symmetrical knee function 6 months after primary

- anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27, 3461–3470. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05396-4>
- Culvenor, A.G., Girdwood, M.A., Juhl, C.B., Patterson, B.E., Haberfield, M.J., Holm, P.M., Bricca, A., Whittaker, J.L., Roos, E.M., Crossley, K.M., 2022. Rehabilitation after anterior cruciate ligament and meniscal injuries: a best-evidence synthesis of systematic reviews for the OPTIKNEE consensus. *Br J Sports Med* *bjsports-2022-105495*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105495>
- Davies, W.T., Myer, G.D., Read, P.J., 2020. Is It Time We Better Understood the Tests We are Using for Return to Sport Decision Making Following ACL Reconstruction? A Critical Review of the Hop Tests. *Sports Med* 50, 485–495. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01221-7>
- de SA, D., Shanmugaraj, A., Weidman, M., Peterson, D., Simunovic, N., Musahl, V., Ayeni, O., 2018. All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction—A Systematic Review of Techniques, Outcomes, and Complications. *J Knee Surg* 31, 895–904. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1627446>
- Desai, V.S., Anderson, G.R., Wu, I.T., Levy, B.A., Dahm, D.L., Camp, C.L., Krych, A.J., Stuart, M.J., 2019. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Hamstring Autograft: A Matched Cohort Comparison of the All-Inside and Complete Tibial Tunnel Techniques. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 7, 232596711882029. <https://doi.org/10.1177/2325967118820297>
- Dhillon, M.S., Rajnish, R.K., Dhillon, S., Kumar, P., 2021. Is there significant regeneration of the hamstring tendons after harvest for ACL reconstruction? A systematic review of literature. *J Clin Orthop Trauma* 16, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.02.011>

- Diermeier, T., Rothrauff, B.B., Engebretsen, L., Lynch, A.D., Ayeni, O.R., Paterno, M.V., Xerogeanes, J.W., Fu, F.H., Karlsson, J., Musahl, V., Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Rauer, T., Meredith, S.J., Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group, 2020. Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28, 2390–2402. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06012-6>
- Filbay, S.R., Ackerman, I.N., Dhupelia, S., Arden, N.K., Crossley, K.M., 2018. Quality of Life in Symptomatic Individuals After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, With and Without Radiographic Knee Osteoarthritis. *J Orthop Sports Phys Ther* 48, 398–408. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.7830>
- Filbay, S.R., Grindem, H., 2019. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology* 33, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.01.018>
- Fischer, F., Fink, C., Herbst, E., Hoser, C., Hepperger, C., Blank, C., Gföller, P., 2018. Higher hamstring-to-quadriceps isokinetic strength ratio during the first post-operative months in patients with quadriceps tendon compared to hamstring tendon graft following ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26, 418–425. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4522-x>
- Fitzgerald, G.K., Axe, M.J., Snyder-Mackler, L., 2000. A decision-making scheme for returning patients to high-level activity with nonoperative treatment after anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 8, 76–82. <https://doi.org/10.1007/s001670050190>
- Fu, C.-W., Chen, W.-C., Lu, Y.-C., 2020. Is all-inside with suspensory cortical button fixation a superior technique for anterior cruciate ligament reconstruction

- surgery? A systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord* 21, 445. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03471-3>
- Gagnier, J.J., Shen, Y., Huang, H., 2018. Psychometric Properties of Patient-Reported Outcome Measures for Use in Patients with Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Systematic Review. *JBJS Reviews* 6, e5. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.17.00114>
- Goerger, B.M., Marshall, S.W., Beutler, A.I., Blackburn, J.T., Wilckens, J.H., Padua, D.A., 2015. Anterior cruciate ligament injury alters preinjury lower extremity biomechanics in the injured and uninjured leg: the JUMP-ACL study. *Br J Sports Med* 49, 188–195. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092982>
- Gokeler, A., Dingenen, B., Hewett, T.E., 2022. Rehabilitation and Return to Sport Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Where Are We in 2022? *Arthrosc Sports Med Rehabil* 4, e77–e82. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.10.025>
- Grindem, H., Logerstedt, D., Eitzen, I., Moksnes, H., Axe, M.J., Snyder-Mackler, L., Engebretsen, L., Risberg, M.A., 2011. Single-Legged Hop Tests as Predictors of Self-Reported Knee Function in Nonoperatively Treated Individuals With Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med* 39, 2347–2354. <https://doi.org/10.1177/0363546511417085>
- Grooms, D.R., Myer, G.D., 2017. Upgraded hardware—What about the software? Brain updates for return to play following ACL reconstruction. *Br J Sports Med* 51, 418–419. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096658>
- Haber, D.B., Brook, E.M., Whitlock, K., Matzkin, E.G., 2018. Predicting Quadrupled Graft Length and Diameter Using Single-Strand Tendon Dimensions in All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of*

