



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN FISIOTERAPIA

**DIFERENCIAS EN EL CONTROL DINÁMICO DEL VALGO DE RODILLA EN  
RELACIÓN A LA LONGITUD DE LOS SEGMENTOS ÓSEOS DE LA EXTREMIDAD  
INFERIOR EN UNA POBLACIÓN FEMENINA DURANTE UN DROP JUMP  
VERTICAL BILATERAL**

Autor: Cristian Sáenz Martín

Director: Igor Setuain Chourraut

## RESUMEN

**Introducción:** la lesión del ligamento cruzado anterior supone una de las patologías de rodilla de origen multifactorial más frecuentes en la práctica deportiva viéndose afectadas en mayor medida las mujeres.

El estudio de factores de riesgo biomecánicos y variables relacionadas mediante métodos estandarizados y fiables de valoración como el salto tipo “drop jump vertical” supone una fuente de información vital para conocer el origen de la lesión del LCA.

**Objetivo:** examinar el efecto de la altura sobre la cinemática de la rodilla a través de un análisis bidimensional en los planos frontal y sagital durante un drop jump vertical bilateral.

**Metodología:** se realizó un estudio descriptivo y de corte transversal en mujeres de entre 18 y 25 años de edad ( $n = 20$ ) sin ninguna patología previa de miembro inferior. Se dividieron por alturas,  $\geq 1,70$  y  $\leq 1,67$  metros.

Las sujetos fueron grabados en vídeo en los planos frontal y sagital durante un salto “drop jump” bilateral para el posterior análisis del valgo dinámico y flexión de rodilla a través de la medición del ángulo femorotibial.

**Resultados:** se evidenció que las mujeres de  $\geq 1,70$  metros de estatura tienen mayor excursión al valgo en la pierna dominante cuando el centro de masas se encuentra más bajo durante el aterrizaje en un drop jump ( $p < 0.05$ ).

Se observó que la pierna dominante tiene valores de fuerza más altos que la no dominante ( $p < 0.05$ ). A su vez se demostró que el ratio de ambas piernas no predice la excursión angular a valgo ni a la flexión tanto en la fase de contacto inicial del pie como cuando el centro de masas se halla más bajo durante el aterrizaje del salto.

**Conclusiones:** las sujetos más altas presentaron mayor excursión al valgo cuando el centro de masas estaba más bajo exclusivamente en su pierna dominante respecto a las sujetos más bajas.

**Palabras Clave:** riesgo de lesión del LCA, biomecánica de rodilla, drop jump vertical, medición cinemática, valgo de rodilla

## **ABSTRACT**

**Introduction:** Anterior cruciate ligament injury represents one of the most prevalent knee pathologies in sports practice with a multifactorial origin, being women the most affected.

The study of biomechanical risk factors and related variables using standardized and reliable evaluation methods as type "vertical drop jump" is a source of vital importance to know the inception of ACL injury.

**Objective:** to examine the effect of height on the kinematics of the knee through a two-dimensional analysis in the frontal and sagittal planes during a bilateral drop vertical jump.

**Methods:** a descriptive and cross-sectional study which was performed among women between 18 and 25 years old (n = 20) with no previous lower limb injury. They were divided into heights of  $\geq 1.70$  and  $\leq 1.67$  meters.

The subjects were recorded in the frontal and sagittal planes during a bilateral "vertical drop jump" for further analysis of dynamic knee valgus and flexion measured by femorotibial angle.

**Results:** it evidenced that women of  $\geq 1.70$  meters possess greater valgus excursion in the the dominant leg when the center of mass was lowest during landing on a drop jump ( $p < 0.05$ ).

It was observed that the dominant leg has higher force values than the non dominant ( $p < 0.05$ ). At the same time it was shown that the ratio of both legs don't predict the angular excursion valgus or flexion both during initial foot contact as when the center of mass is lowest during jump landing.

**Conclusions:** taller women had greater valgus excursion when the center of mass was lowest only on their dominant leg respect in regard to shorter women.

**Keywords:** ACL injury risk, knee biomechanics, drop vertical jump, kinematic measure, knee valgus

## ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN.....	1
2.HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	6
3.METODOLOGÍA Y MATERIALES .....	7
4.RESULTADOS.....	12
5.DISCUSIÓN.....	16
6.CONCLUSIONES.....	21
7.AGRADECIMIENTOS.....	22
8.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
9.ANEXOS.....	25

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- **(BDJ)** Bounce drop jump
- **(CMJ)** Counter-movement jump
- **(LCA)** Ligamento cruzado anterior
- **(SSC)** Ciclo estiramiento-acortamiento

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las lesiones más comunes en deportes que impliquen un sobreesfuerzo del miembro inferior es la rotura del ligamento cruzado anterior. Deportes en los se exija modificar de forma rápida el ritmo y la velocidad, donde haya cambios bruscos de dirección o que se vean implicadas paradas repentinas o saltos, serán los más propensos a lesión (25). Con una incidencia de lesión al año que en Estados Unidos llega a alcanzar entre 200 y 250 mil de roturas del LCA, dando a su vez consecuencias lesivas a largo plazo si no se realiza una correcta recuperación tales como artrosis, aumento del índice de masa corporal aparte de la imposibilidad de volver a competir (13, 9). En concreto, los saltos suponen una gran carga para el LCA, ejerciendo más estrés sobre éste durante el aterrizaje en comparación con el despegue (3). Afectando de 4 a 6 veces más a las mujeres respecto a hombres suponiendo situaciones similares de aterrizaje y movimientos de cambios bruscos de dirección (7, 8, 16).

El LCA proporciona estabilidad en la traslación tibial anterior y el valgo de rodilla y su mecanismo lesional más común es el colapso de la articulación de la rodilla hacia valgo y rotación interna. Este mecanismo de movimiento excesivo a valgo ha sido determinado como principal contribuyente a la lesión de LCA. Dicho patrón aberrante ocurre en los dos sexos por igual pero es más acentuado entre mujeres respecto a hombres presentando mayor carga de la tibia en abducción y por lo tanto mayor riesgo de lesión del LCA (23, 25).

La incidencia lesional en mujeres es de origen multifactorial. Existen múltiples factores de riesgo tales como anatómico, hormonal, biomecánico o neuromuscular.

Los factores de riesgo anatómicos incluyen el aumento del ángulo q (línea que se traza desde la espina ilíaca antero superior hasta el centro de la rótula), "narrow femoral intercondylar notch" (una reducción del espacio intercondíleo femoral) e hipermovilidad y/o hiperlaxitud, acentuándose más en mujeres. Algunas variables biomecánicas han sido directamente relacionadas con un incremento en el riesgo de daño en el LCA por el mecanismo de lesión tipo "non-contact" que se explicará más adelante (3).

Además se ha observado que la disminución de fuerza en los ligamentos y alteraciones en el patrón de reclutamiento es debido a diferencias entre el sexo, viéndose otra vez más afectadas las mujeres (7).

También se ha evidenciado que alteraciones en las estrategias neuromusculares o una disminución en el control neuromuscular debido a una mecánica anormal de la extremidad inferior puede ser la causa subyacente de un alto riesgo de daño en el LCA (8, 1).

No obstante aparte de la articulación de la rodilla, entran en juego otras partes del cuerpo como el tronco, la cadera, los tobillos que en conjunto contribuyen a la absorción de las cargas en el LCA y el impacto durante el aterrizaje en el salto (1, 2, 4).

Visto que el daño en el LCA supone una lesión más que frecuente en la población femenina, el presente estudio analizará un salto (drop jump) cuya medición ha sido validada y estandarizada para la valoración de la lesión del cruzado.

## **Acerca del drop jump**

Se trata de un tipo de salto en el que el sujeto se deja caer desde una altura determinada para nada más aterrizar, realizar un salto vertical máximo que finalizará en la deceleración de su cuerpo para volver a un estado de reposo.

Este tipo de salto es comúnmente utilizado en la práctica deportiva como método de evaluación e investigación de un amplio abanico de variables respecto a factores biomecánicos y fisiológicos del cuerpo además de ser usado como tratamiento para mejorar la capacidad explosiva de la extremidad inferior. También se aplica para el entrenamiento de los músculos extensores de la pierna para la ejecución y eficiencia de una maniobra atlética además de poder ser empleado como método preventivo de lesiones.

Es ampliamente usado para la evaluación de la función de la musculatura extensora de la pierna bajo las condiciones del ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC), el cual se trata de un estiramiento activo que supone la contracción excéntrica de un músculo seguido de un acortamiento inmediato de contracción concéntrica del mismo músculo (5).

Si el deporte o actividad involucra algún gesto con saltos, eso supondrá que existirá un SSC por lo que los ejercicios de entrenamiento tendrán que ir orientados hacia unas condiciones lo más parecidas posibles. Para ello habrá que escoger un ejercicio pliométrico similar (consistente en ejercitar la fuerza explosiva y velocidad ayudándose de la capacidad elástica muscular) como es el drop jump (4, 5).

## **Riesgo de lesión del LCA**

El drop jump proporciona una gran cantidad de información acerca de cómo se encuentra y que probabilidades de lesión tiene un sujeto deportista o no. No solo se dedica a medir la capacidad explosiva del miembro inferior sino que puede ser utilizado para medir infinidad de variables como la angulación de las articulaciones, el tiempo de vuelo, el tiempo de salto, patrones aberrantes, el stiffness muscular, momentos de fuerza, la cinética y cinemática, la fuerza de reacción del suelo, la actividad eléctrica muscular con electromiografía, la predominancia de una pierna u otra o la eficiencia de un gesto deportivo.

