



**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

FACULDADE DE CIENCIAS DA SAÚDE

**MESTRADO EN ASISTENCIA E INVESTIGACIÓN SANITARIA**

**ESPECIALIDADE: INVESTIGACIÓN CLÍNICA**

Curso académico 2022-23

TRABALLO DE FIN DE MESTRADO

**Comparación de capacidades físicas en  
pacientes con diferentes tipos de  
ligamentoplastia del ligamento cruzado  
anterior.**

Carlos Rivas Senra

Julio 2023

Titores: Dra. María Amalia Jácome Pumar e Dr. Rafael Arriaza Loureda

# ÍNDICE

RESUMEN .....	6
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1. Receso anatómico.....	9
1.2. Prevalencia y factores de riesgo .....	9
1.3. Vuelta al deporte y riesgo de relesión .....	11
1.4. La reconstrucción del LCA .....	12
1.5. Tests de “return to play” y análisis de “ground reaction forces” .....	14
1.6. Análisis del salto vertical mediante softwares informáticos .....	16
2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	17
3. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	18
4. BIBLIOGRAFÍA MÁS RELEVANTE .....	20
5. OBJETIVOS.....	22
5.1 Objetivo general .....	22
5.2 Objetivos específicos .....	22
6 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	23
7. HIPÓTESIS.....	23
8. MATERIAL Y MÉTODOS.....	24
8.1. Tipo de estudio.....	24
8.2. Ámbito de estudio.....	24
8.3. Periodo de estudio .....	24
8.4. Población de estudio .....	24
8.5. Criterios de selección .....	25
8.6. Selección de la muestra .....	26

8.7. Justificación del tamaño muestral .....	27
8.8. Descripción de las variables a estudiar .....	27
8.9. Mediciones e intervención .....	28
8.9.1. Cuestionario de línea base .....	29
8.9.2. Tests físicos.....	30
8.10. Análisis estadístico .....	38
9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	38
10. POSICIÓN DEL INVESTIGADOR .....	39
11. ASPECTOS ÉTICO-LEGALES .....	40
12. CRONOGRAMA Y PLAN DE TRABAJO .....	41
13. APLICABILIDAD DEL ESTUDIO .....	43
14. PLAN DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS .....	44
15. MEMORIA ECONÓMICA.....	45
15.1. Recursos necesarios.....	45
15.2. Posibles fuentes de financiación .....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	56
Anexo 1: Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ).....	56
Anexo 2: Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK-11).....	58
Anexo 3: Hoja de información y consentimiento informado.....	59
Anexo 4: Carta al Comité de Ética .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sintaxis y resultados de la búsqueda bibliográfica en Pubmed .	19
Tabla 2: Variables del estudio.....	27
Tabla 3: Plan de trabajo.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Placas de fuerza VALD ForceDecks.....	31
Figura 2: Datos gráficos del CMJ. La línea azul representa la fuerza ejercida por la pierna derecha contra la placa; la línea naranja, a la izquierda; la línea blanca representa la suma de las dos. ....	32
Figura 3: Datos recogidos por el software de VALD Performance durante la ejecución de un CMJ. El primer dato representa el pico de fuerza en la fase concéntrica del salto. El segundo, el pico de fuerza en la primera fase excéntrica. El tercero, en la segunda fase excéntrica o aterrizaje. ....	33
Figura 4: Secuencia del CMJ: a) Posición inicial. b) 1ª fase excéntrica. c) Fase concéntrica d) Fase de vuelo. e) Fase de aterrizaje o 2ª fase excéntrica .....	35
Figura 5: Secuencia del DJ: a) Posición inicial. b) 1ª fase excéntrica. c) Fase concéntrica d) Fase de vuelo. e) Fase de aterrizaje o 2ª fase excéntrica.	36
Figura 6: Secuencia del SLJ: a) Posición inicial. b) 1ª fase excéntrica. c) Fase concéntrica d) Fase de vuelo. e) Fase de aterrizaje o 2ª fase excéntrica. ....	37

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

LCA	Ligamento cruzado anterior
GRF	Fuerza de reacción del suelo ( <i>ground reaction force</i> )
RTS	Vuelta al deporte ( <i>return to sport</i> )
LSI	<i>Limb symmetry index</i>
HTH	Plastia de hueso-tendón-hueso
TST	Plastia del tendón del semitendinoso
CMJ	<i>Counter-movement Jump</i>
DJ	<i>Drop Jump</i>
SLJ	<i>Single leg Jump</i>
TSK-11	<i>Tampa Scale for Kinesiophobia-11</i>
IPAQ	<i>International Physical Activity Questionnaire</i>
UDC	Universidade da Coruña
MET	Unidad metabólica de reposo
AEA-SEROD	Asociación Española de Artroscopia – Sociedad Española de Rodilla
CAEIG	Comité Autonómico de Ética de la Investigación de Galicia
AEF	Asociación Española de Fisioterapeutas
WCSPT	World Congress of Sports Physical Therapy
IFSPT	Federación Internacional de Fisioterapia Deportiva
PFIS	Contratos predoctorales de formación en investigación en salud
ISCIll	Instituto Carlos III

# RESUMEN

## Introducción

La lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más comunes de rodilla en el deporte. Supone grandes repercusiones físicas para el/la deportista y económicas para la entidad deportiva a la que está vinculado. Los tests de *return to sport* (RTS) utilizados, parecen no ser tan fiables como se creía para determinar el índice de relesión. Además, no hay un consenso de qué plastia es mejor usar en personas que practiquen deportes multidireccionales. Es por ello que es necesario establecer un criterio sobre qué tipo de plastia utilizar en base a gestos que se realicen en deportes multidireccionales, como son los saltos.

## Objetivo

Realizar un proyecto de investigación en el que se comparen las fuerzas reactivas contra el suelo en tres saltos verticales, en sujetos con plastia hueso-tendón-hueso (HTH), sujetos con plastia del tendón del semitendinoso (TST) y controles sanos.

## Materiales y métodos

Se expone el protocolo de un estudio comparativo. La muestra está formada por 22 participantes con plastia HTH, 22 participantes con plastia TST y 22 controles sanos. Se medirán tres tipos de salto vertical: el *Counter-movement Jump* (CMJ), el *Single leg Jump* (SLJ) y el *Drop Jump* (DJ). Se realizarán dos mediciones en los grupos de casos: una a los 9 meses después de la operación y otra a los 12. Las variables principales serán el pico de *ground reaction force* (GRF) en la fase concéntrica y las dos fases excéntricas de los tres saltos y el porcentaje de asimetría entre miembros inferiores. Además, se medirá el grado de kinesiofobia por cada grupo con la *Tampa Scale for Kinesiophobia-11* (TSK-11).

# RESUMO

## Introdución

A lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) é unha das lesións máis comúns de xeonllo no deporte. Supón grandes repercusións físicas para o/a deportista e económicas para a entidade deportiva á que está vinculado. Os tests de *return to sport* (RTS) utilizados, parecen non ser tan fiables como se creía para determinar o índice de relesión. Ademais, non hai un consenso de que plastia é mellor usar en persoas que practiquen deportes multidireccionais. É por iso que é necesario establecer un criterio sobre o tipo de plastia a utilizar en base a xestos que se realicen en deportes multidireccionais, como son os saltos.

## Obxectivo

Realizar un proxecto de investigación no que se comparen as forzas reactivas contra o chan en tres saltos verticais, en suxeitos con plastia óso-tendón-óso (HTH), suxeitos con plastia do tendón do semitendinoso (TST) e controis sans.

## Materiais e métodos

Exponse o protocolo dun estudo comparativo. A mostra está formada por 22 participantes con plastia HTH, 22 participantes con plastia TST e 22 controis sans. Mediranse tres tipos de salto vertical: o *Counter-movement Jump* (CMJ), o *Single leg Jump* (SLJ) e o *Drop Jump* (DJ). Realizaranse dúas medicións nos grupos de casos: unha aos 9 meses despois da operación e outra aos 12. As variables principais serán o pico de *ground reaction force* (GRF) na fase concéntrica e nas dúas fases excéntricas dos tres saltos e a porcentaxe de asimetría entre membros inferiores. Ademais, medirase o grao de kinesiofobia por cada grupo coa *Tampa Scale for Kinesiophobia-11* (TSK-11).

# ABSTRACT

## **Introduction**

Anterior cruciate ligament (ACL) injury is one of the most common knee injuries in sports. It involves great physical repercussions for the athlete and economic repercussions for the sports entity to which he is linked. The *return to sport* (RTS) tests used do not appear to be as reliable as previously believed to determine the rate of reinjury. In addition, there is no consensus on which graft is better to use in people who practice multidirectional sports. That is why I need to establish a criterion on what type of graft to use based on gestures that are performed in multidirectional sports, such as jumps.

## **Objective**

Carry out a research project in which the reactive forces against the ground are compared in three vertical jumps, in subjects with bone-tendon-bone graft (HTH), subjects with semitendinosus tendon graft (TST) and healthy controls.

## **Materials and methods**

The protocol of a comparative study is exposed. The sample consists of 22 participants with HTH graft, 22 participants with TST graft and 22 healthy controls. Three types of vertical jump will be measured: the Counter-movement Jump (CMJ), the Single leg Jump (SLJ) and the Drop Jump (DJ). Two measurements will be made in the case groups: one at 9 months after the intervention and another at 12 months. The main variables will be the peak of ground reaction force (GRF) in the concentric phase and the two eccentric phases of the three jumps and the percentage of asymmetry between lower limbs. In addition, the degree of kinesiophobia for each group will be measured with the Tampa Scale for Kinesiophobia-11 (TSK-11).

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Receso anatómico

El ligamento cruzado anterior (LCA) ha sido descrito como una estructura que conecta la tibia con el fémur. Se origina en el platillo tibial y continúa posteriormente hasta alcanzar la porción posteromedial del cóndilo femoral lateral. Tiene su propia membrana sinovial, pero se sigue considerando una estructura intra-articular.(1)

Se ha estudiado que el ligamento cruzado anterior puede no tener sólo dos haces (anteromedial y posterolateral), sino que puede tener 3 (anterolateral, intermedio y posterolateral) e incluso, sólo 1, en el 26% de las personas.(1) Está irrigado por la arteria geniculada media, aunque, en ocasiones, puede recibir irrigación de las arterias geniculadas inferiores. Recibe inervación del nervio tibial, cuyas terminaciones nerviosas penetran la cápsula posterior y llegan hasta el LCA. Esta inervación es lo que le proporciona mecanorreceptores y contribuye a esa importante función propioceptiva.(2)

Funcionalmente, el LCA tiene varios cometidos: previene la translación anterior de la tibia con respecto al fémur, actúa como estabilizador secundario ante la rotación interna tibial y ante el valgo de rodilla. En flexión completa, su haz anteromedial se ve tensado, mientras que el haz posterolateral, lo hace en extensión. Por tanto, el perder el LCA tiende a suponer una mayor translación anterior de la tibia y, a su vez, una mayor inestabilidad de rodilla.(1)

## 1.2. Prevalencia y factores de riesgo

La lesión de LCA es una de las lesiones más comunes de rodilla en el deporte. En EEUU, aproximadamente se producen 250.000 lesiones de LCA al año, de las que se realizan unas 100.000 reconstrucciones. Son más comunes en individuos jóvenes y deportistas, especialmente en mujeres. Aproximadamente el 50% de los pacientes que se han lesionado

del LCA, presentarán signos de osteoartritis a los 10-20 años, se hayan operado o no.(3)

Aproximadamente las tres cuartas partes de las lesiones de LCA son sin contacto directo. Se postula que una carga axial o compresiva excesiva (como al aterrizar de un salto) puede causar un desplazamiento anterior de la tibia, debido a una mala absorción de las fuerzas de reacción del suelo o *ground reaction forces* (GRFs, por sus siglas en inglés), provocando así una lesión del LCA. En condiciones normales, durante un aterrizaje o una deceleración, el pie y tobillo, rodilla y cadera/tronco, absorben las GRFs de manera segura.(4)

El mecanismo más frecuente de lesión de LCA es el aterrizaje con la rodilla en abducción (por ejemplo, con el valgo de rodilla) y con rotación interna. El LCA también puede lesionarse en cambios de dirección o giros.(4). En la mayoría de lesiones tras un aterrizaje, se produce una disminución en la flexión dorsal de tobillo al impactar.(4)