- Arthroscopic & Related Surgery 34, 243–250.
<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2017.08.257>
- Harput, G., Ozer, H., Baltaci, G., Richards, J., 2018. Self-reported outcomes are associated with knee strength and functional symmetry in individuals who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft. *The Knee* 25, 757–764. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.06.007>
- Hart, J.M., Pietrosimone, B., Hertel, J., Ingersoll, C.D., 2010. Quadriceps Activation Following Knee Injuries: A Systematic Review. *Journal of Athletic Training* 45, 87–97. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.1.87>
- Hiemstra, L.A., Webber, S., MacDonald, P.B., Kriellaars, D.J., 2004. Hamstring and Quadriceps Strength Balance in Normal and Hamstring Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Subjects: *Clinical Journal of Sport Medicine* 14, 274–280. <https://doi.org/10.1097/00042752-200409000-00005>
- Hohmann, E., Tetsworth, K., Glatt, V., 2019. The hamstring/quadriceps ratio is an indicator of function in ACL-deficient, but not in ACL-reconstructed knees. *Arch Orthop Trauma Surg* 139, 91–98. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-3000-3>
- Huber, R., Viecelli, C., Bizzini, M., Friesenbichler, B., Dohm-Acker, M., Rosenheck, T., Harder, L., Maffiuletti, N.A., 2019. Knee extensor and flexor strength before and after anterior cruciate ligament reconstruction in a large sample of patients: influence of graft type. *The Physician and Sportsmedicine* 47, 85–90.
<https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1526627>
- Irarrázaval, S., Kurosaka, M., Cohen, M., Fu, F.H., 2016. Anterior cruciate ligament reconstruction. *J ISAKOS* 1, 38–52. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2015-000001>

- Ithurburn, M.P., Altenburger, A.R., Thomas, S., Hewett, T.E., Paterno, M.V., Schmitt, L.C., 2018. Young athletes after ACL reconstruction with quadriceps strength asymmetry at the time of return-to-sport demonstrate decreased knee function 1 year later. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26, 426–433.
<https://doi.org/10.1007/s00167-017-4678-4>
- Ithurburn, M.P., Longfellow, M.A., Thomas, S., Paterno, M.V., Schmitt, L.C., 2019. Knee Function, Strength, and Resumption of Preinjury Sports Participation in Young Athletes Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 49, 145–153. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8624>
- Kaplan, Y., 2011. Identifying Individuals With an Anterior Cruciate Ligament-Deficient Knee as Copers and Noncopers: A Narrative Literature Review. *J Orthop Sports Phys Ther* 41, 758–766. <https://doi.org/10.2519/jospt.2011.3384>
- Kaplan, Y., Witvrouw, E., 2019. When Is It Safe to Return to Sport After ACL Reconstruction? Reviewing the Criteria. *Sports Health* 11, 301–305.
<https://doi.org/10.1177/1941738119846502>
- Keizer, M.N.J., Otten, E., 2019. Passive anterior tibia translation in anterior cruciate ligament-injured, anterior cruciate ligament-reconstructed and healthy knees: a systematic review. *Musculoskelet Surg* 103, 121–130.
<https://doi.org/10.1007/s12306-018-0572-6>
- Khair, M.M., Ghomrawi, H., Wilson, S., Marx, R.G., 2018. Patient and Surgeon Expectations Prior to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *HSS Jnl* 14, 282–285. <https://doi.org/10.1007/s11420-018-9623-7>
- Kim, H.-J., Lee, J.-H., Ahn, S.-E., Park, M.-J., Lee, D.-H., 2016. Influence of Anterior Cruciate Ligament Tear on Thigh Muscle Strength and Hamstring-to-