En términos de valoración cinemática, se ha estudiado cómo la magnitud de la flexión de caderas y rodillas durante el aterrizaje de un salto tipo drop jump ha sido altamente asociado a un riesgo de lesión del LCA. De hecho, la flexión limitada se relaciona con mayores momentos de fuerza y movimientos en el plano frontal lo que se traduce en daño sobre el ligamento cruzado. Mientras que una gran flexión (mayor excursión angular) se asocia a una reducción del torque en valgo (16).

El entrenamiento del drop jump permite al atleta incrementar la preactivación y pre estiramiento de los músculos. Los entrenadores o evaluadores pueden servirse de ésta información para evaluar las técnicas de aterrizaje durante la maniobra o gesto deportivo concreto, las cuales son vitales para la producción de fuerza (6).

Todo esto es increíblemente útil para encontrar los déficits que tenga el sujeto y tratar de solventarlos, por ello es de vital importancia la correcta realización de la maniobra del salto.

### Técnicas de salto:

Existen diversas técnicas de cómo ejecutar el salto en función de lo que se esté buscando, además de instruir al sujeto para realizarlo en base a unas órdenes, como podría ser que trate de alcanzar la mayor altura posible o un tiempo mínimo de contacto con el suelo.

Existen, de forma general, dos técnicas dependiendo de si lo que buscamos es fuerza explosiva en los extensores de rodilla y flexores plantares de tobillo y que realice una mayor producción de fuerza aunque la altura saltada sea menor (bounce drop jump). O por el contrario, si nuestro objetivo es que el sujeto aprenda a absorber adecuadamente el impacto del salto (counter-movement drop jump), aunque hay muchas más formas de efectuar el drop jump.

En la primera se trata de revertir la velocidad descendente con la que cae el sujeto en una velocidad ascendente tan pronto como el sujeto cae y toca el suelo mientras que la segunda se centra en desarrollar el salto de forma en que el movimiento sea mucho más gradual haciendo un movimiento descendente más largo.

El bounce drop jump (BDJ) es más recomendado para el desarrollo neuromuscular ya que involucra menor flexión de rodilla y un mínimo tiempo de contacto con el suelo buscando mayor reactividad del sujeto y el counter-movement drop jump (CMJ) puede ser más indicado para la coordinación del salto debido a un incremento de la flexión de rodilla y tiempo de contacto con el suelo (4).

En base a lo anteriormente dicho, con estas dos técnicas se miden diferentes cualidades y se espera que produzcan efectos diferentes sobre el entrenamiento, por eso a la hora de entrenar la pliometría hay que adaptarlo al gesto técnico más parecido, además de proporcionar siempre un apropiado feedback (5).

Un factor a destacar en el aumento del riesgo de lesión del cruzado es el aterrizaje del salto con el retropié. Un aterrizaje correcto siempre comienza con el antepié para acabar con el retropié ya que puede transmitir con más articulaciones la fuerza de reacción del suelo y soportar mejor las cargas. Si se diera directamente con el retropié se estarían eliminando más “muelles” (articulaciones) que absorban el impacto (3).

### **Estudios biomecánicos**

En la práctica deportiva tanto el salto como su posterior aterrizaje ha sido tremendamente investigado para evaluar el daño potencial que conlleva. El estudio del salto se centra en entender la ejecución del movimiento, como el cuerpo genera y utiliza la fuerza necesaria para asimilar el impacto de la carga del peso corporal y ver las implicaciones biomecánicas en los tejidos del miembro inferior (2, 4).

Mientras sucede una caída desde una distancia sobre el suelo durante el salto, la persona transforma su energía potencial en cinética. En el subsecuente aterrizaje se involucran movimientos diseñados para disipar la energía cinética y será caracterizado por un trabajo ejecutado por los músculos del miembro inferior y tronco.

Respecto a las lesiones de LCA, como ya se ha mencionado antes existen diversas razones por las cuales se producen. No obstante durante el salto ocurre en muchas ocasiones que fuerzas externas son aplicadas demasiado rápido para ser modificadas por una reacción



de respuesta del sistema neuromuscular durante un gesto deportivo que requiera el salto (2).

El hecho es que el aterrizaje durante la recepción del salto produce diversos efectos sobre todos los segmentos articulares, que a lo largo de años se llevan estudiando en un intento de reducir los factores de riesgo de sufrir patología de cualquier índole, no solo del LCA. Desde altas fuerzas de reacción del suelo que se traducen en valores más largos de torque en este caso de rodilla (pudiendo romper el LCA) hasta fuerzas de compresión de rodilla, rotación interna tibial y flexión insuficiente de cadera y rodilla. La prevalencia de estas variables mecánicas durante la recepción del salto puede ser atribuido a déficits del control neuromuscular entre otras razones (16).

De hecho, el impacto durante el salto que no es absorbido de forma adecuada, puede llegar a dar uno de los mecanismos lesionales más comunes. Se trata del denominado "non-contact injury", el cual consiste en una deceleración justo antes de un cambio de dirección o aterrizaje con la rodilla entre 20º y extensión completa que afecta en especial a atletas femeninas. De hecho, aproximadamente el 70 % de los daños del LCA ocurren bajo este tipo de mecanismo lesional (16). Cabe destacar que los programas de prevención orientados a evitar lesiones de este tipo que incluyan ejercicios pliométricos tienden a reducir hasta un 73.4 % del riesgo relativo de lesión (9).

Las atletas femeninas tienden a presentar un mayor movimiento hacia valgo durante maniobras deportivas de regate o recepción del salto (lo que a posteriori se traducirá en una peor coordinación biomecánica y neuromuscular), a esto se le denomina "ligament dominance".

Este término se refiere a que la musculatura de la extremidad inferior no absorbe adecuadamente las fuerzas después de un gesto deportivo, donde el movimiento hacia valgo produce una carga excesiva en los ligamentos de la rodilla, en especial al LCA. Además se encuentran mayores fuerzas de reacción del suelo, mayores momentos y movimiento en valgo, y también se relaciona con la incapacidad de la musculatura de un atleta para controlar el torque en las articulaciones del miembro inferior, en especial la rodilla, durante dicha maniobra deportiva (7). Teniendo en cuenta que los patrones de movimiento de toda la extremidad inferior durante el salto influyen las fuerzas de carga y deformación sobre los ligamentos, un correcto feedback neuromuscular adaptado podrán modificar los patrones aberrantes para paliar cualquier riesgo de lesión (15, 26).

A menudo se puede observar también que puede llegar a producirse un desequilibrio entre la fuerza muscular y los patrones de reclutamiento en extremidades opuestas demostrando mejor control dinámico en un lado que en otro (leg dominance) además de una descompensación en el patrón de reclutamiento de la musculatura flexora y extensora (quadriceps dominance). En este caso las atletas femeninas tienden a confiar más en su cuádriceps sobre los isquiotibiales para asegurar la estabilidad dinámica de rodilla en el salto y aterrizaje (7, 9).

Lo que en consecuencia produce un retraso en la activación de los isquiotibiales en relación al cuádriceps, provocando mayores fuerzas de cizallamiento y por lo tanto mayor traslación anterior de tibia y valgo en las rodillas, incrementando el estrés del LCA.

El siguiente estudio observará la realización de la maniobra de salto del tipo drop jump vertical bilateral. Midiendo cómo se produce el control de la alineación de los segmentos óseos en la extremidad inferior, específicamente en la rodilla y tratar de establecer si la longitud de los mismos está implicada en dicho control.

## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

Habiendo establecido previamente un marco conceptual en relación a la lesión del LCA y teniendo en cuenta su origen multifactorial, se establecerán la **hipótesis** y los **objetivos**.

### **2.1 Hipótesis**

- A mayor longitud de los segmentos óseos de fémur y tibia, mayor probabilidad de valgo dinámico de rodilla en el aterrizaje de un drop jump vertical bilateral.

### **2.2 Objetivos**

#### **Objetivo principal**

- Medir el efecto de la altura en la excursión angular al valgo y a la flexión de rodilla mediante un análisis cinemático bidimensional durante la realización de un drop jump vertical bilateral en los planos frontal y sagital.

#### **Objetivo secundario**

- Medir el efecto de los ratios de la extremidad dominante y no dominante para comprobar si existen diferencias entre sí y si dicho ratio guarda relación con el movimiento a valgo y a flexión de rodilla descrito por la extremidad inferior durante la realización del drop jump.

### 3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El diseño de este proyecto de trabajo fin de grado ha sido basado en la literatura científica publicada en relación a la valoración y medición de factores de riesgo de lesión del LCA.

#### 3.1. Diseño experimental

Se trata de un estudio descriptivo de corte transversal en el que se registraron los valores de la flexión y excursión angular del valgo de rodilla en los planos sagital y frontal respectivamente además de una prueba isocinética para cuantificar la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales.

El estudio se realizó por completo en las instalaciones de la Universidad Pública de Navarra, en el laboratorio de biomecánica y fisiología de Tudela.