En un estudio realizado con jugadores de baloncesto se observaron 3 mecanismos durante el aterrizaje: "single-leg casting", en el que se produce un apoyo monopodal con una flexión plantar de tobillo limitada; un apoyo bipodal en el que se trata de lograr una deceleración; y una caída a una pierna tras un contacto indirecto en el aire, en el que se produce una inclinación de tronco ipsilateral excesiva y una abducción de más de 100° de la cadera contralateral a la pierna lesionada. Además, se observó una rotación interna tibiofemoral en el 66% de los casos.(5)

Las mujeres tienen entre 2 y 8 veces más posibilidades de sufrir una lesión de LCA en deportes como el fútbol, baloncesto y voleibol.(6) Esto puede ser debido a un aumento de valgo de rodilla o momento abductor, laxitud ligamentaria generalizada, recurvatum de rodilla, el tamaño del propio LCA y los efectos hormonales de los estrógenos.(4)

### **1.3. Vuelta al deporte y riesgo de relesión**

Cuando hablamos de volver al deporte o el “return to sport” (RTS), la regla del +90% en el “Limb Symmetry Index” (LSI), que es un ratio entre miembros operado y sano que se calcula hallando la media de diversos tests, es altamente cuestionable, porque los tests de rendimiento pueden no ser suficientemente demandantes ni sensibles para identificar diferencias entre el miembro operado y el no operado.(7) Si bien es cierto, en una revisión se obtuvo que sólo el 19.6% de los pacientes adquirieron una simetría de la rodilla superior al 90% entre los dos miembros a los 6 meses, medido con el LSI.(8)

El índice de relesiones de LCA se reduce en un 51% por cada mes que retrasamos el RTS hasta los 9 meses después de la cirugía, después de los cuales, no se ha observado un menor riesgo de segunda lesión. Usando esta simple regla, es posible reducir el riesgo de una segunda lesión en un 84%. Esto hace que la vuelta al deporte se retrase, preferiblemente, hasta los 9 meses tras una reconstrucción de LCA, al contrario de lo que se hacía clásicamente, cuando el RTS lo hacían a los 4-6 meses.(7)

Las mujeres tienen un 10.7% de posibilidades de sufrir una segunda lesión de LCA en la pierna ipsilateral y un 11.8% en la contralateral (22.8% en total), los hombres, un 12.0% en la ipsilateral y un 8.7% en la contralateral (20.3% en total)(9), aunque hay estudios previos que determinan que el riesgo de sufrir una segunda lesión de LCA en el miembro contralateral es el doble de probable que en el ya operada (11.8% en la contralateral, frente a 5.8% en la ipsilateral).(10)

Comparando varios deportes con y sin contacto, se ha visto que el riesgo de lesiones de LCA es aproximadamente de 1 por cada 10.000 horas de exposición al ejercicio en mujeres atletas adolescentes, lo que indica que es casi 1.5 veces más probable este tipo de lesión que en sus homólogos masculinos.(11)

#### **1.4. La reconstrucción del LCA**

Aunque recientemente se ha visto que existe un tratamiento conservador efectivo para la reparación del LCA, el tratamiento quirúrgico sigue siendo la primera elección en muchos casos.(12) En un estudio prospectivo a 20 años, en 180 atletas con reconstrucción de LCA, se estudió la incidencia lesional de la pierna no operada y se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre haberse operado con la plastia hueso-tendón-hueso (HTH) (30%) y haberse operado con una plastia hecha con el tendón del semitendinoso (TST) (14%).(13)

Grandes asimetrías entre miembros durante los aterrizajes y la estabilidad postural están asociados con una segunda lesión de LCA con una excelente sensibilidad (92%) y especificidad (88%), en una muestra de 56 pacientes.(14) En una revisión reciente se pudo ver que los pacientes con plastia HTH tienen más riesgo de tener dolor de rodilla, pero no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en el uso de una u otra plastia.(15)

La plastia HTH altera, obviamente, las propiedades del tendón rotuliano, lo que puede influir en una pobre función neuromuscular del cuádriceps. La plastia HTH está asociada con una incidencia mayor de osteoartritis, que se asocia con una marcha patológica.(16) Con la plastia HTH se observaron latencias en la actividad del vasto interno durante la marcha incluso 2 años más tarde de la operación, con lo que se puede relacionar con una inestabilidad dinámica de la rodilla.(16)

Se postula que el uso de la plastia HTH proveniente de la pierna contralateral a la lesionada es más efectiva cuando medimos el pico de fuerza de extensión de rodilla, en comparación con la plastia proveniente de la ipsilateral. Además, presentaban mayor simetría después de 4 meses en el rendimiento y activación del músculo cuádriceps.(17)

En una revisión sistemática, se comparan las tasas de relesión de diferentes tipos de plastias (HTH, TST, tendón cuadriceps) y no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas.(18)

En otra revisión sistemática con metaanálisis, en la que se comparaban los mismos tipos de plastias (medián re-rotura, estabilidad lado a lado) , tampoco se encontraron diferencias, excepto en la morbilidad en el área de extracción de la plastia, que fue menor en la plastia de tendón cuadricipital.(19)

Comparando resultados de fallo de la plastia en mujeres jóvenes (menores de 25 años), la plastia de elección parece ser la HTH, porque presenta menor tasa de relesión. Aun así, los resultados si les preguntamos a las pacientes, parecen ser parecidos y el estado de evidencia actual acerca del tema es muy bajo.(20)

No se pueden hacer recomendaciones del uso de una u otra plastia si tenemos en cuenta la vuelta al nivel previo de actividad física al año de seguimiento. Aun así, la plastia HTH suele presentar mejores ratios en el pivot shift test.(21)

En términos de estabilidad postoperativa, cambios radiológicos de osteoartritis, la plastia HTH y la TST son comparables. En cuanto a dolor anterior de rodilla, dolor al arrodillarse, pérdida de extensión, la reconstrucción hecha con la plastia HST parece una mejor elección, pero se ha encontrado una mayor incidencia de fallo de la plastia.(22)

La plastia HTH fue asociada con unos menores resultados funcionales a los 5 años de seguimiento, además de una frecuencia aumentada de las complicaciones en la zona de extracción de la plastia (tendón rotuliano). En contraste, la laxitud de la rodilla en el corto plazo era mayor en la plastia TST, que se espera mejorar siendo más conservadores durante la rehabilitación.(23)

Los pacientes con plastias TST mostraron una laxitud de rodilla post quirúrgica, una traslación tibial en tests clínicos y un ratio más alto de fallos quirúrgicos (definido como el desplazamiento lateral postquirúrgico de la rodilla) significativamente incrementados en comparación con el grupo HTH.(24)

## **1.5. Tests de “return to play” y análisis de “ground reaction forces”**

Se ha visto que la asimetría de las fuerzas de aterrizaje, medido como GFRs tanto en el “Counter-movement jump” (CMJ) como en el “Drop Jump” (DJ), siendo ambos saltos verticales, pueden ser marcadores de déficits residuales asociados con lesiones previas de miembro inferior en jugadores profesionales de fútbol.(25) También se ha visto que las asimetrías en las GRFs verticales pueden ser indicadores de asimetrías en la cinemática de la rodilla y, por tanto, pueden ser útiles para optimizar los resultados de la rehabilitación y minimizar los ratios de relesión.(26)

Aunque los tests de salto realizados en clínica, tales como el side hop test o el single leg jump test (SLJ), son útiles en ese contexto, en ocasiones, cuando el paciente pretende volver a su nivel previo de rendimiento, se necesitan tests más complejos. La relación entre la evaluación subjetiva de los paciente y la función de la rodilla medida con tests clínicos, es débil. Estudios previos han mostrado asimetrías durante movimientos unilaterales o bilaterales, a pesar de la vuelta al deporte.(27)

En un estudio piloto en el que se realizaban mediciones de picos de fuerza durante saltos verticales, se hizo una distinción entre fase excéntrica y fase concéntrica del movimiento y se midieron GRFs en cada fase. Se obtuvieron asimetrías estadísticamente significativas entre el miembro operado y el sano en la fase concéntrica del CMJ y en la fase final del “squat jump” (SJ) en corredores de esquí alpino con reconstrucción de LCA, en comparación con controles sanos.(28) Otro estudio reveló diferencias en la duración de la fase propulsiva durante saltos verticales bilaterales en jugadoras de balonmano con reconstrucción de LCA a los 6 años de la cirugía.(29)

Un estudio prospectivo evaluó una batería de tests frecuentemente utilizados para determinar si el deportista está preparado para el RTS

después de una reconstrucción de LCA y no encontraron asociación entre alcanzar una simetría de más del 90% en varios tests de salto (single leg hop test, single leg triple hop y el 6m timed hop) con una reducción del ratio de relesiones de LCA.(30) Una revisión sistemática, encuentra que hay resultados equívocos en los tests actuales de RTS con respecto a la reducción de una segunda lesión de LCA en la pierna operada o en la contralateral, que no hay consenso entre estudios, y que en muy pocas ocasiones, los clínicos pasan los tests de RTS (en un 23% de los casos). Por lo tanto, es necesaria más investigación al respecto.(31) En otra revisión, directamente no se encontraron asociaciones estadísticamente significativas entre pasar los criterios del RTS y tener o no una segunda lesión de LCA. Además, se determina que existe una urgencia de desarrollar un criterio efectivo de RTS.(32)

Las medidas gold standard, como la dinamometría isocinética miden diferencias en la fuerza, pero únicamente de forma controlada y uniplanar. Los saltos y aterrizajes uni y bilaterales son componentes clave en el rendimiento de deportes de campo multidireccionales, y son habitualmente utilizados en la rehabilitación de atletas con reconstrucción de LCA. Durante la fase excéntrica y concéntrica del CMJ, el grupo HTH, demostró una mayor asimetría entre miembros cuando se comparaban las GFR entre miembros que el grupo TST a los 9 meses después de una reconstrucción de LCA.(33)

El SLJ test es comúnmente utilizado para evaluar la combinación de fuerza muscular, control neuromuscular y confianza en el miembro después de la reconstrucción de LCA. Teniendo en cuenta el LSI, la fuerza de cuádriceps es significativamente inferior a los 4, 6, 8 y 12 meses en los pacientes con plastia HTH versus los pacientes con plastia TST. Sin embargo, ocurría lo contrario con la fuerza de los isquiotibiales. Durante el SLH test, el grupo HTH mostró unos valores significativamente inferiores al grupo TST sólo a los 4 meses de la operación, aunque se habían medido hasta 24 meses más tarde. (34)

Se evaluaron 99 pacientes con reconstrucción de LCA y se comparó la fuerza isocinética de cuádriceps y de isquiotibiales. El grupo con plastia TST, obtuvo, como era de esperar mejores valores de fuerza de cuádriceps, pero peores de isquiotibiales, en comparación con el grupo HTH, medido a los 3, 6, 12 y 24 meses. (35) En otro estudio, no se encontraron diferencias significativas en las mismas mediciones. (36)

## **1.6. Análisis del salto vertical mediante softwares informáticos**

En numerosos estudios en los cuales se analizan saltos verticales no se hace uso de test clínicos, ya que, como se comentó antes, las baterías de test de RTS tienen una baja correlación con el riesgo de lesión; sino que se utilizan softwares informáticos. Para el análisis de las GRFs, habitualmente se utilizan sistemas muy complejos y costosos, como sensores inerciales (que también permiten medir biomecánica en el salto horizontal) (37) o cálculos extremadamente complicados para realizar en un ámbito clínico (38,39)

En los últimos años, se han desarrollado opciones más económicas y que mantienen igualmente una alta precisión, como las ForceDecks de VALD. Además, las ForceDecks, se han utilizado en otros estudios para evaluar asimetrías en salto. (40,41) Las placas de fuerza pueden ser usadas para medir GFR durante los CMJ, DJ o SLJ sin el requerimiento de utilizar sensores de posición para seguir el movimiento.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Este estudio se justifica por varios motivos. El primero, porque la lesión de LCA supone un problema de gran magnitud, con grandes repercusiones físicas para el/la deportista y económicas para la entidad deportiva a la que está vinculado. Por otra parte, los tests de RTS clásicos parecen no ser suficientemente efectivos para evitar una segunda lesión de LCA o para volver a un rendimiento igual al previo a la lesión. También se ha visto que lo que clásicamente se conoce como RTS, puede no ser un paradigma apropiado para según qué poblaciones, tales como deportistas de élite. (42) Además, ningún estudio muestra de manera clara cuál es la mejor plastia a utilizar (entre HTH y TST) en términos de simetría si tenemos en cuenta las GRFs en los saltos verticales.

Si bien en muchos de los estudios revisados se han utilizado sistemas complejos, en éste hemos decidido recurrir a pruebas más fácilmente accesibles, que también evalúen las fuerzas reactivas y comprobar así si obtenemos resultados similares a los ya publicados, pero haciendo uso de pruebas más fácilmente aplicables en el ámbito clínico.