- Quadriceps Ratio: A Meta-Analysis. PLOS ONE 11, e0146234.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146234>
- Koga, H., Zaffagnini, S., Getgood, A.M., Muneta, T., 2018. ACL graft selection: state of the art. *Journal of ISAKOS* 3, 177–184. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2017-000136>
- Konishi, Y., Fukubayashi, T., Takeshita, D., 2002. Mechanism of quadriceps femoris muscle weakness in patients with anterior cruciate ligament reconstruction: Mechanism of quadriceps femoris muscle weakness. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 12, 371–375. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01293.x>
- Kouloumentas, P., Kavroudakis, E., Charalampidis, E., Kavroudakis, D., Triantafyllopoulos, G.K., 2019. Superior knee flexor strength at 2 years with all-inside short-graft anterior cruciate ligament reconstruction vs a conventional hamstring technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27, 3592–3598. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05456-9>
- Kyung, H.-S., Lee, H.-J., Oh, C.-W., Hong, H.-P., 2015. Comparison of results after anterior cruciate ligament reconstruction using a four-strand single semitendinosus or a semitendinosus and gracilis tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23, 3238–3243. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3076-4>
- Labanca, L., Laudani, L., Mariani, P., Macaluso, A., 2018. Postural Adjustments Following ACL Rupture and Reconstruction: A Longitudinal Study. *Int J Sports Med* 39, 549–554. <https://doi.org/10.1055/a-0599-6401>
- Lam, M.-H., Fong, D.T., Yung, P.S., Ho, E.P., Chan, W.-Y., Chan, K.-M., 2009. Knee stability assessment on anterior cruciate ligament injury: Clinical and

- biomechanical approaches. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 1, 20.
<https://doi.org/10.1186/1758-2555-1-20>
- Lee, D.-H., Lee, J.-H., Jeong, H.-J., Lee, S.-J., 2015. Serial Changes in Knee Muscle Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Hamstring Tendon Autografts. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 31, 890–895. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.12.005>
- Lee, D.W., Shim, J.C., Yang, S.J., Cho, S.I., Kim, J.G., 2019. Functional Effects of Single Semitendinosus Tendon Harvesting in Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison of Single versus Dual Hamstring Harvesting. *Clin Orthop Surg* 11, 60. <https://doi.org/10.4055/cios.2019.11.1.60>
- Logerstedt, D.S., Scalzitti, D., Risberg, M.A., Engebretsen, L., Webster, K.E., Feller, J., Snyder-Mackler, L., Axe, M.J., McDonough, C.M., 2017. Knee Stability and Movement Coordination Impairments: Knee Ligament Sprain Revision 2017: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association. *J Orthop Sports Phys Ther* 47, A1–A47. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.0303>
- Lynch, A.D., Logerstedt, D.S., Grindem, H., Eitzen, I., Hicks, G.E., Axe, M.J., Engebretsen, L., Risberg, M.A., Snyder-Mackler, L., 2015. Consensus criteria for defining ‘successful outcome’ after ACL injury and reconstruction: a Delaware-Oslo ACL cohort investigation. *Br J Sports Med* 49, 335–342.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092299>
- Maestroni, L., Read, P., Turner, A., Korakakis, V., Papadopoulos, K., 2021. Strength, rate of force development, power and reactive strength in adult male athletic populations post anterior cruciate ligament reconstruction - A systematic review

and meta-analysis. *Phys Ther Sport* 47, 91–104.

<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.11.024>

Maffiuletti, N.A., 2010. Assessment of Hip and Knee Muscle Function in Orthopaedic Practice and Research: The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume 92, 220–229. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.00305>

Mariscalco, M.W., Flanigan, D.C., Mitchell, J., Pedroza, A.D., Jones, M.H., Andrish, J.T., Parker, R.D., Kaeding, C.C., Magnussen, R.A., 2013. The Influence of Hamstring Autograft Size on Patient-Reported Outcomes and Risk of Revision After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) Cohort Study. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 29, 1948–1953. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.08.025>

Markström, J.L., Tengman, E., Häger, C.K., 2018. ACL-reconstructed and ACL-deficient individuals show differentiated trunk, hip, and knee kinematics during vertical hops more than 20 years post-injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26, 358–367. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4528-4>

Mather, R.C., Koenig, L., Kocher, M.S., Dall, T.M., Gallo, P., Scott, D.J., Bach, B.R., Spindler, K.P., 2013. Societal and Economic Impact of Anterior Cruciate Ligament Tears: The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume 95, 1751–1759. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01705>

Meuffels, D.E., Favejee, M.M., Vissers, M.M., Heijboer, M.P., Reijman, M., Verhaar, J.A.N., 2009. Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. *British Journal of Sports Medicine* 43, 347–351. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.049403>