#### 3.2 Sujetos

El experimento se realizó conforme a los estamentos de la Declaración de Helsinki.

En el presente estudio hubo 21 participantes, todas mujeres con las siguientes características antropométricas:

**Tabla 1** Valores medios (media  $\pm$  desviación estándar) de las características antropométricas de las sujetos

EDAD	20.95	$\pm$ 1.572
TALLA	169.25	$\pm$ 7.319
PESO	61.53	$\pm$ 6.788
IMC	21.5	$\pm$ 2.215
TEGNER*	4.85	$\pm$ 1.182

\*Escala de nivel de actividad física (véase anexo 1)

Los criterios de selección que han tenido que cumplir los participantes del estudio son:

Criterios de inclusión:

- Mujeres
- Sedentarias o deportistas únicamente a nivel recreacional

- Entre 18 y 25 años

Criterios de exclusión:

- Cualquier patología de miembros inferiores agudo y/o crónico en los últimos 6 meses
- Cualquier patología a nivel neuromuscular y vestibular

Antes de iniciar la participación en el estudio, los sujetos recibieron toda la información relacionada con el estudio y posteriormente firmaron el consentimiento informado libre y voluntario (véase anexo 2) para poder participar en el proyecto de investigación. La información fue transmitida de manera individual a cada sujeto (mediante un panfleto informativo, véase anexo 3) y tuvieron la oportunidad de resolver todas las dudas que surgieron.

Los sujetos (N=21) que cumplieron los criterios establecidos de inclusión y exclusión realizaron todo el protocolo del estudio de forma normal a excepción de uno solo. Este sujeto no se incluyó en el estudio por un error metodológico, ya que la grabación en vídeo fue incompleta y no realizó correctamente el test isocinético por una confusión a la hora de proporcionar el feedback necesario durante la prueba. Por lo que la muestra se redujo de 21 a 20 sujetos.

### **3.3 Procedimiento de evaluación**

Se optó por un sistema de análisis de movimiento en laboratorio, que sin duda, es el estándar preferente para la investigación de los factores de riesgo biomecánico.

#### **3.3.1. Altura y peso**

El peso fue recogido mediante una balanza equilibrada la cual incorporaba un sistema para medir la altura por lo que todo fue registrado en el mismo momento.

#### **3.3.2. Longitud de los segmentos óseos**

Para medir la longitud de los segmentos óseos del miembro inferior se colocaron a los sujetos en decúbito supino con caderas y rodillas en posición neutra. Con una cinta métrica se tomaron medidas del fémur (desde trocánter mayor hasta cóndilo femoral externo) y de la tibia (desde cabeza del peroné hasta maléolo peroneal externo).

Para poder dejar reflejado en el estudio cuál era la pierna dominante de las sujetos y así hacer el análisis posterior, se les hizo la siguiente pregunta: ¿qué pierna utilizarías para darle una patada a un balón? Se ha dado el caso de que todas las sujetos son diestras, por lo que su pierna dominante es la derecha.

#### **3.2.3. Calentamiento**

Tras haber realizado las mediciones antropométricas, se procedió a efectuar un calentamiento previo a la prueba para activar la musculatura. Preparando a las articulaciones para el posible estrés y disminuyendo los coeficientes de fricción de las estructuras envueltas en la ejecución de la maniobra (músculos, tendones, cartílago) con

el objetivo de prevenir cualquier tipo de lesión asociado con la realización de la prueba (14).

El calentamiento constó de 2 ejercicios:

1→ 5 minutos corriendo en un tapiz a una velocidad de 7 km/hora.

2→ 2 series de sentadillas de 5 repeticiones con un descanso de 1 minuto entre cada serie. Con esto tratamos de simular unas condiciones parecidas a la recepción del salto y así familiarizar a los sujetos con la tarea que tendrán que desarrollar.

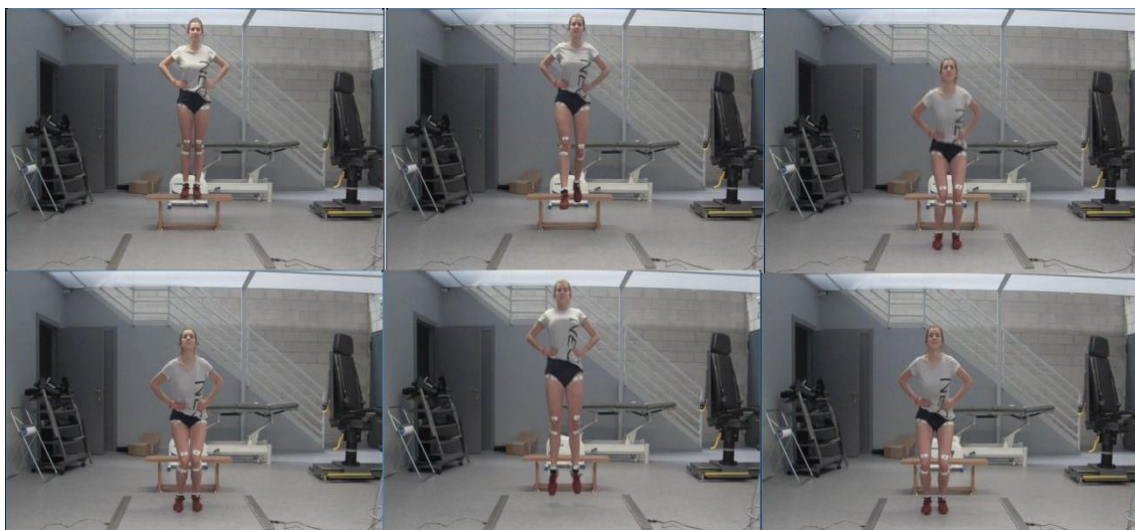
### 3.2.4. Análisis del drop jump

Previo a ser grabado, el sujeto tuvo que realizar 3 saltos de familiarización con manos en caderas además de recibir instrucciones necesarias para poder ejecutar la maniobra del drop jump. Fue explicado que se debía dejar caer desde el cajón al suelo con manos en las caderas en todo momento y se le indicó que saltara lo más alto que pudiera nada más que sus pies contactaran con el suelo.

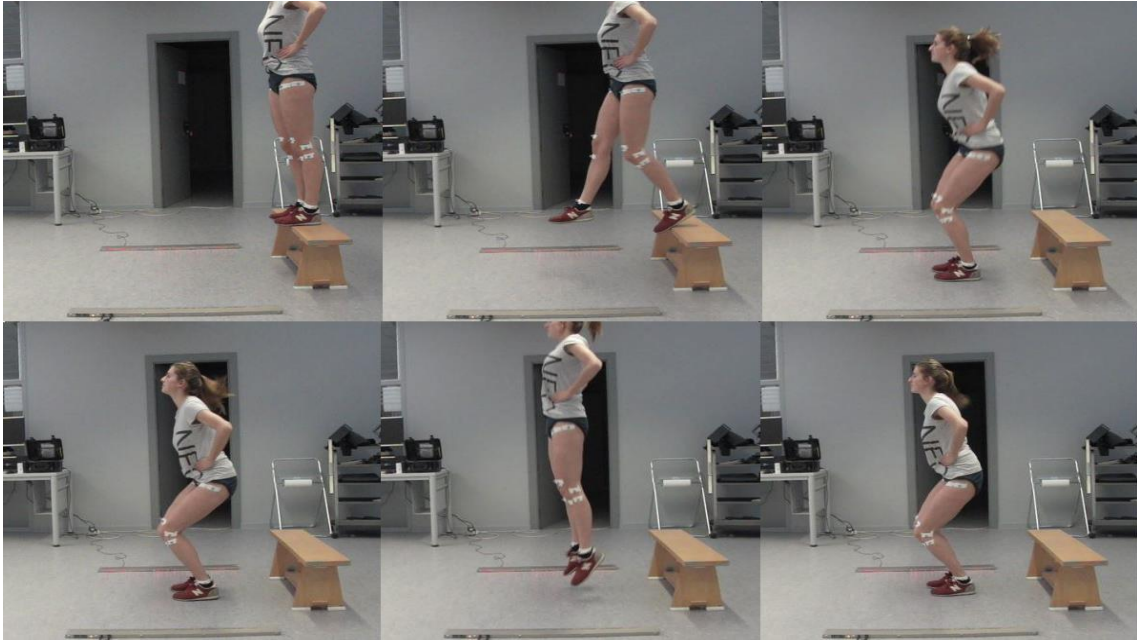
En el caso de que necesitara mejorar algún aspecto o si fue errónea su forma de saltar, tuvo la oportunidad de repetir el salto tantas veces como fuera necesario.

El sujeto tuvo que realizar 3 saltos válidos donde fue recogida tanto la imagen en vídeo como la altura saltada y los tiempos de contacto. En el caso de error tanto por el paciente como por los investigadores a la hora de sincronizar las cámaras y el programa de la plataforma, se repitió el salto hasta obtener 3 mediciones válidas.

Previo a la realización del salto, el sujeto fue instado a vestir con un pantalón lo más corto posible y calzado deportivo. Fue preparado con marcadores en distintas partes del cuerpo para poder realizar más adelante el análisis cinemático de la excursión angular en el plano frontal y sagital de la articulación de la rodilla.