Consideramos que la integración y acumulación de carga específica del deporte (como pueden ser los saltos verticales) y el uso de herramientas objetivas para cuantificar la carga y monitorizar las respuestas, pueden ser medios importantes para mitigar el riesgo de segunda lesión.

### 3. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Como estrategia para la revisión de la evidencia científica sobre el tema de estudio, se ha realizado una búsqueda bibliográfica sobre las diferencias en la fuerza reactiva en diferentes saltos verticales. Esta búsqueda se ha llevado a cabo durante los meses de enero, febrero, marzo y abril de 2022.

Para una correcta traducción de los conceptos clave seleccionados al lenguaje documental, se ha recurrido al Tesauro de MESH. Y, para la propia búsqueda se ha utilizado principalmente la base de datos PubMed.

Como conceptos clave se han utilizado “ligamento cruzado anterior” (*anterior cruciate ligament*), “salto vertical” (*vertical jump*), “simetría” (*symmetry*), “vuelta al deporte” (*return to sport*), “plastia de semitendinoso” (*hamstring graft*) y “plastia hueso-tendon-hueso” (*bone-patellar tendon-bone graft*). En base a esto, se ha utilizado la ecuación de búsqueda bibliográfica plasmada en la [Tabla 1](#).

Para la realización de la búsqueda, se ha filtrado por idioma (inglés, español) y se han elegido estudios de los últimos 10 años y de alta calidad metodológica (revisiones sistemáticas, meta-análisis, ensayos clínicos aleatorizados, ensayos clínicos controlados y aleatorizados y estudios observacionales). Finalmente, con dicha estrategia se han obtenido 115 resultados.

Con el objetivo de descartar ruido documental, se ha realizado una revisión de todos los artículos, teniendo en cuenta tanto el título como el resumen, y con ello se concretaron 57 estudios apropiados al propósito de búsqueda. Los criterios de inclusión para la selección de los artículos fueron los siguientes: a) estudios que analizasen y comparasen sujetos con plastia HTH o plastia TST o reconstrucción de LCA con controles sanos; b) que incluyesen mediciones de salto vertical; y c) publicados en inglés o español.

Finalmente se seleccionaron 16 artículos que incluían comparaban GRFs mediante softwares informáticos.

Realizada la búsqueda descrita, podemos concluir que no hemos encontrado ningún estudio que compare el pico de fuerza en las diferentes fases de los tres tipos de salto vertical (CMJ, SLJ y DJ) en pacientes con plastia HTH versus pacientes con plastia TST versus controles sanos. Aun así, existe escasa evidencia que respalda la aplicación de estos tests y una inclinación hacia una menor asimetría en el grupo TST.

*Tabla 1: Sintaxis y resultados de la búsqueda bibliográfica en Pubmed*

Búsqueda bibliográfica en PubMed y operadores booleanos	Número de referencias
<p>((((((((("Anterior Cruciate Ligament"[Mesh]) OR "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh]) OR "Anterior Cruciate Ligament Injuries"[Mesh]) OR "Bone-Patellar Tendon-Bone Grafting"[Mesh]) OR ("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Title/Abstract])) OR ("Anterior Cruciate Ligament Re-injury"[Title/Abstract])) OR ("Bone-Patellar Tendon-Bone graft"[Title/Abstract])) OR ("Hamstring tendon graft"[Title/Abstract])) AND (((((((("Plyometric Exercise"[Mesh]) OR ("symmetry"[Title/Abstract])) OR ("vertical jump"[Title/Abstract])) OR ("Countermovement jump"[Title/Abstract])) OR ("Counter-movement jump"[Title/Abstract])) OR ("Drop jump"[Title/Abstract])) OR ("Single leg jump"[Title/Abstract])) OR ("Single leg hop test"[Title/Abstract])) OR ("Ground reaction force"[Title/Abstract]))</p> <p>Filters: Controlled Clinical Trial, Meta-Analysis, Observational Study, Randomized Controlled Trial, Systematic Review, in the last 10 years, English, Spanish</p>	115

#### 4. BIBLIOGRAFÍA MÁS RELEVANTE

**Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. Scand J Med Sci Sports. 2015 Jun 1;25(3):e301–9.**

Este artículo consiste en un estudio comparativo entre sujetos sanos y pacientes con reconstrucción del LCA. En él, se intentan comparar asimetrías en miembros inferiores durante el salto vertical utilizando el software que se emplea en nuestro estudio.

**Baumgart C, Hoppe MW, Freiwald J. Phase-Specific Ground Reaction Force Analyses of Bilateral and Unilateral Jumps in Patients With ACL Reconstruction. Orthop J Sports Med. 2017 Jun 20;5(6).**

En este estudio observacional descriptivo se pretende comparar las GRFs en CMJ y SLJ entre pacientes con reconstrucción de LCA y controles sanos y ver si existe una correlación entre estas GRFs y la percepción subjetiva del paciente, como el miedo al movimiento. Es interesante porque, además, divide las GRFs en cada fase del salto, tal y como se hace en este estudio.

**Miles JJ, King E, Falvey EC, Daniels KAJ. Patellar and hamstring autografts are associated with different jump task loading asymmetries after ACL reconstruction. Scand J Med Sci Sports. 2019 Aug 1;29(8):1212–22.**

En este estudio comparativo, se comparan las asimetrías de la fuerza pico en las diferentes fases del CMJ en pacientes con plastia HTH y plastia TST. Concluye diciendo que el grupo de HTH tiene mayor porcentaje de asimetría entre miembros a los 9 meses post-reconstrucción de LCA, en comparación con el grupo TST, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas.

**Cristiani R, Mikkelsen C, Wange P, Olsson D, Stålmán A, Engström B. Autograft type affects muscle strength and hop performance after ACL reconstruction. A randomised controlled trial comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts with standard or accelerated rehabilitation. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2021 Sep 1;29(9):3025–36.**

En este ensayo clínico aleatorizado, se comparan los cambios en la fuerza del cuádriceps y en el rendimiento y asimetrías en el SLJ en pacientes con plastia HTH, con plastia TST y en controles sanos, después de llevar a cabo diferentes rehabilitaciones. Las mediciones se hacen a los 4, 6, 8, 12 y 24 meses obteniéndose esta vez peor rendimiento en el grupo HTH-

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Determinar si existen diferencias en cuanto a simetría de la cinemática del miembro inferior durante el salto y el aterrizaje entre sujetos con plastia HTH o con plastia TST, en comparación con controles sanos.

### 5.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, se seleccionaron los siguientes:

- Analizar si existen diferencias de simetría en las GRFs durante las diferentes fases del *Counter-movement Jump*, el *Drop Jump* y el *Single Leg Jump* a los 9 y 12 meses entre sujetos con plastia HTH o con plastia TST, en comparación con controles sanos.
- Establecer una posible relación entre el tipo de plastia y el miedo al movimiento o kinesiophobia y ver si los valores medidos con el Tampa Scale for Kinesiophobia-11 (TSK-11) varían en función del mes de medición.
- Conocer si la tecnología ForceDecks de VALD Heath es suficientemente útil para medir asimetrías en la cinemática del miembro inferior durante el salto y el aterrizaje.

## 6 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La principal pregunta de investigación, siguiendo el formato PIO (manera de formular la pregunta de investigación en la que se tienen en cuenta las características del paciente, la intervención que se compara y la solución del problema en términos de efectividad), a la que se pretende dar respuesta con este trabajo es la siguiente: ¿Presentan diferencias de simetría los sujetos con plastia HTH en relación con los sujetos con plastia TST en la cinemática de salto y aterrizaje, en comparación con controles sanos?

## 7. HIPÓTESIS

H<sub>0</sub>: No existen diferencias en los resultados obtenidos en los grupos de plastia HTH y de plastia TST en relación a la simetría de la cinemática de miembro inferior durante el salto y el aterrizaje, en comparación con controles sanos.

H<sub>1</sub>: Existen diferencias en los resultados obtenidos en los grupos de plastia HTH y de plastia TST en relación a la simetría de la cinemática de miembro inferior durante el salto y el aterrizaje, en comparación con controles sanos.

## **8. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **8.1. Tipo de estudio**

Se realizará un estudio de casos y controles. Es observacional, analítico, longitudinal y retrospectivo.

### **8.2. Ámbito de estudio**

Como ámbito de estudio se considerará, principalmente, la Comunidad Autónoma de Galicia. Las mediciones se llevarán a cabo en las distintas salas habilitadas de la Facultad de Fisioterapia de la Universidade da Coruña, utilizando tanto el espacio disponible como los diferentes instrumentos que se necesiten para que las pruebas se realicen en condiciones de seguridad, con previa solicitud y aceptación por parte del centro.

### **8.3. Periodo de estudio**

El estudio comenzó en febrero de 2023, con la elección de tema y búsqueda de información, la planificación del estudio y el entrenamiento del investigador. Finalizará en agosto de 2024 con la difusión de los resultados.

### **8.4. Población de estudio**

Como la población del estudio se considerarán sujetos entre los 18 y los 45 años, con un nivel elevado de actividad física (medido con el IPAQ), con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (tanto si han sido operados con la técnica HTH o con TST), residentes en alguna de las provincias gallegas.

## 8.5. Criterios de selección

Los criterios de selección de este estudio, están basados en estudios previos de características similares(43–45). Los criterios de inclusión fueron

- Para los sujetos de todos los grupos:
  - Hombres o mujeres con una edad comprendida entre 18 y 45 años.
  - Que practiquen deportes multidireccionales a nivel competitivo o que tengan intención de volver al nivel previo de competición.
  - Que tengan una puntuación en el IPAQ de nivel de actividad ALTO.
- Para los sujetos de los grupos de casos:
  - Tener o haber tenido lesiones meniscales o condrales (son lesiones secundarias comunes a la lesión de LCA, por lo que serían incluidos en el estudio en caso de presentarlas).
- Para los sujetos del grupo HTH (casos)
  - Haber tenido reconstrucción LCA realizada con plastia HTH entre los 9 y 12 meses anteriores al estudio.
- Para los sujetos del grupo TST (casos)
  - Haber tenido reconstrucción LCA realizada con plastia TST entre los 9 y 12 meses anteriores al estudio.
- Para los sujetos del grupo de controles:
  - No tener historia de lesiones previas de miembro inferior manejadas de forma activa durante los dos años previos al estudio.

Los criterios de exclusión fueron:

- Para los sujetos de todos los grupos:
  - Mujeres embarazadas
- Para los sujetos de ambos grupos de casos
  - Tener reconstrucciones ligamentarias múltiples o lesión previa de LCA.

- Para el grupo de los controles
  - Haber tenido cirugía previa de rodilla ipsilateral o contralateral
  - Haber tenido lesiones concomitantes de ligamentos en la rodilla ipsilateral y tampoco en la contralateral.
  - Haber tenido lesiones de más de dos meses de duración de miembro inferior en los últimos 2 años.

## **8.6. Selección de la muestra**

Para seleccionar a los casos que formarán parte de la muestra de la investigación se recurrirá a los servicios sanitarios de fisioterapia y traumatología tanto de hospitales como de centros asociados de carácter público y privado de la Comunidad Autónoma de Galicia, siempre que cumplan los criterios de inclusión y no presenten ninguno de los criterios de exclusión establecidos. Los centros sanitarios elegidos son: Hospital Universitario de A Coruña, Hospital Clínico Universitario de Santiago, Hospital Universitario Lucus Augusti, Hospital Profesor Novoa Santos, Hospital Provincial de Pontevedra, Hospital Álvaro Cunqueiro, Hospital Santo Cristo de Piñor, Hospital Médico-Quirúrgico HM Modelo, Hospital Quirónsalud A Coruña e Instituto Médico-Quirúrgico San Rafael.

Se realizará la divulgación de una campaña de carácter informativo dirigida a los responsables de los servicios de los centros mencionados por medio de entrevistas desempeñadas por los investigadores, sustentada desde el ámbito de la Universidade da Coruña. El objetivo será explicar todos los aspectos relacionados con el procedimiento de la investigación, así como la planificación y el contenido de los entrenamientos que conforman la intervención. Por medio de las respectivas entrevistas se hará explícita la relevancia del estudio, presentando la aplicabilidad y los beneficios en la práctica profesional. Los responsables de los servicios asistenciales se limitarán a dar información del estudio a potenciales participantes con los datos de contacto del investigador principal.

El reclutamiento de los controles se realizará mediante la difusión por diferentes redes sociales, tales como Facebook, Instagram, Twitter y Whatsapp, así como a través del correo electrónico de la Universidad de Coruña.