- Minzlaff, P., Heidt, T., Feucht, M.J., Plath, J.E., Hinterwimmer, S., Imhoff, A.B., Saier, T., 2018. Patient satisfaction with health is substantially improved following ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26, 582–588.
<https://doi.org/10.1007/s00167-017-4623-6>
- Mirkov, D.M., Knezevic, O.M., Maffiuletti, N.A., Kadija, M., Nedeljkovic, A., Jaric, S., 2017. Contralateral limb deficit after ACL-reconstruction: an analysis of early and late phase of rate of force development. *Journal of Sports Sciences* 35, 435–440. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1168933>
- Monaco, E., Redler, A., Fabbri, M., Proietti, L., Gaj, E., Daggett, M., Ferretti, A., 2019. Isokinetic flexion strength recovery after ACL reconstruction: a comparison between all inside graft-link technique and full tibial tunnel technique. *The Physician and Sportsmedicine* 47, 132–135.
<https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1537535>
- Niki, H., Tatsunami, S., Haraguchi, N., Aoki, T., Okuda, R., Suda, Y., Takao, M., Tanaka, Y., 2013. Validity and reliability of a self-administered foot evaluation questionnaire (SAFE-Q). *Journal of Orthopaedic Science* 18, 298–320.
<https://doi.org/10.1007/s00776-012-0337-2>
- Norte, G.E., Knaus, K.R., Kuenze, C., Handsfield, G.G., Meyer, C.H., Blemker, S.S., Hart, J.M., 2018. MRI-Based Assessment of Lower-Extremity Muscle Volumes in Patients Before and After ACL Reconstruction. *Journal of Sport Rehabilitation* 27, 201–212. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0141>
- Orfeuvre, B., Pailhé, R., Sharma, A., Gaillot, J., Rubens Duval, B., Saragaglia, D., 2019. Independent clinical appraisal of the Tape Locking Screw (TLS®) anterior cruciate ligament reconstruction technique compared with the hamstring

- graft technique with a minimum of 12-month follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 29, 1271–1276. <https://doi.org/10.1007/s00590-019-02418-2>
- Orfeuvre, B., Pailhé, R., Sigwalt, L., Rubens Duval, B., Lateur, G., Plaweski, S., Saragaglia, D., 2018. Anterior cruciate ligament reconstruction with the Tape Locking Screw (TLS) and a short hamstring graft: Clinical evaluation of 61 cases with a minimum 12 months' follow-up. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 104, 701–705. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.03.016>
- Palmieri-Smith, R.M., Lepley, L.K., 2015. Quadriceps Strength Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Joint Biomechanics and Functional Performance at Time of Return to Activity. *Am J Sports Med* 43, 1662–1669. <https://doi.org/10.1177/0363546515578252>
- Palmieri-Smith, R.M., Thomas, A.C., 2009. A neuromuscular mechanism of posttraumatic osteoarthritis associated with ACL injury. *Exerc Sport Sci Rev* 37, 147–153. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181aa6669>
- Pamukoff, D.N., Montgomery, M.M., Choe, K.H., Moffit, T.J., Garcia, S.A., Vakula, M.N., 2018. Bilateral Alterations in Running Mechanics and Quadriceps Function Following Unilateral Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 48, 960–967. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.8170>
- Paterno, M.V., 2017. Non-operative Care of the Patient with an ACL-Deficient Knee. *Curr Rev Musculoskelet Med* 10, 322–327. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9431-6>
- Pautasso, A., Capella, M., Barberis, L., Drocco, L., Gai Via, R., Bistolfi, A., Massè, A., Sabatini, L., 2021. All-inside technique in ACL reconstruction: mid-term clinical outcomes and comparison with AM technique (Hamstrings and BpTB

grafts). *Eur J Orthop Surg Traumatol* 31, 465–472.

<https://doi.org/10.1007/s00590-020-02798-w>

Piedade, S.R., Leite Arruda, B.P., Antunes de Vasconcelos, R., Parker, D.A., Maffulli, N., 2022. Rehabilitation And Advances In Surgical Reconstruction For Anterior Cruciate Ligament Insufficiency: What Has Changed Since The 1960s? - State Of The Art. *Journal of ISAKOS* S2059775422000943.

<https://doi.org/10.1016/j.jisako.2022.10.001>

Poehling-Monaghan, K.L., Salem, H., Ross, K.E., Secrist, E., Ciccotti, M.C., Tjoumakaris, F., Ciccotti, M.G., Freedman, K.B., 2017. Long-Term Outcomes in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of Patellar Tendon Versus Hamstring Autografts. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 5, 232596711770973. <https://doi.org/10.1177/2325967117709735>

Pouderoux, T., Muller, B., Robert, H., 2020. Joint laxity and graft compliance increase during the first year following ACL reconstruction with short hamstring tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28, 1979–1988.

