



**ESCUELA
DE ENFERMERÍA
Y FISIOTERAPIA**



Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Título:

***Comparación de un entrenamiento
pliométrico y excéntrico en personas
con prótesis transtibial***

Alumna: Sara Miguelsanz García

Tutor: Dr. Néstor Pérez Mallada

Madrid, 21 abril de 2025

Índice

Índice de tablas	4
Índice de ilustraciones	5
1. Resumen	7
2. Abstract	8
3. Glosario de términos	9
4. Antecedentes y estado actual del tema	11
5. Evaluación de la evidencia	23
6. Objetivos del estudio	29
6.1. Objetivo general	29
6.2. Objetivos específicos	29
7. Hipótesis	30
8. Metodología	31
8.1. Diseño	31
8.2. Sujetos de estudio	32
8.3. Variables	36
8.4. Hipótesis operativa	37
8.4.1. Hipótesis del objetivo específico "A"	37
8.4.2. Hipótesis del objetivo específico "B"	38
8.4.3. Hipótesis del objetivo específico "C"	38
8.4.4. Hipótesis del objetivo específico "D"	38
8.5. Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis	39
8.6. Limitaciones	42
8.7. Equipo investigador	42
9. Plan de trabajo	43
9.1. Diseño de la intervención	43
9.2. Etapas de desarrollo	55
9.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador	56
9.4. Lugar de realización del proyecto	57
10. Referencias	58
11. Anexos	64
11.1. Anexo I: Protocolo Behrens, M et al. (19)	64
11.2. Anexo II: Protocolo Harput, G et al. (34)	65
11.3. Anexo III: Protocolo Mendiguchia, J et al. (22)	66
11.4. Anexo IV: Protocolo Krishna, SA et al. (23) y protocolo de intervención	69
11.5. Anexo V: Protocolo Behrens, M et al. (37)	71

11.6.	Anexo VI: Hoja de Información al Paciente	72
11.7.	Anexo VII: Consentimiento Informado	75
11.8.	Anexo VIII: Hoja de renuncia	76
11.9.	Anexo IX: Cuestionario y hoja de datos personales	77
11.10.	Anexo X: Repositorio	79

Índice de tablas

Tabla 1. Abreviaturas en español e inglés. Elaboración propia.	10
Tabla 2. Paciente según amputación y sus características. (4).....	11
Tabla 3. Estructuras afectadas en una ATT. (6).....	14
Tabla 4. Tipos de encajes protésicos. (5,9).....	16
Tabla 5. Tipos de pies protésicos. (5,10).	18
Tabla 6. Términos. Elaboración propia.....	23
Tabla 7. Estrategia de búsqueda Pubmed. Elaboración propia.....	25
Tabla 8. Estrategia de búsqueda EBSCOhost. Elaboración propia.	27
Tabla 9. Criterios de inclusión y exclusión. Elaboración propia.	32
Tabla 10. Nivel de significación y poder estadístico seleccionados. Elaboración propia.	33
Tabla 11. Variables dependientes e independientes. Elaboración propia.....	37
Tabla 12. Hoja de cálculo de Excel para recogida de resultados. Elaboración propia.....	39
Tabla 13. Pasos del análisis interferencial. Elaboración propia.....	41
Tabla 14. Calendario de las mediciones e intervención. Elaboración propia.	54
Tabla 15. Periodos y fechas de las etapas de desarrollo. Elaboración propia.	55