## 8.7. Justificación del tamaño muestral

Para una hipótesis nula “No existen diferencias en los resultados obtenidos en los grupos de plastia HTH y de plastia TST en relación a la simetría de la cinemática de miembro inferior durante el salto y el aterrizaje, en comparación con controles sanos”, necesitamos realizar un test ANOVA de un factor. Queriendo un tamaño del efecto de 0.40, una potencia estadística ( $1 - \beta$ ) del 0.80 y un nivel de significación ( $\alpha$ ) de 0.05, necesitaríamos un total de 66 sujetos.

## 8.8. Descripción de las variables a estudiar

En la Tabla 2 se presentan las variables analizadas, así como el instrumento de medida y la magnitud de las mismas.

Tabla 2: Variables del estudio

Variables sociodemográficas y antropométricas		
Variable	Instrumento de medida	Magnitud de medida
Edad	Cuestionario de línea base	Año de nacimiento
Género	Cuestionario de línea base	Mujer / hombre
Peso	Báscula	Kilogramos (kg)
Altura	Tallímetro	Metros (m)
IMC	Calculadora	Kilogramos/Altura al cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )
Variables relativas a la actividad física y al miedo al movimiento		
Variable	Instrumento de medida	Magnitud de medida
Actividad física	International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)	METS-minuto / semana

Miedo al movimiento	Tampa Scale for Kinesiophobia-11(TSK-11)	11-44 puntos
<b>VARIABLES RELATIVAS A LA FUERZA REACTIVA Y SIMETRÍA DE MIEMBROS INFERIORES</b>		
<b>Variable</b>	<b>Instrumento de medida</b>	<b>Magnitud de medida</b>
Fuerza reactiva durante salto bilateral <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1ª fase excéntrica</li> <li>- Fase concéntrica</li> <li>- 2ª fase excéntrica</li> </ul>	Counter-movement Jump (CMJ)	Newtons (N) Porcentaje asimetría (%): Casos: $1 - \frac{\text{Fuerza Pierna sana}}{\text{Fuerza pierna operada}} * 100$ Controles: $1 - \frac{\text{Fuerza Pierna dominante}}{\text{Fuerza pierna no dominante}} * 100$
Fuerza reactiva durante gesto deportivo típico <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1ª fase excéntrica</li> <li>- Fase concéntrica</li> <li>- 2ª fase excéntrica</li> </ul>	Drop Jump (DJ)	Newtons (N) Porcentaje asimetría (%): Casos: $1 - \frac{\text{Fuerza Pierna sana}}{\text{Fuerza pierna operada}} * 100$ Controles: $1 - \frac{\text{Fuerza Pierna dominante}}{\text{Fuerza pierna no dominante}} * 100$
Fuerza reactiva durante salto unilateral <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1ª fase excéntrica</li> <li>- Fase concéntrica</li> <li>- 2ª fase excéntrica</li> </ul>	Single Leg Jump (SLJ)	Newtons (N) Porcentaje asimetría (%): Casos: $1 - \frac{\text{Fuerza Pierna sana}}{\text{Fuerza pierna operada}} * 100$ Controles: $1 - \frac{\text{Fuerza Pierna dominante}}{\text{Fuerza pierna no dominante}} * 100$
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
<b>Variable</b>	<b>Instrumento de medida</b>	<b>Magnitud de medida</b>
Tener plastia HTH / TST / no lesión de LCA	¿Con qué plastia le han operado?	HTH / TST / No operado

## 8.9. Mediciones e intervención

El día anterior a las mediciones, a cada sujeto se le enviará, vía email, un cuestionario de línea base que incluirá los siguientes cuestionarios y escalas, que se describen en detalle más adelante:

- Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ) (**ANEXO 1**)
- The Tampa Scale for Kinesiofobia-11 (TSK-11) (**ANEXO 2**)

Para llevar a cabo las pruebas físicas, el investigador principal recibirá un entrenamiento durante dos meses, previamente a la realización de las mediciones. Las mediciones se realizarán en las instalaciones de la Facultad de Fisioterapia de la Universidade da Coruña (UDC).

Antes de realizarse los tests, se aleatorizará el orden del sujeto y el lado (en caso del SLJ) en el que serán realizados a cada sujeto mediante la página web Randomizer (<https://randomizer.org/>). Cuando nos encontremos en el laboratorio, los participantes tendrán que firmar un consentimiento informado (**ANEXO 3**) y, posteriormente, serán medidos y pesados y se les pedirá la ejecución de las diferentes pruebas físicas.

### **8.9.1. Cuestionario de línea base**

#### *8.9.1.1. Nivel de actividad física: Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ)*

El Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ) se utiliza si se desean examinar distintas dimensiones de la actividad física y ha sido validado en diversos estudios realizados en poblaciones muy diversas. (46) La puntuación total se mide en METS-minutos/semana y se calcula con la suma de los METs (unidad metabólica de reposo) obtenidos en los apartados “caminatas”, “actividad física moderada” y “actividad física vigorosa”.

Los niveles de actividad física propuestos son los siguientes:

- Bajo
  - No se registró ninguna actividad.
  - Se registró alguna actividad, pero no lo suficiente para incluirlo en las siguientes categorías.
- Moderado (al menos 1 de los siguientes criterios)

- 3 o más días de intensidad vigorosa de al menos 20 minutos por día.
- 5 o más días de actividad de intensidad moderada y/o caminar al menos 30 minutos por día.
- Alto (al menos 1 de los siguientes criterios)
  - Actividad de intensidad vigorosa en, por lo menos, 3 días y acumulando al menos 1500 MET-minutos/semana.
  - 7 días/semana de cualquier intensidad (caminatas, actividades físicas moderadas o vigorosas) acumulando al menos 3000 MET-minutos/semana.

#### *8.9.1.2. Kinesiofobia: The Tampa Scale for Kinesiofobia-11 (TSK-11)*

La Tampa Scale for Kinesiofobia-11 (TSK-11) es una versión abreviada (de 11 ítems) del cuestionario original de 17 ítems. Es un cuestionario ampliamente utilizado, diseñado para la evaluación de los comportamientos de miedo-evitación o kinesiofobia. Se ha utilizado en diversos contextos clínicos, incluyendo pacientes con reconstrucción de LCA. (47,48)

La TSK-11 se puntúa en una escala Likert de 4 puntos, con respuestas que van desde 1 (totalmente en desacuerdo) a 4 (totalmente de acuerdo). La puntuación más baja posible es 11 y denota una kinesiofobia insignificante o inexistente. Cuanto más alta sea la puntuación, mayor miedo al movimiento habrá, hasta llegar a la puntuación más alta posible, que es 44, que denota un miedo grave a experimentar dolor al moverse.

## **8.9.2. Tests físicos**

### *8.9.1.1. Uso de las placas y del software*

Para la utilización del software de VALD Performance, deberemos utilizar las VALD ForceDecks, unas placas de fuerza individuales de 30 cm x 50.5 cm, rodeadas de una espuma de 6 cm x 18 cm (Figura 1). Cada una de las placas mide individualmente la fuerza aplicada por cada uno de los

miembros inferiores, pero están conectadas mediante un cable para estimar las mediciones de fuerza global.



*Figura 1: Placas de fuerza VALD ForceDecks*

Este programa tiene un modo llamado “Auto-Jump”, en el cual, después de pesar al paciente, podremos empezar a hacer los tests directamente. En este programa nos darán los datos gráficos (Figura 2) y matemáticos (Figura 3) del CMJ, del DJ y del SLJ. Además, en la gráfica nos permite distinguir la fuerza realizada en la placa de la derecha (color azul), en la de la izquierda (color naranja) y la suma de las dos (color blanco). Los datos obtenidos, se procesarán posteriormente en un programa estadístico.



Figura 2: Datos gráficos del CMJ. La línea azul representa la fuerza ejercida por la pierna derecha contra la placa; la línea naranja, a la izquierda; la línea blanca representa la suma de las dos.

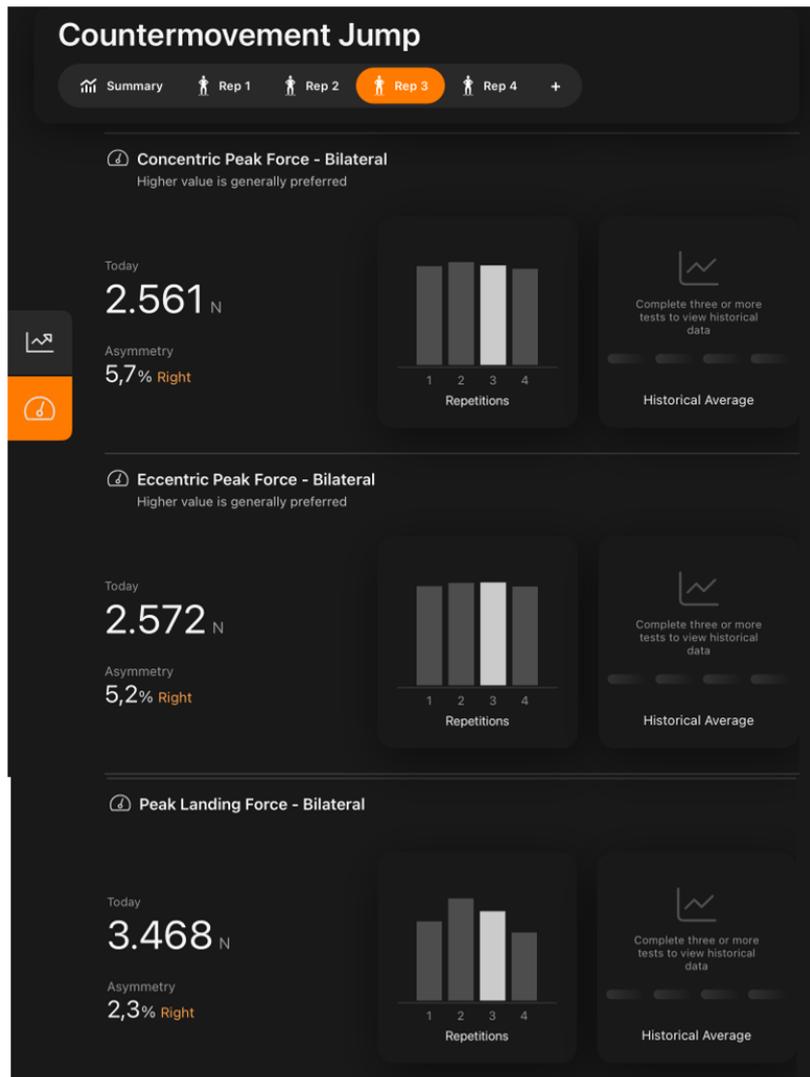


Figura 3: Datos recogidos por el software de VALD Performance durante la ejecución de un CMJ. El primer dato representa el pico de fuerza en la fase concéntrica del salto. El segundo, el pico de fuerza en la primera fase excéntrica. El tercero, en la segunda fase excéntrica o aterrizaje.

### 8.9.1.2. Posición inicial del paciente

El o la participante vestirá con pantalón corto y camiseta cómodos, además de zapatillas deportivas. Después del calentamiento, que consistirá en 5 sentadillas bipodales, 2 series de 5 *jumping jacks* y 2 SLJ submáximos con cada pierna, el o la participante realizará una práctica de tantas repeticiones como necesite hasta sentirse cómodo.

### 8.9.1.3 Counter-movement Jump (CMJ)

Para llevar a cabo el Counter-movement Jump (CMJ) se tomaron como referencia los estudios de Labanca et al, (2022); y de Sha et al, (2021). (49,50) El test sirve para evaluar asimetrías entre ambas piernas durante un salto vertical bilateral.

La posición inicial (Figura 4a) será en bipedestación directamente sobre las placas con las manos en las palas iliacas (para minimizar cualquier efecto de las extremidades superiores). Después de la instrucción verbal de “3, 2, 1, salta”, el paciente realizará un movimiento hacia abajo, a modo de sentadilla, hasta los 90° de flexión de rodilla (Figura 4b), aproximadamente. Acto seguido y sin detenerse, se realizará una triple extensión de miembro inferior (Figura 4c), realizando un salto lo más alto posible (Figura 4d), para terminar aterrizando sobre las placas (Figura 4e). El gesto se realizará 3 veces con 60 segundos de descanso entre repeticiones.

Se mide el pico de fuerza en Newtons de ambas piernas en la sentadilla que precede al salto (primera fase excéntrica), en la fase concéntrica del salto y en el segundo aterrizaje (segunda fase excéntrica).