<https://doi.org/10.1007/s00167-019-05711-z>

Pua, Y.-H., Mentiplay, B.F., Clark, R.A., Ho, J.-Y., 2017. Associations Among Quadriceps Strength and Rate-of-Torque Development 6 Weeks Post Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Future Hop and Vertical Jump Performance: A Prospective Cohort Study. *J Orthop Sports Phys Ther* 1–24.

<https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7133>

Queen, R., Dickerson, L., Ranganathan, S., Schmitt, D., 2020. A novel method for measuring asymmetry in kinematic and kinetic variables: The normalized symmetry index. *Journal of Biomechanics* 99, 109531.

<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109531>

- Rambaud, A.J., Neri, T., Dingenen, B., Parker, D., Servien, E., Gokeler, A., Edouard, P., 2022. The modifying factors that help improve anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: A narrative review. *Ann Phys Rehabil Med* 65, 101601. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2021.101601>
- Riesterer, J., Mauch, M., Paul, J., Gehring, D., Ritzmann, R., Wenning, M., 2020. Relationship between pre- and post-operative isokinetic strength after ACL reconstruction using hamstring autograft. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 12, 68. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00215-7>
- Robert, H., Bowen, M., Odry, G., Collette, M., Cassard, X., Lanternier, H., De Polignac, T., 2015. A comparison of four tibial-fixation systems in hamstring-graft anterior ligament reconstruction. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 25, 339–347. <https://doi.org/10.1007/s00590-014-1473-5>
- Robert, H., Nouveau, S., Gageot, S., Gagnière, B., 2009. A new knee arthrometer, the GNRB: experience in ACL complete and partial tears. *Orthop Traumatol Surg Res* 95, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2009.03.009>
- Rodriguez, K.M., Palmieri-Smith, R.M., Krishnan, C., 2021. How does anterior cruciate ligament reconstruction affect the functioning of the brain and spinal cord? A systematic review with meta-analysis. *J Sport Health Sci* 10, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.07.005>
- Ruano, J.S., Sitler, M.R., Driban, J.B., 2017. Prevalence of Radiographic Knee Osteoarthritis After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, With or Without Meniscectomy: An Evidence-Based Practice Article. *Journal of Athletic Training* 52, 606–609. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.2.14>
- Ruas, C.V., Pinto, R.S., Haff, G.G., Lima, C.D., Pinto, M.D., Brown, L.E., 2019. Alternative Methods of Determining Hamstrings-to-Quadriceps Ratios: a

Comprehensive Review. *Sports Medicine - Open* 5, 11.

<https://doi.org/10.1186/s40798-019-0185-0>

Saltzman, B.M., Cvetanovich, G.L., Nwachukwu, B.U., Mall, N.A., Bush-Joseph, C.A.,

Bach, B.R., 2016. Economic Analyses in Anterior Cruciate Ligament

Reconstruction: A Qualitative and Systematic Review. *Am J Sports Med* 44,

1329–1335. <https://doi.org/10.1177/0363546515581470>

Saueressig, T., Braun, T., Steglich, N., Diemer, F., Zebisch, J., Herbst, M., Zinser, W.,

Owen, P.J., Belavy, D.L., 2022. Primary surgery versus primary rehabilitation

for treating anterior cruciate ligament injuries: a living systematic review and

meta-analysis. *Br J Sports Med* 56, 1241–1251. [https://doi.org/10.1136/bjsports-](https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105359)

[2021-105359](https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105359)

Sharma, A., Flanigan, D.C., Randall, K., Magnussen, R.A., 2016. Does Gracilis

Preservation Matter in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A

Systematic Review. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related*

Surgery 32, 1165–1173. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.027>

Sherman, D.A., Glaviano, N.R., Norte, G.E., 2021. Hamstrings Neuromuscular

Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic

Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 51, 1751–1769.

<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01433-w>

Smith, T.O., Postle, K., Penny, F., McNamara, I., Mann, C.J.V., 2014. Is reconstruction

the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A

systematic review and meta-analysis comparing anterior cruciate ligament

reconstruction versus non-operative treatment. *Knee* 21, 462–470.