**Figura 1** Realización del drop jump desde el plano frontal (la sujeto concedió su permiso para aparecer en la figura)



**Figura 2** Realización del drop jump desde el plano sagital (la sujeto concedió su permiso para aparecer en la figura)

Fueron colocados en ambas piernas un total de 16 marcadores retro reflectantes en los siguientes referentes anatómicos:

- trocánter mayor y proyección anterior del trocánter
- 2 dedos por encima del polo superior de la rótula
- cóndilo femoral externo
- cabeza de peroné
- tuberosidad anterior de tibia
- mortaja tibioperoneo-astragalina
- maleolo peroneal lateral

Se utilizó un cajón de 40 centímetros de altura, la cual es una altura idónea para evitar un alto impacto en los talones por mayor fuerza de reacción del suelo y lo suficientemente alto como para no provocar una recepción demasiado asimétrica en el aterrizaje.

Se dispuso un cajón y una plataforma de saltos situada justo delante, lugar donde se dará el salto. Se usaron dos cámaras digitales de alta velocidad casio exilim ex-fh25 con una velocidad de grabación de 120 fps. Ambas dos situadas una en el plano frontal y otra en el sagital del lado de la pierna no dominante para poder realizar posteriormente el análisis cinemático.

La plataforma de saltos registró por un lado, el tiempo de contacto en el que el sujeto está en el suelo (entre la fase excéntrica y concéntrica) y por otro lado la altura máxima saltada.

### 3.2.5. Evaluación isocinética

La valoración isocinética se efectuó para registrar el peak torque de cada músculo así como el ratio total de cuádriceps e isquiotibiales de cada pierna. Entendiendo como torque el producto de la fuerza muscular por la distancia de palanca medido en newton-metro.

Para ello se programó el isocinético a 180° teniendo que realizar el sujeto durante la prueba una flexión y extensión sucesiva de rodilla instándole que lo realizara a la máxima velocidad y fuerza posible. Los sujetos ejecutaron 3 de prueba y 7 de test.

Se proporcionó el adecuado feedback para obtener el máximo rendimiento en la prueba tanto antes como durante el ejercicio.

### **3.2.6. Análisis cinemática del salto**

Para poder realizar la medición de los ángulos de rodilla tanto del valgo como la flexión máxima se utilizó el programa de ordenador kinovea (kinovea open source project).

Para medir los ángulos de forma precisa, se sincronizaron los vídeos de ambas cámaras con el kinovea en el momento en que la punta de los pies alcanzaba el suelo en los vídeos en ambos planos frontal y sagital.

Se tomaron valores del ángulo femorotibial de la rodilla en dos instantes durante la “entire landing phase”. Uno que se corresponde al momento de “initial contact” cuando todo el pie incluido el talón contacta con el suelo (instante entre los 17 a 50 primeros milisegundos donde se da la rotura del LCA), y otro en el momento “maximal flexion instant” cuando el centro de masas del cuerpo está más bajo.

Dichas mediciones fueron realizadas en las dos piernas en el plano frontal y en la pierna no dominante en el plano sagital de 2 de los 3 saltos registrados. Escogiendo particularmente los dos saltos cuyos valores fueran los más parecidos entre sí.

A la hora de realizar el análisis estadístico se seleccionaron los datos específicos del mejor salto realizado.

### **3.2.7. Análisis estadístico**

Se comprobó la normalidad de la distribución de todas las variables con una prueba de Shapiro-Wilk (para muestras con una  $N < 30$ ). Si alguna de las variables no tuvo una distribución normal, se realizaron los test estadísticos no paramétricos (Wilcoxon). La comparación estadística se realizó mediante la prueba T de Student para muestras independientes y relacionadas. Se utilizó una regresión lineal para la correlación de las variables. El valor de  $p \leq 0.05$  fue el criterio utilizado para establecer diferencias significativas.

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa SPSS versión 22.



#### 4. RESULTADOS

A lo largo de este apartado se mostrarán los resultados recogidos de los 20 sujetos mostrando los valores durante el estudio sobre la excursión angular al valgo, la flexión y la prueba isocinética. A continuación se muestra el análisis descriptivo de la muestra de sujetos:

<b>N = 20</b>	<b>MEDIA</b>	<b>DESV. TÍP.</b>	<b>INTERVALO DE CONFIANZA (95%)</b>
<b>EDAD</b>	20.95	1.572	20.21 – 21.69
<b>TALLA</b>	169.25	7.319	165.82 – 172.68
<b>PESO</b>	61.53	6.788	58.35 – 64.7
<b>IMC</b>	21.5	2.215	20.46 – 22.54
<b>TEGNER</b>	4.85	1.182	4.3 – 5.4

Los resultados serán mostrados en 2 apartados: resultados estratificados por alturas ( $\leq 167$  y  $\geq 170$ ) y sin estratificar.

A su vez se dividirá en diversos subapartados presentando los datos medidos de la angulación del valgo de rodilla en las dos fases del salto, el peak torque y ratio total de cuádriceps e isquiotibiales, tanto en pierna dominante como no dominante.

##### 4.1 Resultados estratificados por altura

Se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre la longitud de los segmentos óseos de fémur y tibia. No hubo ninguna disimetría entre dichos segmentos tanto en pierna dominante como no dominante mayor de 2 cm.

##### 4.1.1. Excursión angular al valgo y a la flexión en la pierna dominante y no dominante

Las sujetos más altas (ME= 176.10, DE= 6.190) no tienen mayor excursión al valgo que las sujetos más bajas (ME= 179.9, DE= 6.855) en la pierna dominante durante la fase de contacto inicial en el drop jump ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 176.30, DE= 8.301) no tienen mayor excursión al valgo que las sujetos más bajas (ME= 177.9, DE= 5.840) en la pierna no dominante durante la fase de contacto inicial en el drop jump ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 166.60, DE= 4.115) tienen mayor excursión al valgo que las sujetos más bajas (ME= 179.6, DE= 9.913) en la pierna dominante cuando el centro de masas está más bajo en el drop jump ya que si se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 168, DE= 12.257) no tienen mayor excursión al valgo que las sujetos más bajas (ME= 175.4, DE= 6.077) en la pierna no dominante cuando el centro de masas está más bajo en el drop jump ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 125.7, DE= 6.413) no tienen mayor excursión a la flexión que las sujetos más bajas (ME= 125.5, DE= 9.869) en la pierna no dominante durante la fase de contacto inicial en el drop jump ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 106.4, DE= 8.669) no tienen mayor excursión a la flexión que las sujetos más bajas (ME= 98.6, DE= 14.081) en la pierna no dominante cuando el centro de masas se halla más bajo en el drop jump ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

#### **4.1.2. Torque de cuádriceps e isquiotibiales de la pierna dominante y no dominante**

Las sujetos más altas (ME= 84.1, DE= 11.080) no tienen mayor valor de torque en el cuádriceps que las sujetos más bajas (ME= 75.4, DE= 13.108) en la pierna dominante durante la realización de un test isocinético ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 80.7, DE= 11.908) no tienen mayor valor de torque en los isquiotibiales que las sujetos más bajas (ME= 75.4, DE= 6.653) en la pierna dominante durante la realización de un test isocinético ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 94.10, DE= 23.863) no tienen mayor valor de torque en el cuádriceps que las sujetos más bajas (ME= 90.20, DE= 23.804) en la pierna no dominante durante la realización de un test isocinético ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

Las sujetos más altas (ME= 68.4, DE= 25.553) no tienen mayor valor de torque en los isquiotibiales que las sujetos más bajas (ME= 61.30, DE= 20.083) en la pierna no dominante durante la realización de un test isocinético ya que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

#### **4.2 Resultados sin estratificar por altura**

#### **4.2.1. Relación entre el ratio y la excursión angular al valgo de la pierna dominante y no dominante**

Se estima la regresión lineal simple del ratio del cuádriceps de la pierna dominante sobre la excursión al valgo durante la fase de contacto inicial y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.065 (6.5%), indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

Se estima la regresión lineal simple del ratio del cuádriceps de la pierna dominante sobre la excursión al valgo cuando el centro de masas se halla más bajo y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.025 (2.5%), indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

Se estima la regresión lineal simple del ratio del cuádriceps de la pierna no dominante sobre la excursión al valgo durante la fase de contacto inicial y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.061 (6.1%), indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

Se estima la regresión lineal simple del ratio del cuádriceps de la pierna no dominante sobre la excursión al valgo cuando el centro de masas se halla más bajo y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.071 (7.1%), indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

Se estima la regresión lineal simple del ratio del cuádriceps de la pierna no dominante sobre la excursión a la flexión durante la fase de contacto inicial y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.042 (4.2%), indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

Se estima la regresión lineal simple del ratio del cuádriceps de la pierna no dominante sobre la excursión al valgo cuando el centro de masas se halla más bajo y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.000, indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

#### **4.2.2. Relación entre la excursión a valgo y la excursión a la flexión en la pierna dominante y no dominante**

Se estima la regresión lineal simple de la excursión a valgo de la pierna no dominante sobre la excursión a la flexión en la fase de contacto inicial y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.002, indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

Se estima la regresión lineal simple de la excursión a valgo de la pierna no dominante sobre la excursión a la flexión cuando el centro de masas se encontraba más bajo y se prueba que estas dos variables no están relacionadas entre sí ya que la significancia tiene un valor  $p > 0.05$ .