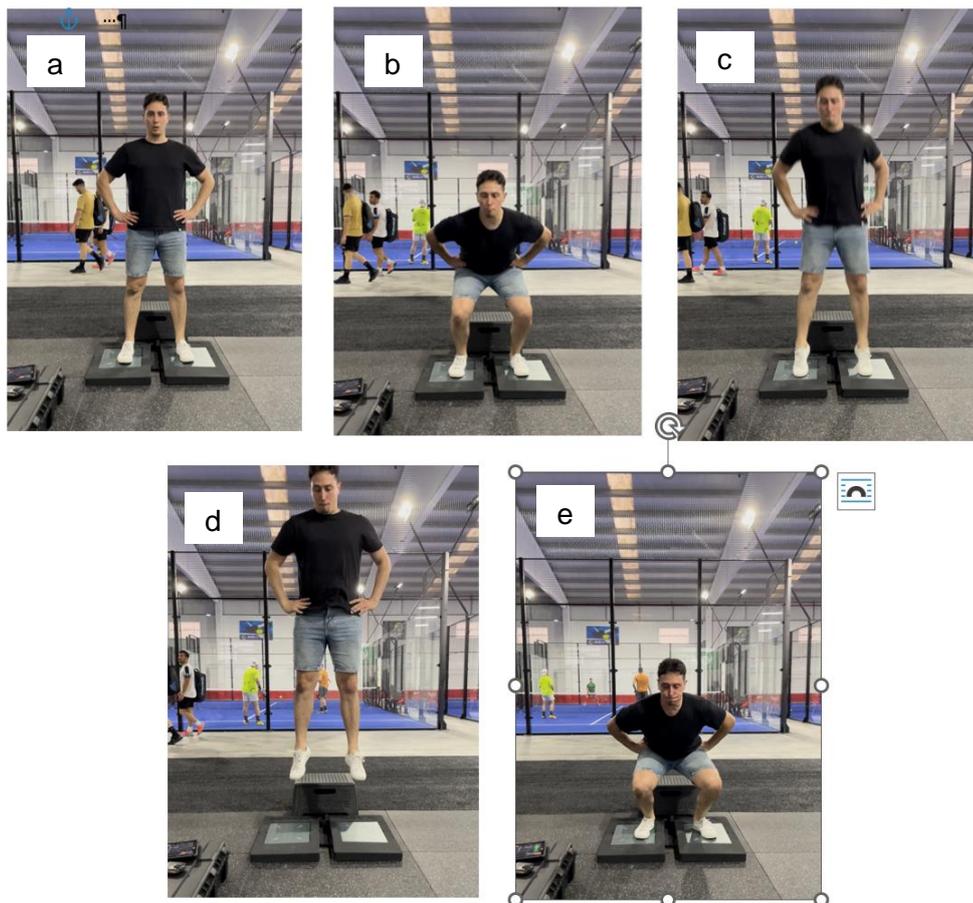


Figura 4: Secuencia del CMJ: a) Posición inicial. b) 1ª fase excéntrica. c) Fase concéntrica d) Fase de vuelo. e) Fase de aterrizaje o 2ª fase excéntrica

### 8.9.1.3. Drop Jump (DJ)

Para llevar a cabo el Drop Jump (DJ) se tomaron como referencia los estudios de Beardt et al, (2018); y de Padua et al (2015). (51,52) El test sirve para evaluar la fuerza que se ejerce en determinadas fases de un movimiento habitualmente realizado en deportes con componente pliométrico.

La posición inicial será en bipedestación con los brazos colgando a lo largo del cuerpo sobre una caja de 30 cm de altura (Figura 5a), colocada a 10 cm de las placas de fuerza, donde deberá aterrizar. Después de la instrucción verbal de “3, 2, 1, salta”, el paciente realizará una triple extensión de miembro inferior (Figura 5c) y deberá realizar un salto vertical de la máxima

altura que pueda (Figura 5d), después de caer desde la caja (Figura 5b), para volver a aterrizar sobre las placas (Figura 5e). El gesto se realizará 3 veces con 60 segundos de descanso entre repeticiones.

Se mide el pico de fuerza en Newtons de ambas piernas en la recepción del salto desde el cajón (primera fase excéntrica), en la fase concéntrica del salto y en el segundo aterrizaje (segunda fase excéntrica).

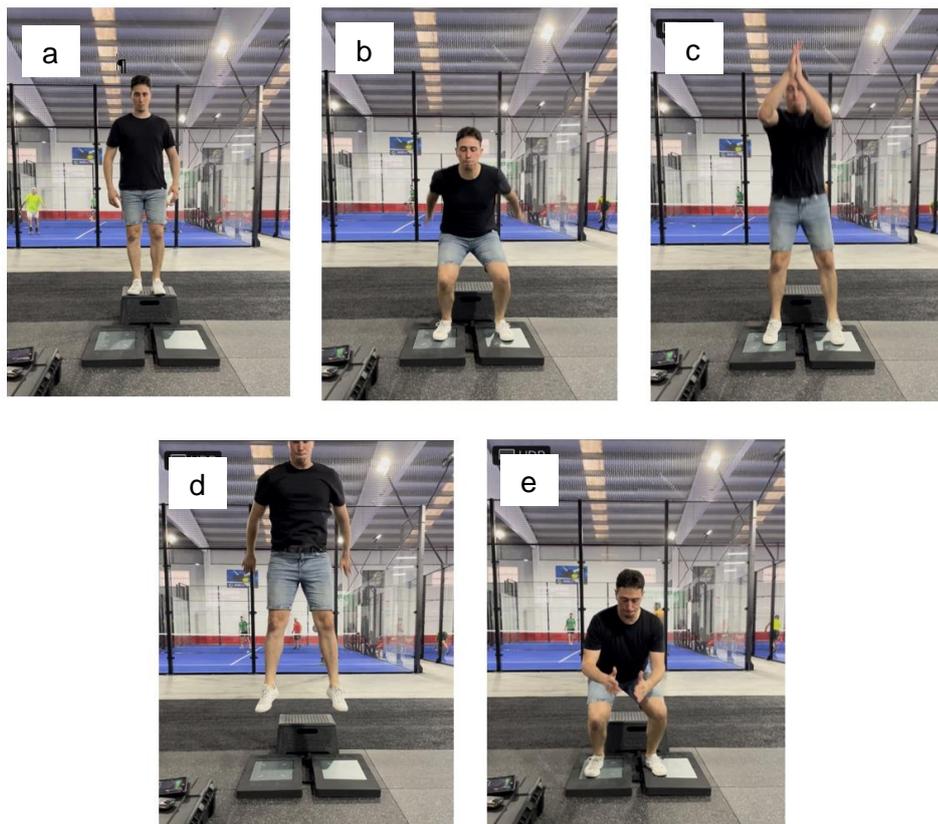


Figura 5: Secuencia del DJ: a) Posición inicial. b) 1ª fase excéntrica. c) Fase concéntrica d) Fase de vuelo. e) Fase de aterrizaje o 2ª fase excéntrica.

#### 8.9.1.4. Single leg Jump (SLJ)

Para llevar a cabo el Single leg Jump (SLJ) se tomó como referencia el estudio de O'Malley et al, (2018). (53) El test sirve para evaluar asimetrías entre ambas piernas durante un salto vertical unilateral.

La posición inicial será de pie a una pierna directamente sobre las placas con las manos en las palas ilíacas (Figura 6a). La pierna libre detrás a

aproximadamente 90° de flexión de rodilla. Después de la instrucción verbal de “3, 2, 1, salta”, realizará un primer gesto de sentadilla monopodal (Figura 6b) seguido (y sin parar) de una triple extensión de miembro inferior (Figura 6c) y un salto a una pierna (Figura 6d), cayendo sobre la placa de fuerza (Figura 6e). El gesto se realizará 3 veces por pierna con 60 segundos de descanso entre repeticiones.

Se mide el pico de fuerza en Newtons de ambas piernas en la sentadilla que precede al salto (primera fase excéntrica), en la fase concéntrica del salto y en el segundo aterrizaje (segunda fase excéntrica).

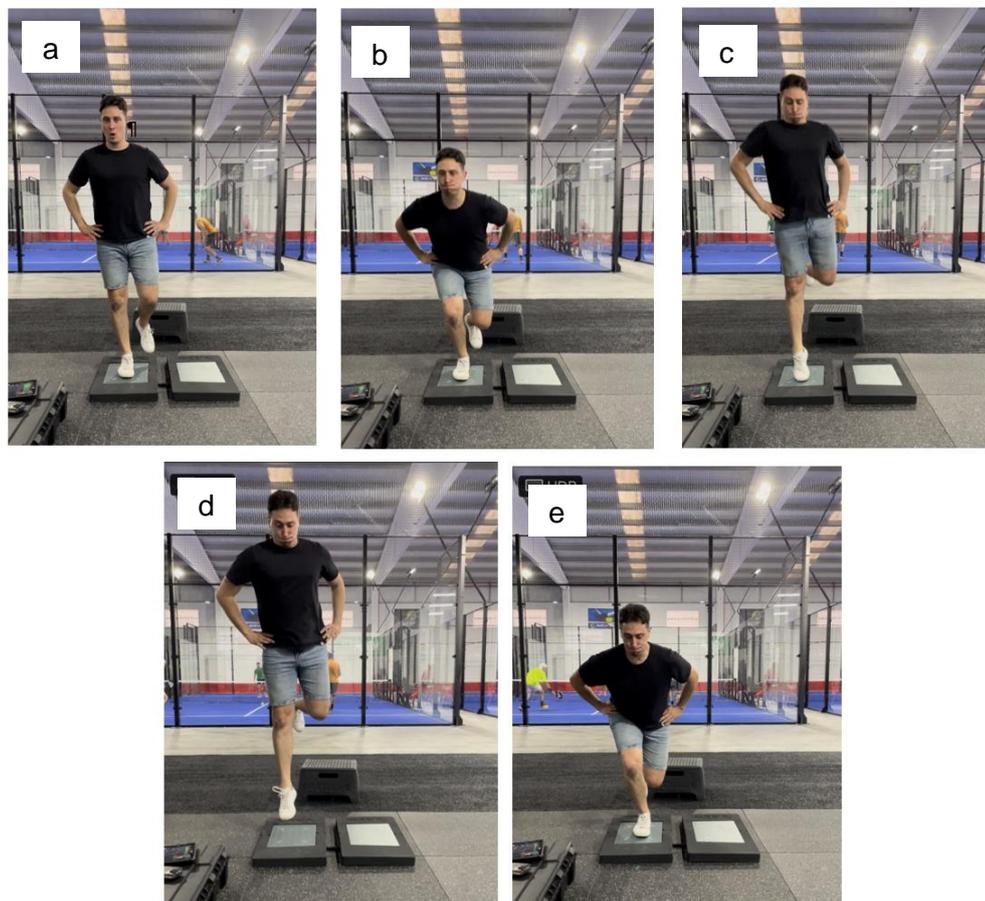


Figura 6: Secuencia del SLJ: a) Posición inicial. b) 1ª fase excéntrica. c) Fase concéntrica d) Fase de vuelo. e) Fase de aterrizaje o 2ª fase excéntrica.

## 8.10. Análisis estadístico

Se llevará a cabo un análisis estadístico descriptivo de las variables incluidas en el estudio. Aquellas variables que sean cualitativas se expresarán como frecuencias absolutas y porcentaje. Las que sean cuantitativas, como media  $\pm$  desviación típica. La normalidad de los datos se comprobará con el test de Kolmogorov-Smirnov. La comparación de medias se realizará a través del test ANOVA de un factor. Para la asociación de variables cualitativas entre sí se aplicará el estadístico chi-cuadrado ( $X^2$ ). La correlación de variables cuantitativas entre sí se realizará por medio del Coeficiente de Correlación de Pearson o de Spearman, según corresponda. Se considerará un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ .

Para el análisis estadístico de los datos se utilizará el software estadístico R en su versión 4.1.2 para Windows 11.

## 9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En el estudio, sólo se incluirán dos tipos de plastia de ligamento cruzado anterior: la hueso-tendón-hueso (HTH) y la realizada con el tendón del semitendinoso (TST). No se contemplará la hecha con tendón cuadrícipital. Tampoco se tendrá en cuenta el tipo de trenzado de la plastia del semitendinoso o si se incluye o no el tendón del músculo grácil. Tampoco se incluirán en la muestra pacientes con refuerzos anterolaterales o con técnicas de Lemaire o Lemaire modificadas. Esto es debido a la dificultad de encontrar una muestra con sujetos similares y de tamaño suficiente que pueda representar a la población correspondiente a cada grupo muestral.