<https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.10.009>

- Sonnery-Cottet, B., Saithna, A., Quelard, B., Daggett, M., Borade, A., Ouanezar, H., Thauinat, M., Blakeney, W.G., 2019. Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *Br J Sports Med* 53, 289–298. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098401>
- Suydam, S.M., Cortes, D.H., Axe, M.J., Snyder-Mackler, L., Buchanan, T.S., 2017. Semitendinosus Tendon for ACL Reconstruction: Regrowth and Mechanical Property Recovery. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 5, 232596711771294. <https://doi.org/10.1177/2325967117712944>
- Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Webster, K.E., Karlsson, J., Diermeier, T., Rothrauff, B.B., Meredith, S.J., Rauer, T., Irrgang, J.J., Spindler, K.P., Ma, C.B., Musahl, V., 2020. Clinical outcomes after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Injury Clinical Outcomes Consensus Group. *Journal of ISAKOS* 5, 281–294. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2020-000494>
- Tatlıcıoğlu, E., Atalağ, O., Kırmızıgil, B., Kurt, C., Acar, M.F., 2019. Side-to-side asymmetry in lower limb strength and hamstring-quadriceps strength ratio among collegiate American football players. *J Phys Ther Sci* 31, 884–888. <https://doi.org/10.1589/jpts.31.884>
- Tuca, M., Valderrama, I., Eriksson, K., Tapasvi, S., 2022. Current trends in ACL surgery. A worldwide benchmark study. *Journal of ISAKOS* S2059775422000840. <https://doi.org/10.1016/j.jisako.2022.08.009>
- van Yperen, D.T., Reijman, M., van Es, E.M., Bierma-Zeinstra, S.M.A., Meuffels, D.E., 2018. Twenty-Year Follow-up Study Comparing Operative Versus Nonoperative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Ruptures in High-Level Athletes. *Am J Sports Med* 46, 1129–1136. <https://doi.org/10.1177/0363546517751683>

- Vertullo, C.J., Cadman, J., Dabirrahmani, D., Appleyard, R., 2018. Can tape–screw fixation of a quadrupled semitendinosus graft in a full-length tibial tunnel provide superior fixation compared with a doubled semitendinosus–gracilis held with an interference screw? A matched-pair cadaveric biomechanical comparison. *J Orthop Traumatol* 19, 11. <https://doi.org/10.1186/s10195-018-0495-x>
- Webster, K.E., Feller, J.A., 2019. A research update on the state of play for return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Traumatol* 20, 10. <https://doi.org/10.1186/s10195-018-0516-9>
- Webster, K.E., Hewett, T.E., 2019. What is the Evidence for and Validity of Return-to-Sport Testing after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 49, 917–929. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01093-x>
- Wellsandt, E., Failla, M.J., Axe, M.J., Snyder-Mackler, L., 2018. Does Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Improve Functional and Radiographic Outcomes Over Nonoperative Management 5 Years After Injury? *Am J Sports Med* 46, 2103–2112. <https://doi.org/10.1177/0363546518782698>
- Wellsandt, E., Failla, M.J., Snyder-Mackler, L., 2017. Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Orthop Sports Phys Ther* 47, 334–338. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7285>
- Whittaker, J.L., Woodhouse, L.J., Nettel-Aguirre, A., Emery, C.A., 2015. Outcomes associated with early post-traumatic osteoarthritis and other negative health consequences 3–10 years following knee joint injury in youth sport. *Osteoarthritis and Cartilage* 23, 1122–1129. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2015.02.021>

- Widner, M., Dunleavy, M., Lynch, S., 2019. Outcomes Following ACL Reconstruction Based on Graft Type: Are all Grafts Equivalent? *Curr Rev Musculoskelet Med* 12, 460–465. <https://doi.org/10.1007/s12178-019-09588-w>
- Wright, R.W., 2009. Knee injury outcomes measures. *J Am Acad Orthop Surg* 17, 31–39. <https://doi.org/10.5435/00124635-200901000-00005>
- Yamazaki, S., Yasuda, K., Tomita, F., Minami, A., Tohyama, H., 2006. The effect of intraosseous graft length on tendon-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction using flexor tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14, 1086–1093. <https://doi.org/10.1007/s00167-006-0110-1>
- Zwolski, C., Schmitt, L.C., Thomas, S., Hewett, T.E., Paterno, M.V., 2016. The Utility of Limb Symmetry Indices in Return-to-Sport Assessment in Patients With Bilateral Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 44, 2030–2038. <https://doi.org/10.1177/0363546516645084>