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Evolución amputaciones mayores 2003-2020 por sexo. (4).....	12
Ilustración 2. Evolución amputaciones menores 2003-2020 por sexo. (4).	12
Ilustración 3. Niveles de ATT. (6).	13
Ilustración 4. Partes de una prótesis transtibial endoesquelética. Elaboración propia con consentimiento del paciente.	15
Ilustración 5. Tipos de encajes protésicos. (5).	16
Ilustración 6. Liner sin y con anclaje "pin". Elaboración propia con consentimiento del paciente.	17
Ilustración 7. Encaje protésico con bomba de vacío. Elaboración propia con consentimiento del paciente.	17
Ilustración 8. Mbody shorts. Elaboración propia.	19
Ilustración 9. Datos de la variable FI a 60º/seg para cálculo de la muestra (34).	33
Ilustración 10. Datos de la variable FI a 120º/seg para cálculo de la muestra (20).	34
Ilustración 11. Datos de la variable FI a 180º/seg para cálculo de la muestra (34).....	34
Ilustración 12. Gráfico de muestra de las variables dependientes. Elaboración propia.	35
Ilustración 13. Resumen plan de proyecto. Elaboración propia.	43
Ilustración 14. Colocación del sujeto. Elaboración propia.	45
Ilustración 15. Colocación eje mecánico. Elaboración propia.	45
Ilustración 16. Sentadilla con salto - ejercicio pliométrico etapa 1. (23). Elaboración propia.	46
Ilustración 17. CM Salto de valla con ambas piernas - ejercicio pliométrico etapa 1 y 2. (23). Elaboración propia.	46
Ilustración 18. CM Salto de valla a una pierna - ejercicio pliométrico etapa 1, 2, 3 y 4. (23). Elaboración propia.	46
Ilustración 19. Salto de longitud - ejercicio pliométrico etapa 2. (23). Elaboración propia.	47
Ilustración 20. Salto vertical en caja a una pierna (lateral) - ejercicio pliométrico etapa 3. (23). Elaboración propia.	47
Ilustración 21. Salto vertical en caja a una pierna (medial) - ejercicio pliométrico etapa 3. (23). Elaboración propia.	47
Ilustración 22. CM Lateral Bound y CM Bound - ejercicios pliométricos etapa 3 y 4. (23). Elaboración propia.	48
Ilustración 23. Bound continuo - ejercicio pliométrico etapa 4. (23). Elaboración propia.	48
Ilustración 24. CM Salto vertical en caja con ambas piernas - ejercicio pliométrico etapa 4. (23). Elaboración propia.	48
Ilustración 25. Salto rotacional a una pierna - ejercicio pliométrico etapa 4. (23). Elaboración propia.	49

Ilustración 26. Sentadilla - ejercicio fuerza etapa 1, 3 y 4. (23). Elaboración propia.....	49
Ilustración 27. Zancada - ejercicio fuerza etapa 1. (23). Elaboración propia.	49
Ilustración 28. Peso muerto con barra Trap - ejercicio fuerza etapa 1, 2 y 4. (23). Elaboración propia.	50
Ilustración 29. Hip Thrust a una pierna - ejercicio fuerza etapa 1. (23). Elaboración propia.	50
Ilustración 30. Curl de isquiotibiales - ejercicio fuerza etapa 1, 2, 3 y 4. (23). Elaboración propia.	50
Ilustración 31. Plancha - ejercicio fuerza etapa 1. (23). Elaboración propia.	50
Ilustración 32. Plancha lateral - ejercicio fuerza etapa 2. (23). Elaboración propia.	51
Ilustración 33. Step-Up - ejercicio fuerza etapa 2 y 3. (23). Elaboración propia.	51
Ilustración 34. Sentadilla frontal - ejercicio fuerza etapa 2. (23). Elaboración propia.	51
Ilustración 35. Kettle Bell Swing - ejercicio fuerza etapa 3. (23). Elaboración propia.	52
Ilustración 36. Cable Chop medio arrodillado - ejercicio fuerza etapa 3. (23). Elaboración propia.	52
Ilustración 37. Peso muerto rumano a una pierna - ejercicio fuerza etapa 2, 3 y 4. (23). Elaboración propia.	53
Ilustración 38. Zancada lateral - ejercicio fuerza etapa 4. (23). Elaboración propia.	53
Ilustración 39. Extensiones de espalda - ejercicio fuerza etapa 4. (23). Elaboración propia.	53

1. Resumen

Antecedentes:

La amputación transtibial en España afecta aproximadamente a más de 16.000 personas a lo largo del año, dándose mayoritariamente la amputación menor. Pueden llevarse a cabo tanto por factores propios de la persona como por factores externos, causando la necesidad del uso de una prótesis transtibial individualizada, debido a diversas alteraciones.

Escasos pacientes reciben tratamiento de fisioterapia postquirúrgico, centrándose en el vendaje del muñón. Ambos ejercicios, pliométricos y excéntricos, consiguen que el cuádriceps desarrolle mayor fuerza muscular. No obstante, no existe evidencia científica suficiente sobre los beneficios de estos ejercicios en amputados transtibiales menores.

Objetivo General:

Efectividad de un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de ejercicio excéntrico de cuádriceps en pacientes con prótesis transtibial.

Metodología:

Se llevará a cabo un estudio analítico, experimental, longitudinal y prospectivo con amputados transtibiales del "Hospital Universitario 12 de Octubre", los cuales cumplan los criterios de inclusión y exclusión. Se dividirá a los sujetos en 2 grupos, uno basado en un entrenamiento pliométrico y otro con entrenamiento excéntrico.

Las variables por estudiar serán la fuerza isocinética concéntrica máxima del cuádriceps, a diversas velocidades angulares, mediante el uso de un dinamómetro. Se ejecutarán 2 mediciones, una pre-entrenamiento y otra post-entrenamiento. Los resultados obtenidos se usarán para desarrollar un análisis estadístico con el fin de observar si existen beneficios tras hacer el protocolo.