En el diseño del estudio no se han realizado distinciones entre los diferentes deportes multidireccionales. En caso de hacer esto y finalmente distinguir por deportes (futbolistas, jugadores/as de rugby, de basket...), necesitaríamos un número muy elevado de participantes. Esto implica que no podemos determinar si entre diferentes deportes, los niveles de asimetría entre miembros serían distintos o no.

Para este estudio comparativo no se tiene en cuenta el proceso de rehabilitación que ha llevado cada paciente hasta los 9 y 12 meses después de la cirugía, que es cuando se llevan a cabo las variables. Esto puede suponer un sesgo de confusión, ya que no tienen por qué llegar todos en las mismas condiciones.

Además, la comparación de la fuerza reactiva en distintos saltos verticales en sujetos con diferentes plastias cuenta con muy poca evidencia al respecto, por lo que nuestros resultados podrán ser comparados con los de muy pocos estudios parecidos.

## 10. POSICIÓN DEL INVESTIGADOR

Soy Graduado en Fisioterapia por la Universidade da Coruña y estudiante del Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte en la Universidad Isabel I de Castilla. He presentado una comunicación oral en las 31<sup>as</sup> Jornadas de Fisioterapia de la ONCE en 2021 (“Comparación del movimiento de la columna torácica entre sujetos con y sin dolor lumbar crónico”), y una ponencia en el X Congreso conjunto AEA-SEROD en el 2023 (“El rol de un fisioterapeuta tras una ligamentoplastia de LCA”), esta última, precisamente versando sobre la reconstrucción del LCA.

Actualmente desarrollo mi práctica profesional en el ámbito privado, donde trato, fundamentalmente, pacientes con patología y lesiones de rodilla. Anteriormente, trabajé en el Real Club Deportivo de la Coruña, realizando programas de fisioterapia y readaptación deportiva en futbolistas profesionales. Es por ello que tengo cierta experiencia en el manejo de pacientes con lesiones de rodilla y, en especial, de LCA. Además, tengo intención de continuar mis estudios de investigación realizando una tesis doctoral donde se aborde este tema.

## 11. ASPECTOS ÉTICO-LEGALES

Los aspectos éticos de esta investigación se guían por la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, que expone que el bienestar de la persona debe tener primacía frente a otros intereses y reconoce que la investigación médica está sujeta a normas éticas para proteger la salud y derechos individuales de los seres humanos; y por el Pacto de Oviedo, un convenio relativo a los derechos humanos y a la biomedicina en el cual se manifiestan cuestiones importantes respecto al consentimiento informado, la vida privada y el derecho a la información.

Por otro lado, a los sujetos que participan en el estudio se les proporcionará información veraz y comprensible acerca de los objetivos, de los tests que se van a llevar a cabo, acerca de la interpretación de los resultados finales, y acerca de los posibles efectos secundarios de los tests. Esta información será proporcionada de forma escrita a través de la hoja de información junto con el correspondiente consentimiento informado (**ANEXO 3**); así como, de forma verbal el mismo día de los tests clínicos de laboratorio.

El consentimiento informado mencionado anteriormente, será elaborado de acuerdo con lo establecido en el artículo 8 de la Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica.

En referencia a lo establecido en el artículo 7 de la Ley 41/2002, así como en el Reglamento europeo 2016/679 y en la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, será respetada de manera rigurosa la confidencialidad de los datos de carácter personal y de salud de los participantes. La información se guardará en un OneDrive al que sólo tendrán acceso, mediante la introducción de una contraseña, los investigadores del estudio. Además, los datos se anonimizarán, para que no sea posible identificar a los sujetos, eliminándose todos los elementos identificativos de un conjunto de datos personales.

Al finalizar el estudio, la información será guardada y custodiada exclusivamente por los investigadores del proyecto. Además, se realizará una solicitud al Comité Autonómico de Ética de la Investigación de Galicia (CAEIG), previamente al comienzo del estudio. **(ANEXO 4)**

## 12. CRONOGRAMA Y PLAN DE TRABAJO

La investigación ya ha dado comienzo en enero de 2023 y tendrá una duración aproximada de un año y 1 mes, como se representa en la [Tabla 3](#). Una vez se obtenga el permiso del Comité de Ética, aproximadamente en el mes de septiembre de 2023, comenzará la captación de pacientes. Se enviará un correo a los potenciales sujetos de estudio, tanto para detallarles toda la información sobre la investigación como para comprobar que cumplen los requisitos de selección expuestos y ninguno de los de exclusión. Antes de la primera evaluación se entregará la hoja de información de estudio y el consentimiento informado a cada participante. A partir de ese momento, comenzará la primera evaluación y, posteriormente, serán citados 3 meses más tarde para realizar la segunda medición.

Tabla 3: Plan de trabajo

MES	FEB 23	MAR 23	ABR 23	MAY 23	JUN 23	JUL 23	AGO 23	SEP 23	OCT 23	NOV 23	DIC 23	ENE 24	FEB 24	MAR 24	ABR 24	MAY 24	JUN 24	JUL 24	AGO 24
Elección de tema y búsqueda de información	Red	Red	Red	Red															
Planificación del estudio					Orange	Orange													
Evaluación del Comité de Ética							Yellow	Yellow											
Entrenamiento del investigador						Yellow	Yellow												
Reclutamiento de pacientes								Green	Green	Green									
Recogida de datos									Green	Green	Green				Green	Green	Green		
Análisis de datos y resultados											Blue	Blue					Blue	Blue	
Redacción del trabajo								Blue											
Difusión de resultados																			Purple

### 13. APLICABILIDAD DEL ESTUDIO

Con este estudio, tratará de darse respuesta a la incógnita que se plantea en un principio: cuál es la plastia que debemos de utilizar, en términos de estabilidad de rodilla, para reducir la inestabilidad durante el gesto de aterrizaje y las asimetrías entre ambos miembros en gestos de salto y aterrizaje.

También puede crear la necesidad de realizar estudios de cohortes prospectivos en los que se evalúe si la elección de un tipo de plastia u otro genera mayor cantidad de re-lesiones.

Podremos, además, aportar información sobre qué grupo de sujetos, en función de la plastia utilizada, presenta más miedo al movimiento.

También, puede orientar a los investigadores a utilizar las plataformas de fuerza ForceDecks de VALD Health o utilizar algún otro método de evaluación, debido a la simplicidad o dificultad de los mismos.

## 14. PLAN DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS

El plan de difusión de los resultados de investigación, presumiblemente, tendrá lugar en congresos de fisioterapia, tanto a nivel nacional como internacional, así como en revistas científicas relacionadas con fisioterapia y medicina deportiva.

### **Congresos**

- XVIII Congreso Nacional de Fisioterapia (2024), de la Asociación Española de Fisioterapeutas (AEF). La AEF es la entidad más importante de la Fisioterapia en España y realiza un congreso anual en el que se intenta poner en auge el valor de la profesión, actuando como punto de encuentro entre profesionales de todo el territorio y poniendo de manifiesto las novedades más importantes en relación con la Fisioterapia.
- 5th World Congress of Sports Physical Therapy (WCSPT2024). Cada dos años, la Federación Internacional de Fisioterapia Deportiva (IFSPT) presenta un Congreso en el que fisioterapeutas relacionados con este campo pueden tener participación. El Congreso fue desarrollado para proporcionar una educación de alta calidad utilizando la investigación actual.

### **Revistas**

Se tratará de publicar en revistas científicas nacionales e internacionales de alto y medio impacto, que proporcionen acceso online y realicen un proceso de revisión por pares.

- BMJ Open Sport & Exercise Medicine (SJR: 1.25, Q1. H-Index: 36)
- British Journal of Sports Medicine (SJR: 4.764, Q1. H-Index: 209)
- Physical Therapy (SJR: 1.005, Q1. H-Index: 169)
- BMC Sport Science, Medicine and Rehabilitation (SJR: 0.471, Q2. H-Index: 30)
- RICYDE (SJR: 0.35, Q3. H-Index: 22)

## 15. MEMORIA ECONÓMICA

### 15.1. Recursos necesarios

Se presenta una distribución de los recursos materiales, humanos, así como otros bienes y servicios que serán necesarios para la realización de la investigación y clasificándolos según la importancia que tengan para las mediciones o la intervención del estudio. Junto a ellos se expone el presupuesto económico estimado que será imprescindible para la exitosa financiación de la investigación.

#### ***Recursos materiales mediciones:***

- Placas medición de fuerza VALD ForceDecks y software VALD Performance: 250€/mes, durante 6 meses del periodo de mediciones + 2 meses de entrenamiento del investigador (2000€ en total). El software y las placas funcionan por suscripción y se pagan en conjunto. El total depende de los meses que hemos estimado necesarios para la realización de las mediciones.
- Ordenador portátil, para el uso del software y la interpretación de los datos: 800€.
- Impresora: 100€.
- Papel y bolígrafos: 50€.
- Cajón 40 cm: 40€.

#### ***Recursos humanos:***

Para estimar el importe tomamos como referencia la retribución estipulada, según los acuerdos de personal contratado en base a los presupuestos de la UDC, de 1368,50€ mensuales brutos para investigadores a tiempo completo en formación que se encuentran matriculados en un programa de doctorado en el Sistema Universitario de Galicia:

- Fisioterapeuta principal (19 meses a tiempo completo): 26.001,50€.

### **Otros servicios:**

- Publicación en revistas: Tratará de publicarse en revistas de editoriales que hayan firmado con la Universidade da Coruña los acuerdos transformativos para publicar en acceso abierto.
- Revisión de la lengua inglesa: 1000€.
- Viajes e inscripción a congresos: 1500€.

Por tanto, el importe total estimado del presupuesto tras la distribución expuesta es de: 31.491,50€.

## **15.2. Posibles fuentes de financiación**

En primer lugar, para la financiación se realizará la solicitud de ayuda a las principales instituciones públicas como la Universidade da Coruña y de la Xunta de Galicia. En concreto, las subvenciones en régimen de concurrencia competitiva de la Xunta de Galicia para unidades de investigación de las universidades del Sistema Universitario de Galicia ([https://sede.xunta.gal/detalle-procedemento?langId=es\\_ES&codtram=PR815A](https://sede.xunta.gal/detalle-procedemento?langId=es_ES&codtram=PR815A)).

También se recurrirá a nivel nacional a los contratos predoctorales de formación en investigación en salud (PFIS) del Instituto Carlos III (ISCIII) (<https://www.isciii.es/QueHacemos/Financiacion/solicitudes/Paginas/default.aspx>) y a las ayudas convocadas por el Ministerio de Ciencia e Innovación (<https://www.ciencia.gob.es/home/Convocatorias;jsessionid=D962CF5425CCABB2E42BC3F004592C67.1>), que se encarga de financiar proyectos de investigación en el campo de la salud.

Además, contando con la colaboración de la Facultad de Fisioterapia de A Coruña, tendríamos acceso a las instalaciones y al uso de diversos materiales para el estudio tanto en el ámbito de las mediciones como de la intervención y ya especificados en los recursos necesarios.

A mayores, se solicitarán ayudas a organizaciones y fundaciones privadas comprometidas con el apoyo a la investigación. Entre las más importantes: Fundación Banco Santander (<https://app.becas-santander.com/es/program/convocatoria-de-ayudas-a-la-investigacion-2022-2023>), Fundación Séneca (<https://fseneca.es/web/ayudas-abiertas>) y Fundación San Rafael (<https://fundacionsanrafael.org/formacion-4/becas-catedra-2-2/>).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Morales-Avalos R, Torres-González EM, Padilla-Medina JR, Monllau JC. ACL anatomy: Is there still something to learn? *Revista Espanola de Cirugia Ortopedica y Traumatologia*. Ediciones Doyma, S.L.; 2023.
2. Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2020 Jun;28(3):80–6.
3. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior Cruciate Ligament Injury: Identification of Risk Factors and Prevention Strategies. *Curr Sports Med Rep*. 2014 May;13(3):186–91.
4. Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE. Non-contact ACL Injuries: Mechanisms and Risk Factors. *J Am Acad Orthop Surg*. 2010 Sep;18(9):520–7.
5. Petway AJ, Jordan MJ, Epsley S, Anloague P, Rimer E. Mechanisms of Anterior Cruciate Ligament Tears in Professional National Basketball Association Players: A Video Analysis. *J Appl Biomech*. 2023 Jun 1;39(3):143–50.
6. Yu B, Garrett WE. Mechanisms of non-contact ACL injuries. *Br J Sports Med*. 2007 Aug;41(SUPPL. 1):47–51.
7. Kaplan Y, Witvrouw E. When Is It Safe to Return to Sport After ACL Reconstruction? Reviewing the Criteria. *Sports Health*. 2019 Jul 1;11(4):301–5.
8. 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 Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2019 Nov 1;27(11):3461–70.
9. Patel AD, Bullock GS, Wrigley J, Paterno M V., Sell TC, Losciale JM. Does sex affect second ACL injury risk? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2021 Aug 1;55(15):873–82.