El valor de  $R^2$  fue de 0.131 (13.1%), indicando a su vez una baja relación entre las dos variables.

#### **4.2.3. Ratio y torque de cuádriceps e isquiotibiales de la pierna dominante y no dominante**

Teniendo en cuenta el ratio de la pierna dominante (ME= 92.8, DE= 13.582) y la no dominante (ME= 53.55, DE= 6.886) se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ). Por lo que las sujetos tienen mayor valores de fuerza en la pierna dominante respecto a la no dominante.

Teniendo en cuenta el torque de cuádriceps de la pierna dominante (ME= 79.75, DE= 12.628) y la no dominante (ME= 92.15, DE= 23.284) se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Por lo que las sujetos tienen mayor valores de fuerza en el cuádriceps de la pierna no dominante respecto a la dominante.

Teniendo en cuenta el torque de cuádriceps de la pierna dominante (ME= 78.05, DE= 9.774) y la no dominante (ME= 64.85, DE= 22.663) se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Por lo que las sujetos tienen mayor valores de fuerza en los isquiotibiales de la pierna dominante respecto a la no dominante.

#### **4.2.4. Excursión angular al valgo en pierna dominante y no dominante**

Teniendo en cuenta el ratio de la pierna dominante (ME= 178, DE= 6.649) y la no dominante (ME= 177.1, DE= 7.033) se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). Por lo que no hay diferencias entre la pierna dominante y no dominante durante la excursión angular en la fase de contacto inicial.

Teniendo en cuenta el ratio de la pierna dominante (ME= 171.7, DE= 10.152) y la no dominante (ME= 173.1, DE= 9.952) se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). Por lo que no hay diferencias entre la pierna dominante y no dominante durante la excursión angular cuando el centro de masas está más bajo.

## **5. DISCUSIÓN**

El objetivo de este trabajo fin de grado fue determinar si la altura tiene algún efecto sobre la excursión angular al valgo y a la flexión de rodilla.

Además de analizar si los ratios de la extremidad dominante y no dominante difieren entre sí y si dicho ratio guarda relación con la excursión a valgo y a flexión de rodilla descrito por el miembro inferior.

### **5.1 Excursión angular al valgo según altura**

En el presente trabajo se estudió precisamente esta variable, y se evidenció que los sujetos que medían 1,70 metros o más tenían valores de excursión al valgo en la pierna dominante más altos respecto a los sujetos que medían 1,67 metros o menos. En este caso, los sujetos más bajos tienen menores valores de valgo dinámico y por ende menor probabilidad de lesión del LCA y las altas más probabilidad de daño.

Según estudios de Hewett y col. (2003) (7) la pierna dominante de las atletas femeninas obtuvieron mayores ángulos de valgo de rodilla respecto a la no dominante en dichas jugadoras. Este desequilibrio es indicativo de que los sujetos tienen mejor control dinámico en un lado respecto a otro y diferencias en el reclutamiento motor (leg dominance). Esto predispone a las atletas a una lesión del ligamento cruzado anterior en su pierna dominante (7, 24).

El modelo de Hewett concuerda con una parte de nuestra hipótesis, mostrando una excursión angular al valgo mayor en la pierna dominante, llegando a la misma conclusión que el presente estudio. Aunque Hewett realizó una medición cinemática parecida, su estudio midió las variables durante la "stance phase" y nuestro estudio lo hace en la "initial contact phase".

### **5.2 Excursión angular a valgo y a flexión**

En el caso de este estudio no hubo ninguna relación entre la excursión a valgo y la excursión a la flexión en la pierna no dominante en ninguna de las dos fases estudiadas en el salto. Lo que indica que en este caso, el valor del valgo no predice que vaya a haber una flexión de rodillas más limitada y por lo tanto mayor riesgo de lesión.

A su vez, tampoco hubo diferencias entre los sujetos altos y los bajos en la excursión a la flexión en ambas fases en la pierna no dominante. Por lo que se observa que los sujetos reciben de una forma parecida, a priori puede decirse que no se cumple la teoría del quadriceps dominance para los altos en esta muestra de población.

Brophy y col. (2010) (21) hablan de cómo se relaciona el daño en el LCA con un déficit de control de músculos rotadores externos y abductores de cadera y de control de isquiotibiales en la población femenina. Relacionan como el aumento de la angulación de valgo a menudo está relacionado con menor flexión de cadera y rodilla y por lo tanto menor absorción del impacto en el salto, mayor activación del cuádriceps (quadriceps dominance) y mayor desplazamiento anterior de la tibia que propicia más riesgo de lesión.

### **5.3 Torque de cuádriceps e isquiotibiales según altura**

No se encontró ninguna diferencia en los valores de fuerza de cuádriceps e isquiotibiales en pierna dominante y no dominante entre sujetos altas y bajas. No obstante fijándonos en las medias del torque de cuádriceps e isquios, las altas obtuvieron valores más altos en todas las variables. Aunque no hay significancia porque la “ $p > 0.05$ ”, probablemente esta capacidad ligeramente superior de fuerza se deba al hecho de que las altas disponen de mayor brazo de palanca cuando realizaron el test isocinético y por ello pudieron generar más fuerza.

### **5.4 Ratios de la pierna dominante y no dominante**

En relación a los resultados no estratificados por altura, gracias a la regresión lineal se comprobó que no existe ninguna relación entre los ratios de la pierna dominante y no dominante con la excursión a valgo y a la flexión en la fase de contacto inicial y de máxima flexión. Por lo tanto podemos aseverar que el ratio no predice la excursión angular ni al valgo ni a la flexión.

La pierna dominante, que en este caso fue la derecha para todas las sujetos mostró mayor valores de fuerza respecto a la no dominante. De hecho, a la pregunta de si que pierna sería la preferente para chutar un balón o apoyar el peso a la pata coja, la respuesta fue la derecha para todas. También hay que tener en cuenta que a la hora de realizar un test isocinético se compensa con más musculatura como abductores y aductores de cadera, por lo que no puede atribuirse toda la fuerza solo a los músculos del muslo.

### **5.5 Torque de cuádriceps e isquiotibiales**

De acuerdo a Myer y col. (2009) (19) un aumento en la fuerza y el reclutamiento de los isquiotibiales durante un salto es muy beneficioso para evitar daños en la rodilla además de que la contracción en los isquios incrementa la flexión de rodillas reduciendo la lesión del LCA.

En su estudio midieron como sujetos femeninas que tuvieron daño en el ligamento cruzado anterior presentaron menor fuerza en los isquiotibiales y similares valores de fuerza en cuádriceps respecto a sujetos sanas, las cuales tenían más fuerza en isquiotibiales. Llegaron a la conclusión de que si durante la fase de aterrizaje en un salto se tienen bien fortalecidos los isquiotibiales respecto al cuádriceps, disminuye de forma directa la lesión sobre el LCA.

En el presente estudio se dieron valores de torque más altos en cuádriceps de la pierna no dominante respecto a la dominante y mayores valores de torque en isquiotibiales en la pierna dominante respecto a la no dominante. De una forma, podría decirse cruzada, la fuerza de ambos músculos en ambas piernas se equilibra.

No obstante se observa que la pierna dominante aún a pesar de describir mayor excursión al valgo, por otra parte, tiene mayor fuerza en isquiotibiales. Por lo que según lo que describe Myer y col. (2009) (19) tiene a priori menor riesgo de lesión durante el impacto reduciendo esa contracción excesiva de cuádriceps y evitando la fuerza de cizallamiento que produce la traslación de la tibia hacia anterior (quadriceps dominance).

## 5.6 Altura de inicio

Una de las variables principales es la altura predeterminada desde la que el sujeto tenga que saltar. Es muy relevante ya que se esperan efectos distintos a distintas alturas.

Bobbert y col (1987) (10) realizó un estudio que actualmente sigue siendo de referencia a la hora de valorar los efectos de la altura sobre el sujeto en el drop jump. En su estudio se tienen en cuenta dos fases concretas en el drop para realizar las mediciones, la fase excéntrica o de aterrizaje (en la que el sujeto realiza el aterrizaje sobre el suelo teniendo que absorber el impacto) y la fase concéntrica o “push-off phase” (fase inmediatamente posterior a la excéntrica donde el sujeto se despegar del suelo para saltar lo más alto que pueda).

En dicho estudio se examinaron los efectos producidos a 20, 40 y 60 cm de altura durante las dos fases mencionadas y se pudo observar que: a mayor altura hubo mayor velocidad máxima de la contracción excéntrica (lógico teniendo en cuenta que el impacto a absorber por la estructura osteomuscular es mayor), durante la fase concéntrica el valor pico de la velocidad angular en los músculos dorsiflexores se observó a mayor altura requiriendo más tiempo para despegar y ejecutar el salto (es obvio que la velocidad angular sea mayor puesto que el sujeto tratará de contrarrestar el tiempo excesivo que está en la fase excéntrica).

Aunque se comprobó que la mayor velocidad angular de rodillas fue en 60 cm de altura, en la fase concéntrica tanto los momentos como la producción de fuerza sobre las articulaciones de tobillos y rodillas no se incrementaron por lo que se puede decir que el rendimiento mecánico de los músculos durante dicha fase no se ve incrementado por la altura. No obstante, a la hora de ejecutar un salto desde ésta altura, la teoría de “leg dominance” en cierto modo se corrige ya que la recepción en el aterrizaje se da de forma simétrica apoyando los dos pies a la vez, aunque en un principio hubiera un patrón de reclutamiento asimétrico.