Palabras Clave:

Amputación transtibial, cuádriceps, fuerza, prótesis transtibial.

2. Abstract

Background:

Transfemoral amputation in Spain affects approximately more than 16.000 people throughout the year, mostly giving minor amputation. They can be carried out both by the person's own factors and by external factors, causing the need for the use of an individualized transfemoral prosthesis, due to miscellaneous alterations.

Few patients receive post-surgical physiotherapy treatment, focusing on the bandaging of the residual limb. Both plyometric and eccentric exercises make the quadriceps develop greater muscle strength. However, there is insufficient scientific evidence on the benefits of these exercises in minor transfemoral amputees.

General Objective:

Effectiveness of plyometric versus eccentric quadriceps exercise training in patients with transfemoral prostheses.

Methodology:

An analytical, experimental, longitudinal and prospective study will be carried out with transfemoral amputees from the "Hospital Universitario 12 de Octubre", which meet the inclusion and exclusion criteria. The subjects will be splitted into 2 groups, one based on plyometric training and the other with eccentric training.

The variables under analysis will be the maximum concentric isokinetic strength of the quadriceps, at different angular velocities, using a dynamometer. Two measurements will be taken, one pre-training and the other post-training. The results obtained will be used to perform a statistical analysis to observe if there are benefits after doing the protocol.

Keywords:

Transfemoral amputation, quadriceps, strength, transfemoral prosthesis.

3. Glosario de términos

Abreviatura	Término en español	Término en inglés
Art	Articulación.	Joint.
ATT	Amputación Transtibial.	Transtibial Amputation.
AVD	Actividades de la Vida Diaria.	Daily Life Activities.
CC	Cadena Cinética.	Kinetic chain.
CEIm	Comité Ético de la Investigación con Medicamentos y Productos Sanitarios.	Ethical Committee on Research with Medicines and Medical Devices.
CI	Consentimiento Informado.	Informed Consent.
cm	Centímetros.	Centimeters.
d	Precisión.	Precision.
EEC	Ejercicio Excéntrico.	Eccentric Exercise.
EMGs	Electromiografía Superficial.	Superficial Electromyography.
FI	Fuerza Isocinética.	Isokinetic Strength.
FICmáx	Fuerza Isocinética Concéntrica máxima.	Maximum Concentric Isokinetic Strength.
H_a	Hipótesis Alternativa.	Alternative Hypothesis.
H_o	Hipótesis Nula.	Null Hypothesis.
HIP	Hoja de Información al Paciente.	Patient Information Sheet.
KBM	Bettung Condilar Münster.	Kondylen Bettung Münster.
MMII	Miembro Inferior.	Lower Limb.
MVC	Contracción Voluntaria Máxima.	Maximum Voluntary Contraction.
MVT	Torque Voluntario Máximo.	Maximun Voluntary Torque.
N	Newton.	Newton.
N·m	Newton × metro.	Newton × meter.
Nv	Nervio.	Nerve.
PTB	Soporte del Tendón Rotuliano.	Patellar Tendon Bearing.
PTS	Tendón Rotuliano Suprapatelar.	Patellar Tendon Suprapatellar.
SD	Desviación Típica.	Standard Deviation.

seg	Segundo.	Second.
Vc	Velocidad.	Velocity / Speed.

Tabla 1. Abreviaturas en español e inglés. Elaboración propia.

4. Antecedentes y estado actual del tema

La amputación transtibial (ATT), también conocida como la ablación completa del tobillo y el pie, es debido a una cirugía o traumatismo a nivel de la tibia y el peroné. Por tanto, la prótesis transtibial, es un dispositivo externo sujeto al muñón que sustituye dicha zona extraída. Ambas cosas, la amputación y la prótesis, conllevan una afectación estructural y funcional; así como a nivel psico-socio-laboral (1-3).

López de Andrés et al. (4) publicó un artículo en 2011 sobre el número de personas amputadas entre 2001 y 2008 en España; donde se observaron un total de 90.064 amputaciones, de los cuales el 64,5% se debió a diabetes. En él, se diferenciaban 2 tipos de pacientes, según su amputación y las respectivas características, como se observa en la Tabla 2. Así mismo, se realizó un estudio en España, en donde se contempla por un lado en la Ilustración 1 que en 2003 hubo una incidencia de 5.519 amputaciones mayores, disminuyendo 639 en el año 2020. Por otro lado, en cuanto al análisis de las amputaciones menores, según la Ilustración 2, en 2003 hubo 4.851 amputaciones menores, aumentando 1.685 en el año 2020. Por lo tanto, en 2020, hubo un total de 11.416 amputaciones de las cuales el 57,25% eran menores. La probabilidad de amputación incrementa con el consumo de tabaco, si se proviene de orígenes más o afroamericanos, y si eres hombre como podemos observar en la Ilustración 1 e Ilustración 2 (donde “M” es mujeres y “V” es varones).