10. Wright RW, Magnussen RA, Dunn WR, Spindler KP. Ipsilateral graft and contralateral ACL rupture at five years or more following ACL reconstruction: A systematic review. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2011 Jun 15;93(12):1159–65.
11. Bram JT, Magee LC, Mehta NN, Patel NM, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *American Journal of Sports Medicine*. 2021 Jun 1;49(7):1962–72.
12. Filbay SR, Dowsett M, Chaker Jomaa M, Rooney J, Sabharwal R, Lucas P, et al. Healing of acute anterior cruciate ligament rupture on MRI and outcomes following non-surgical management with the Cross Bracing Protocol. *Br J Sports Med*. 2023 Jun 14;0:1–8.
13. Thompson SM, Salmon LJ, Waller A, Linklater J, Roe JP, Pinczewski LA. Twenty-Year Outcome of a Longitudinal Prospective Evaluation of Isolated Endoscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Patellar Tendon or Hamstring Autograft. *American Journal of Sports Medicine*. 2016 Dec 1;44(12):3083–94.
14. Paterno M V., Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *American Journal of Sports Medicine*. 2010 Oct;38(10):1968–78.
15. Tan SHS, Lau BPH, Krishna L. Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Females Using Patellar-Tendon-Bone versus Hamstring Autografts: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Knee Surgery*. 2019 Aug;32(8):770–87.
16. Ito N, Capin JJ, Khandha A, Buchanan TS, Silbernagel KG, Snyder-Mackler L. Bone–Patellar Tendon–Bone Autograft Harvest Prolongs Extensor Latency during Gait 2 yr after ACLR. *Med Sci Sports Exerc*. 2022 Dec 1;54(12):2109–17.

17. de Souza Borges JH, Oliveira M, Junior PL, de Souza Machado R, Lima R, Ramos LA, et al. Is contralateral autogenous patellar tendon graft a better choice than ipsilateral for anterior cruciate ligament reconstruction in young sportsmen? A randomized controlled trial. *Knee*. 2022 Jun 1;36:33–43.
18. Haybäck G, Raas C, Rosenberger R. Failure rates of common grafts used in ACL reconstructions: a systematic review of studies published in the last decade. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022 Nov 1;142(11):3293–9.
19. Dai W, Leng X, Wang J, Cheng J, Hu X, Ao Y. Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone–Patellar Tendon–Bone and Hamstring Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2021 Sep 8;50(12):3425–39.
20. Etzel CM, Nadeem M, Gao B, Boduch AN, Owens BD. Graft Choice for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Women Aged 25 Years and Younger: A Systematic Review. *Sports Health*. 2022 Nov 1;14(6):829–41.
21. Bergeron JJ, Sercia QP, Drager J, Pelet S, Belzile EL. Return to Baseline Physical Activity After Bone–Patellar Tendon–Bone Versus Hamstring Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *American Journal of Sports Medicine*. 2022 Jul 1;50(8):2292–303.
22. Zhao L, Lu M, Deng M, Xing J, He L, Wang C. Outcome of bone-patellar tendon-bone vs hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis of randomized controlled trials with a 5-year minimum follow-up. *Medicine*. 2020 Nov 25;99(48):e23476.

23. He X, Yang X gang, Feng J tao, Wang F, Huang H chao, He J quan, et al. Clinical Outcomes of the Central Third Patellar Tendon Versus Four-strand Hamstring Tendon Autograft Used for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Subgroup Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Injury*. 2020 Aug 1;51(8):1714–25.
24. Cristiani R, Sarakatsianos V, Engström B, Samuelsson K, Forssblad M, Stålmán A. Increased knee laxity with hamstring tendon autograft compared to patellar tendon autograft: a cohort study of 5462 patients with primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2019 Feb 14;27(2):381–8.
25. Cohen D, Clarke N, Harland S, Lewin C. ARE FORCE ASYMMETRIES MEASURED IN JUMP TESTS ASSOCIATED WITH PREVIOUS INJURY IN PROFESSIONAL FOOTBALLERS? *Br J Sports Med* [Internet]. 2014;48(7):579–80. Available from: <https://bjsm.bmj.com/content/48/7/579.2>
26. Dai B, Butler RJ, Garrett WE, Queen RM. Using ground reaction force to predict knee kinetic asymmetry following anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(6):974–81.
27. Baumgart C, Hoppe MW, Freiwald J. Phase-Specific Ground Reaction Force Analyses of Bilateral and Unilateral Jumps in Patients With ACL Reconstruction. *Orthop J Sports Med*. 2017 Jun 20;5(6).
28. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2015 Jun 1;25(3):e301–9.
29. Setuain I, Millor N, Alfaro-Adrian J, Gorostiaga E, Izquierdo M. Jumping performance differences among elite professional handball players with or without previous ACL reconstruction. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015 Oct;55(10):1184–92.

30. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: The Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.* 2016 Jul 1;50(13):804–8.
31. Webster KE, Hewett TE. 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 Medicine.* 2019 Jun 1;49(6):917–29.
32. Losciale JM, Zdeb RM, Ledbetter L, Reiman MP, Sell TC. The association between passing return-to-sport criteria and second anterior cruciate ligament injury risk: A Systematic Review With Meta-analysis. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy.* 2019 Feb 1;49(2):43–54.
33. Miles JJ, King E, Falvey ÉC, Daniels KAJ. Patellar and hamstring autografts are associated with different jump task loading asymmetries after ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports.* 2019 Aug 1;29(8):1212–22.
34. Cristiani R, Mikkelsen C, Wange P, Olsson D, Stålmán A, Engström B. Autograft type affects muscle strength and hop performance after ACL reconstruction. A randomised controlled trial comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts with standard or accelerated rehabilitation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2021 Sep 1;29(9):3025–36.
35. Maletis GB, Cameron SL, Tengan JJ, Burchette RJ. A prospective randomized study of anterior cruciate ligament reconstruction: A comparison of patellar tendon and quadruple-strand semitendinosus/gracilis tendons fixed with bioabsorbable interference screws. *American Journal of Sports Medicine.* 2007 Mar;35(3):384–94.

36. Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F, Sasso F. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Bone-Patellar Tendon-Bone Compared with Double Semitendinous and Gracilis Tendon Grafts. A Prospective, Randomized Clinical Trial. *J Bone Joint Surg.* 2004;86:2143–55.
37. Setuain I, Bikandi E, Amú Ruiz FA, Urtasun F, Izquierdo M. Horizontal jumping biomechanics among elite female handball players with and without anterior cruciate ligament reconstruction: An ISU based study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2019 Nov 18;11:30.
38. Jordan MJ, Morris N, Lane M, Barnert J, MacGregor K, Heard M, et al. Monitoring the Return to Sport Transition After ACL Injury: An Alpine Ski Racing Case Study. *Front Sports Act Living.* 2020 Mar 3;2:12.
39. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. A comparison of lower limb stiffness and mechanical muscle function in ACL-reconstructed, elite, and adolescent alpine ski racers/ski cross athletes. *J Sport Health Sci.* 2018 Oct 1;7(4):416–24.
40. Weakley J, Till K, Sampson J, Banyard H, Leduc C, Wilson K, et al. The effects of augmented feedback on sprint, jump, and strength adaptations in rugby union players after a 4-week training program. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;14(9):1205–11.
41. Wells JET, Charalambous LH, Mitchell ACS, Coughlan D, Brearley SL, Hawkes RA, et al. Relationships between Challenge Tour golfers' clubhead velocity and force producing capabilities during a countermovement jump and isometric mid-thigh pull. *J Sports Sci.* 2019 Jun 18;37(12):1381–6.
42. Taberner M, Van Dyk N, Allen T, Jain N, Richter C, Drust B, et al. Physical preparation and return to performance of an elite female football player following ACL reconstruction: A journey to the FIFA

- Women's World Cup. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2020 Dec 1;6(1):e000843.
43. Hagino T, Ochiai S, Senga S, Yamashita T, Wako M, Ando T, et al. Meniscal tears associated with anterior cruciate ligament injury. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2015 Dec 1;135(12):1701–6.
  44. Cristiani R, Mikkelsen C, Wange P, Olsson D, Stålmán A, Engström B. Autograft type affects muscle strength and hop performance after ACL reconstruction. A randomised controlled trial comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts with standard or accelerated rehabilitation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2021 Sep 1;29(9):3025–36.
  45. Miles JJ, King E, Falvey EC, Daniels KAJ. Patellar and hamstring autografts are associated with different jump task loading asymmetries after ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2019 Aug 1;29(8):1212–22.
  46. Mantilla Toloza SC, Gómez-Conesa A. El Cuestionario Internacional de Actividad Física. Un instrumento adecuado en el seguimiento de la actividad física poblacional. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*. 2007 Jan 1;10(1):48–52.
  47. George SZ, Lentz TA, Zeppieri G, Lee D, Chmielewski TL. Analysis of shortened versions of the Tampa Scale for Kinesiophobia and Pain Catastrophizing Scale for patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Pain*. 2012;28(1):73–80.
  48. Woby SR, Roach NK, Urmston M, Watson PJ. Psychometric properties of the TSK-11: A shortened version of the Tampa Scale for Kinesiophobia. *Pain*. 2005 Sep;117(1–2):137–44.
  49. Labanca L, Budini F, Cardinali L, Concilio G, Rocchi JE, Mariani PP, et al. A Countermovement Jump for the Midterm Assessment of Force and Power Exertion After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Phys Med Rehabil*. 2022 Nov 1;101(11):1007–13.

50. Sha Z, Zhou Z, Dai B. Analyses of Countermovement Jump Performance in Time and Frequency Domains. *J Hum Kinet.* 2021 Mar 31;78(1):41–8.
51. Padua DA, DiStefano LJ, Beutler AI, De La Motte SJ, DiStefano MJ, Marshall SW. The landing error scoring system as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *J Athl Train.* 2015 Jun 1;50(6):589–95.
52. Beardt BS, McCollum MR, Hinshaw TJ, Layer JS, Wilson MA, Zhu Q, et al. Lower-extremity kinematics differed between a controlled drop-jump and volleyball-takeoffs. *J Appl Biomech.* 2018 Aug 1;34(4):327–35.
53. O'Malley E, Richter C, King E, Strike S, Moran K, Franklyn-Miller A, et al. Countermovement jump and isokinetic dynamometry as measures of rehabilitation status after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train.* 2018 Jul 1;53(7):687–95.

## ANEXOS

### Anexo 1: Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ)

#### CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FISICA

Estamos interesados en averiguar acerca de los tipos de actividad física que hace la gente en su vida cotidiana. Las preguntas se referirán al tiempo que usted destinó a estar físicamente activo en los **últimos 7 días**. Por favor responda a cada pregunta aún si no se considera una persona activa. Por favor, piense acerca de las actividades que realiza en su trabajo, como parte de sus tareas en el hogar o en el jardín, moviéndose de un lugar a otro, o en su tiempo libre para la recreación, el ejercicio o el deporte.

Piense en todas las actividades **intensas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades físicas **intensas** se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucho más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuantos realizó actividades físicas **intensas** tales como levantar pesos pesados, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o andar rápido en bicicleta?

\_\_\_\_\_ días por semana

Ninguna actividad física intensa → **Vaya a la pregunta 3**

2. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **intensa** en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

No sabe/No está seguro

---

Piense en todas las actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos días hizo actividades físicas **moderadas** como transportar pesos livianos, andar en bicicleta a velocidad regular o jugar dobles de tenis? **No** incluya caminar.

\_\_\_\_\_ días por semana

Ninguna actividad física moderada → **Vaya a la pregunta 5**

4. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **moderada** en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

No sabe/No está seguro

---

Piense en el tiempo que usted dedicó a **caminar** en los **últimos 7 días**. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.

5. Durante los **últimos 7 días**, ¿En cuántos **camino** por lo menos **10 minutos** seguidos?

\_\_\_\_\_ días por semana

Ninguna caminata



**Vaya a la pregunta 7**

6. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

No sabe/No está seguro

---

La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted **sentado** durante los días hábiles de los **últimos 7 días**. Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que pasó sentado ante un escritorio, visitando amigos, leyendo, viajando en ómnibus, o sentado o recostado mirando la televisión.