De hecho a medida que incrementamos la altura base, se aumenta el tiempo de contacto con el suelo debido a que hay una mayor flexión de rodillas para absorber las elevadas fuerzas de reacción del suelo vertical que supone el aterrizaje, dando como resultado un salto más parecido al CMJ. Entendiendo esto, si ese tiempo de contacto con el suelo excede una duración determinada (0,25 segundos) (6), la producción de fuerza será considerablemente menor debido al retraso que se produce en la transición de las fases de excéntrico a concéntrico, causando a su vez una pérdida de la energía elástica acumulada que va en detrimento de esa producción de fuerza.

Ahora bien, ¿cuál es entonces la altura óptima para poder entrenar el salto y evitar el daño innecesario?

En el estudio de Bobbert se observó que a medida que se incrementa la altura se registran en la gráfica picos más agudos en la fuerza de reacción del suelo y las fuerzas netas de reacción en las articulaciones, concretamente el retropié. En consecuencia, los sujetos no fueron capaces de aterrizar correctamente desde 60 cm, incapaces de prevenir que sus talones impactasen de forma más brusca con el suelo.

Se puede inferir que la altura que mejor resultados obtendrá a la hora de entrenar será entre 20 y 40 cm. Viendo que los valores anteriores aumentaron con la altura,

desestimaremos 20 cm ya que da valores más bajos. Se uso por lo tanto 40 cm de altura a la hora de realizar el estudio.

Aunque se ha demostrado que a 20 y 40 cm existen diferencias bilaterales en la fuerza media, fuerza máxima, impulso y que el apoyo de los pies durante el aterrizaje se realizó en tiempos distintos (<40 cm), dichas diferencias no las hubo en 60 cm (6).

Esto es un hecho a tener en cuenta a la hora de realizar el análisis cinemático. En otro estudio (11) se ahondó más en profundidad sobre cómo mejorar la maniobra del salto más eficientemente para el posterior entrenamiento pliométrico y uno de los factores a estudiar fue la influencia de la altura en las adaptaciones neuromusculares. Se demostró que tras un entrenamiento adecuado del salto a diferentes alturas podía paliarse esos altos picos en las gráficas que describió Bobbert en su estudio. De hecho se ha evidenciado que a alturas más altas desde donde hacer el drop se obtiene más altura saltada de rebote durante la fase concéntrica. Lo cual debería estar indicado incluirlo si el objetivo a conseguir es más altura saltada, en el caso del presente estudio no lo es. No obstante es importante destacar que con el adecuado entrenamiento, podría entrenarse desde alturas más altas distintos parámetros.

## **5.7 Toma de la medición**

Posterior a la toma de imágenes en vídeo de todos los sujetos, se debatió que fase del salto durante el drop jump debía ser medida.

Hewett y col. (2013) (16) tomaron de referencia para analizar la excursión angular al valgo la “entire stance phase” o fase de apoyo definido como el instante de contacto inicial (con una plataforma de fuerzas) donde la fuerza de reacción del suelo vertical supera los 10 newton hasta el punto más bajo del centro de masas durante el aterrizaje en el salto. Por otra parte Padua y col. (2009) (15) analizaron la “entire landing phase” o fase de aterrizaje definida como el instante desde que el pie contacta con el suelo (apoyo del retropié en el suelo) hasta la posición más baja del centro de masas.

Se optó por medir según como tipifica Padua, en parte por ser un análisis más fácilmente reproducible y en parte por no haber usado una plataforma de fuerzas. Aunque, en este estudio se mide más concretamente la “initial contact phase” o fase de contacto inicial, durante el análisis con el kinovea se midió todo el aterrizaje.

Por otro lado, a la hora de realizar un estudio cinemático del drop jump existen dos instantes posibles en los que medir las variables que se quieran estudiar, el primer salto en la fase de aterrizaje donde sucede la primera recepción del peso o el segundo salto producido inmediatamente posterior a la primera fase. Este segundo salto comprende la fase de empuje o concéntrica más la subsecuente recepción conducido a frenar la aceleración del cuerpo para quedarse en un estado de reposo.

Para realizar un estudio que mida la cinemática del salto, la mayoría de la literatura científica opta por coger de referente el primer salto para estudiar el comportamiento de las variables ya que aquí se realiza el movimiento más parecido a la maniobra deportiva que reproduce el mecanismo lesional. Aun a pesar de que este segundo salto está muy poco estudiado y el presente estudio de trabajo fin de grado se centra en el primer salto, daré unas líneas generales de lo que Hewett y col. (2013) (16) evidenció sobre esta segunda fase.



Durante el segundo salto se demostró mayor riesgo biomecánico de lesión en el plano sagital y menor riesgo en el frontal que durante el primer salto. Concretamente, los valores de flexión de caderas y rodillas y la abducción de rodillas fueron disminuidos. En relación con el primer salto, la flexión de caderas y rodillas observadas durante el segundo salto del drop jump fue indicativo de una reducción del control neuromuscular y de los patrones de absorción ya que esta segunda caída supone una mayor demanda física (16, 23).

Estos datos muestran, grosso modo, como este segundo salto se asemeja más a una maniobra deportiva de rebote, la cual es la responsable de la mayoría de las lesiones de ligamento cruzado del tipo “non-contact”. No obstante hay que tener en cuenta que la función de la segunda fase es frenar la aceleración del salto para llegar al estado inicial de reposo. Pero se no se está reproduciendo la maniobra deportiva tal cual aunque sí existan ciertas similitudes, por lo que no hay exactamente una relación directa. Pero es algo interesante de ser estudiado.

## **5.8 Limitaciones**

Una limitación importante fue la participación de estudiantes de fisioterapia, que debido al conocimiento que tienen sobre la biomecánica general, muchas de las sujetos tenían una buena conciencia corporal y en cierta medida corrigieron la postura a la hora de la recepción del impacto en el aterrizaje. No fue muy significativo, pero sí algo a tener en cuenta.

A la hora de realizar el estudio hubiera sido interesante haber utilizado una plataforma de fuerzas para haber podido medir con mayor precisión muchas más variables en relación a fuerzas de reacción del suelo entre otras, las cuales habrían enriquecido más este estudio.

El hecho es que muchos de los estudios que miden este tipo de variables tienden a captar atletas femeninas para realizarlos. Por lo que, su nivel de actividad física influencia claramente los resultados. En este TFG, las sujetos tuvieron una media de actividad física en la escala Tegner de 4,8 sobre 10 puntos. Por lo que a la hora de establecer las relaciones en la discusión, los resultados son muy variables.

Una limitación metodológica fue que durante el test isocinético en las primeras sujetos, no se aportó el suficiente feedback para realizar lo mejor posible la prueba. De hecho, debido a este error, se tuvo que descartar a una sujeto.

## **5.9 Aplicaciones prácticas**

La evaluación del drop jump bilateral a través de la medición cinemática bidimensional es una herramienta muy útil y fácilmente reproducible a la hora de valorar el estado del control neuromuscular de un paciente entre otras variables.

Requiere poco material el cual es relativamente barato y es una técnica de medición fácilmente extrapolable, aún sin muchos medios.

Incluso sin el uso de cámaras que permitan la reproducción ralentizada, una valoración con dos smartphone en cada plano frontal y sagital podrían dar una presunción de riesgo de lesión.

## **6. CONCLUSIONES**

- 1- Las sujetos de una altura igual o mayor a 1,70 metros demostraron mayor excursión angular al valgo cuando el centro de masas se encontraba más bajo en su pierna dominante.
- 2- El ratio tanto de la pierna dominante como la no dominante no es un predictor de la excursión angular a valgo ni a la flexión.
- 3- La variable de la excursión a valgo no predice que vaya a existir una flexión de rodillas más limitada (que provocaría mayor empuje anterior de la tibia y mayor factor de riesgo de lesión) en la excursión a la flexión para la pierna no dominante.
- 4- No existe un único método que permita un análisis certero de la identificación de sujetos con un incremento en el riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior. Han de ser incluidas diversas técnicas de medición para registrar en qué medida el paciente está en riesgo.

## **7. AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar en unas líneas mi agradecimiento personal a aquellas personas que han hecho posible que mi trabajo fin grado adquiriera su forma.

A Igor Setuain, que me dio la increíble oportunidad de poder hacer un estudio de investigación. Hoy en día, no muchas personas pueden decir lo mismo y me siento muy agradecido de haberlo llevado a cabo. También agradezco la gran cantidad de horas que me ha prestado su atención, para cualquier duda que hubiera necesitado. Ha sido un tutor que ha ido mucho más allá de sus obligaciones y que me ha enseñado mucho a lo largo de este último año.