7. Durante los **últimos 7 días** ¿cuánto tiempo pasó **sentado** durante un **día hábil**?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

No sabe/No está seguro

## Anexo 2: Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK-11)

### CUESTIONARIO TSK-11SV

*Tampa Scale for Kinesiophobia* (Spanish adaptation. Gómez-Pérez, López-Martínez y Ruiz-Párraga, 2011)

**INSTRUCCIONES:** a continuación se enumeran una serie de afirmaciones. Lo que Ud. ha de hacer es indicar hasta qué punto eso ocurre en su caso según la siguiente escala:

1                      2                      3                      4  
Totalmente                      Totalmente  
en desacuerdo                      de acuerdo

	1	2	3	4
1. Tengo miedo de lesionarme si hago ejercicio físico.	1	2	3	4
2. Si me dejara vencer por el dolor, el dolor aumentaría.	1	2	3	4
3. Mi cuerpo me está diciendo que tengo algo serio.	1	2	3	4
4. Tener dolor siempre quiere decir que en el cuerpo hay una lesión.	1	2	3	4
5. Tengo miedo a lesionarme sin querer.	1	2	3	4
6. Lo más seguro para evitar que aumente el dolor es tener cuidado y no hacer movimientos innecesarios.	1	2	3	4
7. No me dolería tanto si no tuviese algo serio en mi cuerpo.	1	2	3	4
8. El dolor me dice cuándo debo parar la actividad para no lesionarme.	1	2	3	4
9. No es seguro para una persona con mi enfermedad hacer actividades físicas.	1	2	3	4
10. No puedo hacer todo lo que la gente normal hace porque me podría lesionar con facilidad.	1	2	3	4
11. Nadie debería hacer actividades físicas cuando tiene dolor.	1	2	3	4

### **Anexo 3: Hoja de información y consentimiento informado**

#### **DOCUMENTO DE INFORMACIÓN, COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDADE E CONSENTIMENTO INFORMADO**

O obxectivo deste documento é informalo/a sobre as características do estudo en que é convidado a participar e solicitar o seu consentimento. A súa decisión é totalmente voluntaria e non ten que a adoptar agora.

Previamente, é importante que lea detidamente o documento, do que se lle entregará unha copia, e aclare todas as súas dúbidas co equipo de investigación. Pódeo facer persoalmente, por teléfono ou por correo electrónico, a través dos datos de contacto que se lle facilitan ao final do primeiro apartado.

#### **1. DOCUMENTO INFORMATIVO**

*A investigación/o estudo para a/o cal lle pedimos a súa participación titúlase: “Comparación de capacidades físicas en pacientes con diferentes tipos de ligamentoplastia del ligamento cruzado anterior” e recibiu o informe favorable do Comité de Ética da Investigación e a Docencia da Universidade da Coruña.*

A información básica que debe coñecer é a seguinte:

a) *Equipo investigador*

Carlos Rivas Senra, fisioterapeuta (Instituto Médico Arriaza). Investigador principal.

Dra. María Amalia Jácome Pumar. Profesora titular de la UDC, en el Departamento de Matemáticas.

Dr. Rafael Arriaza Loureda. Traumatólogo, director del Instituto Médico Arriaza.

b) *Obxectivo e utilidade do estudo*

En este estudio, se pretende determinar qué tipo de injerto debería utilizarse en una reconstrucción del ligamento cruzado anterior de la rodilla, comparando diferentes saltos verticales. Esto es importante para conocer la mejor opción a la hora de operar a un deportista que realice este tipo de gestos.

c) *Selección das persoas participantes*

---

Practicas un deporte multidireccional y has sido operado de LCA con plastia HTH o TST. Si  Non

---

Practicas un deporte multidireccional y no has tenido lesiones de larga duración de miembros inferiores en los últimos dos años. Si  Non

---

d) *Metodología que se utilizará para el estudio, tipo de colaboración de la persona participante e duración de dicha colaboración*

Se realizará una sesión de valoración a los 9 meses después de la operación y otra a los 12 para los sujetos operados. Sólo una medición para los controles.

Las mediciones consistirán en tres tipos de salto diferente (CMJ, DJ y SLJ), que se realizarán posteriormente a un calentamiento. Se medirán con unas placas de fuerza.

e) *Tipo de información*

Se solicitará el informe médico donde se explica el tipo de operación.

Posteriormente, no se le podrá enviar ningún informe de los resultados de las pruebas realizadas, ya que los datos serán anonimizados (2a).

f) *Posibles molestias e riesgos para la persona participante*

No existen riesgos de ningún tipo, excepto de caída. Sus respuestas no tendrán ningún tipo de repercusión sobre su salud.

g) *Medidas para responder a los acontecimientos adversos*

Ante la posibilidad del riesgo de caída, se le trasladará inmediatamente a un hospital y se hará cargo el seguro de responsabilidad civil de la UDC.

h) *Posibilidad de compensación*

No habrá compensaciones económicas por participar en este estudio, aunque su participación nos ayudará al desarrollo científico.

i) *Decisión de non participar*

Su participación en el estudio es totalmente voluntaria. Puede decidir no participar o si acepta hacerlo, cambiar de opinión y retirar el consentimiento en cualquier momento sin obligación de dar explicaciones. Esta decisión no afectará a la relación con los profesionales ni a la asistencia sanitaria que usted tiene derecho.

j) *Retirada da investigación/do estudo*

Si usted lo desea, puede retirarse de la investigación en cualquier momento, sin dar explicaciones y sin que tenga consecuencias. Para eso, únicamente tiene que firmar la revocación del consentimiento que se incluye al final del documento, en el que deberá indicar si desea que los datos obtenidos hasta su retirada sean eliminados, siempre que sea posible. De no ser así, esos datos podrían ser utilizados por el equipo investigador.

k) *Previsión do uso posterior dos resultados*

Se pretende que los resultados sean difundidos en publicaciones científicas, pero no se transmitirían datos que pudieran identificar a los participantes.

Los resultados podrán publicarse en congresos o revistas científicas de acceso libre, que podrán leer personas ajenas al ámbito científico.

l) *Acceso á información e aos resultados da investigación*

Los resultados finales de la publicación, serán transmitidos a los participantes vía correo electrónico, una vez se hayan publicado. En estos resultados no habrá información personal de los pacientes.

m) *Aspectos económicos: financiamento, remuneración e explotación*

El estudio será financiado, principalmente por la Universidade da Coruña, aunque también por parte de la Xunta de Galicia, el Instituto Carlos III y el Ministerio de Ciencia e Innovación.

n) *Datos de contacto do investigador principal para aclaracións ou consultas*

Carlos Rivas Senra

Fisioterapeuta en Instituto Médico Arriaza

6XXXXXXXXX

c.rivas.senra@udc.es

## 2. COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDADE

### a) *Medidas para asegurar o respecto á intimidade e á confidencialidade dos datos persoais*

Adoptáronse as medidas oportunas para garantir a completa confidencialidade dos seus datos persoais, conforme ao que dispón a LO 3/2018, do 5 de decembro, de protección de datos persoais e garantía dos dereitos dixitais e o Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeo e do Consello, do 27/04/2016, relativo á protección das persoas físicas no que respecta ao tratamento dos datos persoais e á libre circulación destes datos e polo que se derroga a Directiva 95/46CE (Regulamento xeral de protección de datos).

Os datos necesarios para levar a cabo este estudo serán recollidos e conservados do seguinte modo:

- Anónimos, é dicir, que vostede non poderá ser identificado nin sequera polo equipo investigador. En ningún caso se xuntarán os consentimentos outorgados, onde si se identifica o suxeito, cos instrumentos utilizados no estudo.

No uso que se realice dos resultados do estudo con fins de docencia, investigación, publicación e/ou divulgación respectarase sempre a debida confidencialidade dos datos de carácter persoal, de modo que as persoas participantes non resultarán identificadas ou identificables.

### b) *Dereitos de acceso, rectificación, supresión, limitación do tratamento, portabilidade e oposición dos seus datos*

Al recogerse los datos de forma anónima, no se podrán ejercer estos derechos ante la imposibilidad de relacionar la información recogida con una persona física o identificable.

*c) Cesión, reutilización e período de retención dos datos*

La información será guardada en un OneDrive al que sólo tendrán derecho de acceso mediante una contraseña los investigadores del estudio. Serán conservados durante el año posterior a la publicación del estudio, ya que pueden ser de interés para futuras investigaciones, siempre que se cuente con la autorización de los participantes.

### 3. CONSENTIMIENTO

Don/dona

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_,

maior de idade, con DNI \_\_\_\_\_ e domicilio en

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

DECLARO que

\_\_\_\_\_  
Fun informado/a de as características do estudo Si  Non

\_\_\_\_\_  
Lin a folia de información que me entregaron Si  Non

\_\_\_\_\_  
Puiden realizar observacións ou preguntas e fóronme aclaradas as dúbidas Si  Non

\_\_\_\_\_  
Comprendín as explicacións que se me facilitaron e en que consiste a miña participación no estudo Si  Non

\_\_\_\_\_  
Sei como e a quen me dirixir para realizar preguntas sobre o estudo no presente ou no futuro Si  Non

\_\_\_\_\_  
Fun informado/a dos riscos asociados á miña participación Si  Non

\_\_\_\_\_  
Son coñecedor/a de que non cumpro ningún dos criterios de exclusión como participante e que se isto cambiase ao longo do estudo débollo facer saber ao equipo de investigación Si  Non

\_\_\_\_\_  
Confirmo que a miña participación é voluntaria Si  Non

\_\_\_\_\_  
Comprendo que podo revogar o consentimento en calquera momento sen ter que dar explicacións e sen que repercuta negativamente na miña persoa Si  Non

## CONSINTO

Participar no estudo	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se utilicen os datos facilitados para a investigación	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se utilicen os datos facilitados en publicacións científicas	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se utilicen os datos facilitados en reunións e congresos	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se utilicen os datos facilitados para a docencia	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se realicen fotografías para a obtención dos datos	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se grave en audio para a obtención dos datos	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se grave en vídeo para a obtención dos datos	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se utilicen citas textuais das miñas intervencións, sen identificar, con fins de docencia	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se utilicen citas textuais das miñas intervencións, sen identificar, en publicacións	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se use material sensible (fotografías, audio, vídeo) con fins de docencia	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se use material sensible (fotografías, audio, vídeo) en publicacións	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se conserven os datos de forma anónima ao finalizar o estudo para o seu uso en futuras investigacións	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que se conserven os datos codificados ao finalizar o estudo para o seu uso en futuras investigacións sempre que garantan o tratamento dos datos conforme a este consentimento	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Que contacten comigo para obter novos datos	Si <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>

## SOLICITO



		:
--	--	---

A persoa menor ou sen capacidade para tomar por si mesma a decisión de participar ha de ser informada coa maior claridade posible, e o consentimento dos seus representantes ha de ter en conta os seus desexos e obxeccións (Lei 14/2007, artigo 20).

A persoa menor de idade madura (con capacidade intelectual e emocional) ten dereito a ser oída e ha de consentir a súa participación. Presúmese a madurez a partir dos 12 anos.



		Sinatura:
--	--	-----------

A persoa menor ou sen capacidade para tomar por si mesma a decisión de participar ha de ser informada coa maior claridade posible, e o consentimento dos seus representantes ha de ter en conta os seus desexos e obxeccións (Lei 14/2007, de investigación biomédica, art. 20).

A persoa menor de idade madura (con capacidade intelectual e emocional) ten dereito a ser oída e ha de consentir a súa participación. Presúmese a madurez a partir dos 12 anos.

## **Anexo 4: Carta al Comité de Ética**

Estimado Comité de Ética,

Me dirijo a ustedes para informales que estoy llevando a cabo un proyecto de investigación titulado “Comparación de capacidades físicas en pacientes con diferentes tipos de ligamentoplastia del ligamento cruzado anterior”.

El objetivo de este estudio es el de comparar el grado de asimetría en la fuerza reactiva durante determinados gestos deportivos consistentes en saltos en paciente con plastia hueso-tendón-hueso frente a pacientes con plastia de tendón del semitendinoso después de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior de la rodilla.

Es nuestra obligación poner en su conocimiento que para el desarrollo del estudio necesitaremos 66 participantes para el grupo de la plastia hueso-tendón-hueso y 66 participantes para el grupo de la plastia con tendón del semitendinoso. También necesitaremos 66 participantes para el grupo control. La muestra se obtendrá por muestreo aleatorio simple entre los participantes voluntarios.

Así mismo, adjuntamos la documentación necesaria. Expuesta nuestra solicitud, esperamos su aceptación.

Reciban un cordial saludo.

En A Coruña a      de      de 2023.