A Itziar Martón y Ana Muruzabal que de una forma u otra, me han aportado tanto, que no hubiera llegado a hacer este gran trabajo sin ellas.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Serpell BG, Ball NB, Scarvell JM, Smith PN. A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks. *J Sports Sci* 2012;30(13):1347-1363.
- (2) Devita P, Skelly WA. Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med Sci Sports Exerc* 1992 Jan;24(1):108-115.
- (3) Ali N, Rouhi G, Robertson G. Gender, Vertical Height and Horizontal Distance Effects on Single-Leg Landing Kinematics: Implications for Risk of non-contact ACL Injury. *J Hum Kinet* 2013 Jul 5;37:27-38.
- (4) Bobbert MF, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc* 1987 Aug;19(4):332-338.
- (5) Young WB, Pryor JF, Wilson GJ. Effect of Instructions on characteristics of Countermovement and Drop Jump Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 1995;9(4):232-236.
- (6) Ball NB, Stock CG, Scurr JC. Bilateral contact ground reaction forces and contact times during plyometric drop jumping. *J Strength Cond Res* 2010 Oct;24(10):2762-2769.
- (7) Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Med Sci Sports Exerc* 2003 Oct;35(10):1745-1750.
- (8) Myer GD, Ford KR, Khoury J, Succop P, Hewett TE. Biomechanics laboratory-based prediction algorithm to identify female athletes with high knee loads that increase risk of ACL injury. *Br J Sports Med* 2011 Apr;45(4):245-252.
- (9) Pappas E, Nightingale EJ, Simic M, Ford KR, Hewett TE, Myer GD. Do exercises used in injury prevention programmes modify cutting task biomechanics? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 2015 May;49(10):673-680.
- (10) Bobbert MF, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc* 1987 Aug;19(4):339-346.
- (11) Taube W, Leukel C, Lauber B, Gollhofer A. The drop height determines neuromuscular adaptations and changes in jump performance in stretch-shortening cycle training. *Scand J Med Sci Sports* 2012 Oct;22(5):671-683.
- (12) Moran KA, Wallace ES. Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Hum Mov Sci* 2007 Dec;26(6):824-840.
- (13) Escamilla RF, Macleod TD, Wilk KE, Paulos L, Andrews JR. Anterior cruciate ligament strain and tensile forces for weight-bearing and non-weight-bearing exercises: a guide to exercise selection. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012 Mar;42(3):208-220.
- (14) Holt BW, Lambourne K. The impact of different warm-up protocols on vertical jump performance in male collegiate athletes. *J Strength Cond Res* 2008 Jan;22(1):226-229.
- (15) Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE, Jr, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of

jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am J Sports Med* 2009 Oct;37(10):1996-2002.

(16) Bates NA, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Kinetic and kinematic differences between first and second landings of a drop vertical jump task: implications for injury risk assessments. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2013 Apr;28(4):459-466.

(17) McNitt-Gray JL, Hester DM, Mathiyakom W, Munkasy BA. Mechanical demand and multijoint control during landing depend on orientation of the body segments relative to the reaction force. *J Biomech* 2001 Nov;34(11):1471-1482.

(18) Zebis MK, Andersen LL, Bencke J, Kjaer M, Aagaard P. Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. *Am J Sports Med* 2009 Oct;37(10):1967-1973.

(19) Myer GD, Ford KR, Barber Foss KD, Liu C, Nick TG, Hewett TE. The relationship of hamstrings and quadriceps strength to anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Clin J Sport Med* 2009 Jan;19(1):3-8.

(20) Ruedl G, Webhofer M, Helle K, Strobl M, Schranz A, Fink C, et al. Leg dominance is a risk factor for noncontact anterior cruciate ligament injuries in female recreational skiers. *Am J Sports Med* 2012 Jun;40(6):1269-1273.

(21) Brophy R, Silvers HJ, Gonzales T, Mandelbaum BR. Gender influences: the role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *Br J Sports Med* 2010 Aug;44(10):694-697.

(22) Fagenbaum R, Darling WG. Jump landing strategies in male and female college athletes and the implications of such strategies for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 2003 Mar-Apr;31(2):233-240.

(23) Powell JW, Barber-Foss KD. Sex-related injury patterns among selected high school sports. *Am J Sports Med* 2000 May-Jun;28(3):385-391.

(24) Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med* 1996 Nov-Dec;24(6):765-773.

(25) Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med* 2006 Mar;34(3):490-498.

(26) Etnoyer J, Cortes N, Ringleb SI, Van Lunen BL, Onate JA. Instruction and jump-landing kinematics in college-aged female athletes over time. *J Athl Train* 2013 Mar-Apr;48(2):161-171.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1

<b>Level 10</b>	Competitive sports-soccer, football, rugby (national elite)
<b>Level 9</b>	Competitive sports-soccer, football, rugby (lower divisions), ice hockey, wrestling, gymnastics, basketball
<b>Level 8</b>	Competitive sports-racketball or bandy, squash or badminton, track and field athletics (jumping, etc.), down-hill skiing
<b>Level 7</b>	Competitive sports-tennis, running, motorcars speedway, handball Recreational sports-soccer, football, rugby, bandy, ice hockey, basketball, squash, racketball, running
<b>Level 6</b>	Recreational sports-tennis and bádminon, handball, racketball, down-hill skiing, jogging at least 5 times per week
<b>Level 5</b>	Work-heavy labor (construction, etc.) Competitive sports-cycling, cross-country skiing, Recreational sports-jogging on uneven ground at least twice weekly
<b>Level 4</b>	Work-moderately heavy labor (e.g. truck driving, etc.)
<b>Level 3</b>	Work-high labor (nursing, etc.)
<b>Level 2</b>	Work-light labor Walking on uneven ground possible, but impossible to back pack or hike
<b>Level 1</b>	Work-sedentary (secretarial, etc.)
<b>Level 0</b>	Sick leave or disability pension because of knee problems

Y Tegner and J Lysolm. Rating Systems in the Evaluation of Knee Ligament Injuries. Clinical Orthopedics and Related Research. Vol. 198: 43-49, 1985

## Anexo 2

### Consentimiento Informado

Título: Relación entre la longitud de los segmentos óseos del miembro inferior y el control dinámico del valgo durante un drop jump vertical bilateral. Estudio transversal de factores de riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior.

Nombre del Investigador Principal: Cristian Sáenz Martín

Dirección del Sitio de Investigación: Universidad Pública de Navarra, Campus de Tudela.

Numero de Teléfono: 653746981

#### Introducción

A través de este documento queremos hacerle una invitación a participar voluntariamente en un estudio de investigación clínica. Tiene como objetivo comprobar si la longitud de los segmentos óseos (fémur y tibia) tiene relación con mayor probabilidad de lesión del ligamento cruzado anterior durante un salto llamado drop jump vertical. Para ello se grabará en vídeo desde dos ángulos distintos el salto realizado.

Antes de que usted acepte participar en este estudio, se le presenta este documento de nombre “Consentimiento Informado”, que tiene como objetivo comunicarle de los posibles riesgos y beneficios para que usted pueda tomar una decisión informada.

El consentimiento informado le proporciona información sobre el estudio al que se le está invitando a participar, por ello es de suma importancia que lo lea cuidadosamente antes de tomar alguna decisión y si usted lo desea, puede comentarlo con quien desee (un amigo, un familiar de confianza, etc.) Si usted tiene preguntas puede hacerlas directamente a su fisioterapeuta tratante o al personal del estudio quienes le ayudarán a resolver cualquier inquietud.

Una vez que tenga conocimiento sobre el estudio y los procedimientos que se llevarán a cabo, se le pedirá que firme esta forma para poder participar en el estudio. Su decisión de que es voluntaria, lo que significa que usted es totalmente libre de ingresar a o no en el estudio. Podrá retirar su consentimiento en cualquier momento y sin tener que explicar las razones.

Tiene como objetivo observar el comportamiento de las articulaciones del miembro inferior durante un salto para comprobar la ejecución y por lo tanto poder hipotetizar si existe riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior y en que medida.

#### ¿Cuántos pacientes participaran en el Estudio?

20 pacientes mujeres.

### **¿Cuánto Durara la Participación?**

30 minutos aproximadamente.

### **¿Qué sucederá durante el estudio de Investigación?**

Después de firmar el consentimiento informado se verificara que usted cumpla con todos los Criterios de Inclusión que son:

Edad entre 18 y 25 años sin patología alguna en las extremidades inferiores. Con un nivel de actividad física recreacional.

Criterios de Exclusión:

Lesión de cualquier tipo de miembro inferior, neuromuscular o vestibular

### **Procedimientos del Estudio**

Se describe detalladamente en el protocolo del estudio que fue anteriormente facilitado.

### **Responsabilidades del Paciente**

Las responsabilidades del sujeto.

- Proporcionar información acerca de su salud durante el estudio, especialmente cualquier evento adverso/cambios benéficos y embarazo.
- Reportar todos los síntomas independientemente de que estén relacionados o no con el estudio.
- Seguir las instrucciones del investigador respecto al procedimiento del estudio.

### **Compensación por lesiones**

Si usted experimenta una lesión relacionado con la investigación, se le proporcionará tratamiento médico de emergencia sin costo para usted. Esto aplica desde el momento que usted acepta participar en el estudio firmando el presente documento, hasta el momento en que termine su participación en el proyecto o usted retire su consentimiento.

De ninguna manera el firmar esta forma de consentimiento anula sus derechos legales ni libera a los investigadores, patrocinador o instituciones participantes de su responsabilidad legal y profesional.

### **¿Participar en el estudio es voluntario?**

Si. Participar en este estudio de investigación es decisión de usted. Usted puede decidir no participar o cambiar de opinión y después retirarse (abandonar). No habrá ninguna penalidad y usted no perderá ningún beneficio que reciba ahora o que tenga derecho a recibir.



Le diremos si tenemos información nueva que pueda hacerlo cambiar de opinión acerca de su participación en este estudio de investigación. Si usted desea salirse, deberá decirnos. Nos aseguraremos de que usted pueda terminar el estudio de la manera más segura. También le hablaremos sobre la atención de seguimiento, si fuera necesaria.

El médico del estudio o el patrocinador del estudio pueden decidir retirarlo del estudio sin su consentimiento si:

- Usted no sigue las instrucciones del equipo del estudio
- El fisioterapeuta del estudio decide que el estudio no es lo mejor para usted

### **Costo de la participación**

No habrá ningún costo por su participación en este estudio.

### **¿Me pagarán por participar en este estudio?**

No recibirá ningún pago por participar en este estudio.

### **Si participo en este estudio de Investigación, ¿Cómo se Protegerá mi privacidad?**

#### **Confidencialidad**

Sus registros obtenidos mientras usted participa en este estudio, así como los registros de salud relacionados, permanecerán estrictamente confidenciales en todo momento.

Al firmar la forma de consentimiento, usted otorga este acceso para el estudio actual y cualquier investigación posterior que pueda llevarse a cabo utilizando esta información. Sin embargo, el Investigador del estudio tomará las medidas necesarias para proteger su información personal, y no incluirá su nombre en ningún formato, publicaciones o divulgación futura. Si se retira del estudio, no obtendremos más información personal acerca de usted, pero podremos continuar utilizando la información ya recopilada.

Usted no será identificado en ninguno de los reportes o publicaciones que resulten de este estudio.

### **SUS DERECHOS NO SON AFECTADOS BAJO NINGUNA LEY DE PROTECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

### **¿A quién podre contactar si tengo preguntas o acerca de mis derechos?**

Antes de que usted firme este documento, deberá preguntar acerca de cualquier cosa que no haya entendido. El equipo del estudio responderá sus preguntas antes, durante y después del estudio. Si usted piensa que su pregunta no ha sido contestada completamente o si no entiende la respuesta, por favor continúe preguntando hasta que esté satisfecho.

Si tiene alguna preocupación o queja acerca de este estudio o sobre cómo se está realizando, por favor no dude en discutir sus preocupaciones con el estudiante de

fisioterapia Cristian Sáenz Martín que estará disponibles para contestar sus preguntas en el teléfono 653746981.

**No firme este formato a menos que usted haya tenido la oportunidad de hacer preguntas y de que haya obtenido respuestas satisfactorias a todas sus preguntas.**

**FIRMAS:**

**Marcar con una X si se cumplió con lo que se menciona.**

He sido informado acerca del estudio y tuve mi primer diálogo con el médico del estudio o el personal de la investigación acerca de dicha información el (Fecha) \_\_\_\_\_ a la hora (si es necesario) \_\_\_\_\_. (La hora es necesaria solamente si la información y el consentimiento fueron entregados el mismo día.)

He leído y entendido la información en este documento de consentimiento informado.

He tenido la oportunidad de hacer preguntas y todas mis preguntas fueron contestadas a mi satisfacción.

Consiento voluntariamente participar en este estudio. No renuncio a ninguno de mis derechos legales al firmar este documento de consentimiento.

**Entiendo que recibiré una copia firmada y fechada de este documento, que tiene 5 páginas.**

\_\_\_\_\_  
Nombre del participante

\_\_\_\_\_  
Firma del Participante

\_\_\_\_\_  
Fecha de la firma

\_\_\_\_\_  
Hora (si es necesaria)\*

**Persona que Obtiene el Consentimiento**

\_\_\_\_\_  
Nombre de la persona que condujo el Proceso del consentimiento

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Fecha de la firma

\_\_\_\_\_  
Hora (si es necesaria)\*

## Anexo 3

### PROTOCOLO DEL ESTUDIO

#### ÍNDICE SIMPLIFICADO

1- EXPLICACIÓN PREVIA	1.1 ¿De qué trata el estudio? 1.2 ¿Qué se va a medir en las personas? 1.3 Riesgos y posibles beneficios 1.4 Preguntas 1.5 Consentimiento informado
2- MEDICIÓN	2.1 Talla y peso 2.2 Segmentos óseos (fémur y tibia)
3- CALENTAMIENTO (movilidad articular)	3.1 Correr en tapiz 3.2 Sentadillas
4- PRÁCTICA DEL SALTO	4.1 Entre 3 y 4 repeticiones para aprender la correcta maniobra del salto
5- SALTO	5.1 Ejecutar 3 saltos válidos
6- TEST ISOCINÉTICO	6.1 Medición de la fuerza en las 2 piernas

#### PROTOCOLO

### 1- EXPLICACIÓN PREVIA

#### 1.1 ¿DE QUÉ TRATA EL ESTUDIO?

Se trata de un estudio descriptivo transversal sobre personas que trata de profundizar en la biomecánica de la rodilla para entender mejor el comportamiento de lesión del ligamento cruzado anterior.

En concreto, lo que este estudio trata de buscar son factores de riesgo de lesión del LCA. Mediante la realización del estudio trataremos de comprobar si una mayor longitud de

fémur y tibia tiene relación con la lesión del cruzado en un salto denominado drop jump vertical bilateral que explicaré más adelante.

Es por ello que requerimos la presencia de pacientes humanos para poder comprobar con más fiabilidad la hipótesis anteriormente expuesta.

## **1.2 ¿QUÉ SE VA A MEDIR EN LAS PERSONAS?**

Después de haber dado un contexto de lo que es el estudio se procederá a la medición de la altura y el peso del paciente, posteriormente se medirá en camilla tumbado boca arriba el fémur y la tibia de las dos piernas. Por último se medirán las variables del salto mediante dos cámaras de vídeo en dos planos y la recepción del salto mediante una plataforma de saltos. Además de la medición de la fuerza cuádriceps-isquiotibiales en las dos piernas.

## **1.3 RIESGOS Y POSIBLES BENEFICIOS**

Cabe la probabilidad que durante la práctica de cómo se realiza el salto y durante los 3 saltos que serán registrados el paciente pueda sufrir algún tipo de daño por problemas de coordinación, o por algún tipo de daño ajeno a nuestro control. No obstante se proporcionará un adecuado feedback o instrucciones para evitar cualquier daño posible.

Después del análisis de datos del estudio cualquier persona que así lo desee, recibirá información sobre cualquier patrón aberrante que se haya detectado así como una posible recomendación en calidad de estudiante de como solventarlo.

## **1.4 PREGUNTAS**

Antes de la firma del consentimiento informado se atenderá cualquier pregunta para asegurarse que la información ha sido comprendida.

## **1.5 CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Se proporcionará un modelo ya prediseñado con toda la información relevante acerca del estudio además de una parte que va encaminada a ver dejar claros los derechos fundamentales de la persona que accede a entrar al estudio.

# **2- MEDICIÓN**

## **2.1 Talla y peso**

Medición en bipedestación con metro estático y balanza calibrada

## **2.2 Segmentos óseos (fémur y tibia)**

Medición en camilla en decúbito supino con cinta métrica

Fémur: de trocánter mayor a cóndilo femoral externo

Tibia: de tuberosidad tibial a maléolo distal de la tibia

### **3- CALENTAMIENTO**

#### **3.1 Correr en tapiz**

Para evitar cualquier lesión durante la realización de los saltos, se realizará un calentamiento de 5 minutos en tapiz a 7 km / hora.

#### **3.2 Sentadillas**

Se realizarán 2 series de 5 repeticiones con un descanso de 1 minuto entre cada series para simular como es la tensión del salto y prevenir lesiones, no obstante el salto se practicará después.

### **4- PRÁCTICA DEL SALTO**

#### **4.1 Entre 3 y 4 repeticiones para aprender la correcta maniobra del salto**

El salto a realizar se denomina drop jump vertical bilateral. Se trata de un salto que se realiza desde una determinada altura (en este caso 40 cm) en un cajón o tarima. Con las manos en las caderas en todo momento, se lanza hacia delante la pierna dominante (con la que chutarías un balón) o te dejas caer y después se salta desde el cajón para aterrizar con las dos piernas. Nada más que se toque el suelo con los pies se realizará en el mismo sitio un salto intentando llegar a la mayor altura posible.

Como ya se ha mencionado se dará las instrucciones para hacer bien el salto y minimizar los posibles daños.

### **5- SALTO**

#### **5.1 Ejecutar 3 saltos válidos**

Después de haber realizado la apropiada práctica, se ejecutarán los 3 saltos de la forma anteriormente explicada, poniendo previamente unos marcadores en las articulaciones principales y zonas adyacentes. Dichos saltos serán registrados con dos cámaras, una frontal (plano frontal) y otra lateral (plano sagital) además de registrar con una plataforma de salto (que será donde dará lugar la recepción).

### **6- TEST ISOCINÉTICO**

#### **6.1 Medición de la fuerza en las dos piernas**

Mediante el uso de una plataforma isocinética se medirá la fuerza de los músculos cuádriceps e isquiotibiales, realizando únicamente 1 prueba en cada pierna de 3 repeticiones de calentamiento y familiarización y 7 de ejecución.