Tipo de Amputación	Características
Mayor	<ul style="list-style-type: none">• Alta dependencia.• Incapacidad de realizar actividades de la vida diaria (AVD).• Dificultad de deambular con la prótesis.
Menor	<ul style="list-style-type: none">• Buena cicatrización.• Necesidad de un leve ajuste protésico.• No hay una pérdida completa de la funcionalidad.

Tabla 2. Paciente según amputación y sus características. (4).

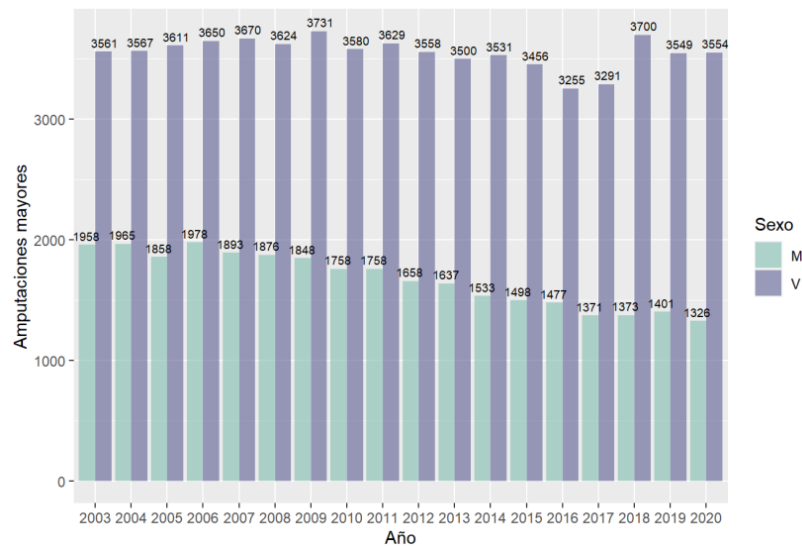


Ilustración 1. Evolución amputaciones mayores 2003-2020 por sexo. (4).

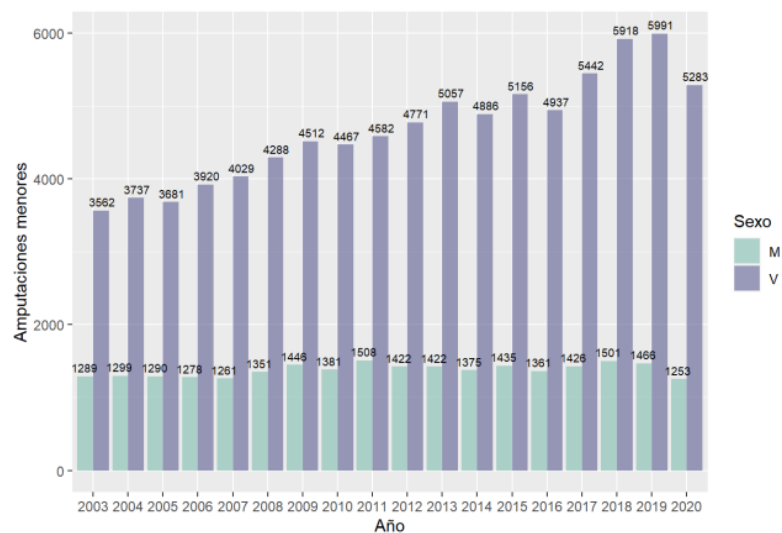


Ilustración 2. Evolución amputaciones menores 2003-2020 por sexo. (4).

En cuanto a los factores de riesgo se puede diferenciar entre: Patologías adquiridas o congénitas, como diabetes Mellitus (tipo I y tipo II), enfermedad arterial periférica, gangrenas, malformación o cáncer; y, accidentes traumáticos como por ejemplo laborales o de tráfico, comúnmente en jóvenes (1-3,5).

En cuanto a los niveles de ATT, se diferencian los representados en la Ilustración 3, junto con el tipo de muñón con el que se le asocia; siendo el más común la amputación en el tercio medio, y por tanto, el muñón medio (6). Cuanto más se acerque la ATT al tercio superior, peor calidad de vida tendrá esa persona y mayor afectación de la información sensorial, propioceptiva y exteroceptiva (7,8). Sin embargo, cuanto más distal sea, mayor complejidad tendrá el fisioterapeuta a la hora de almohadillar el muñón (5).

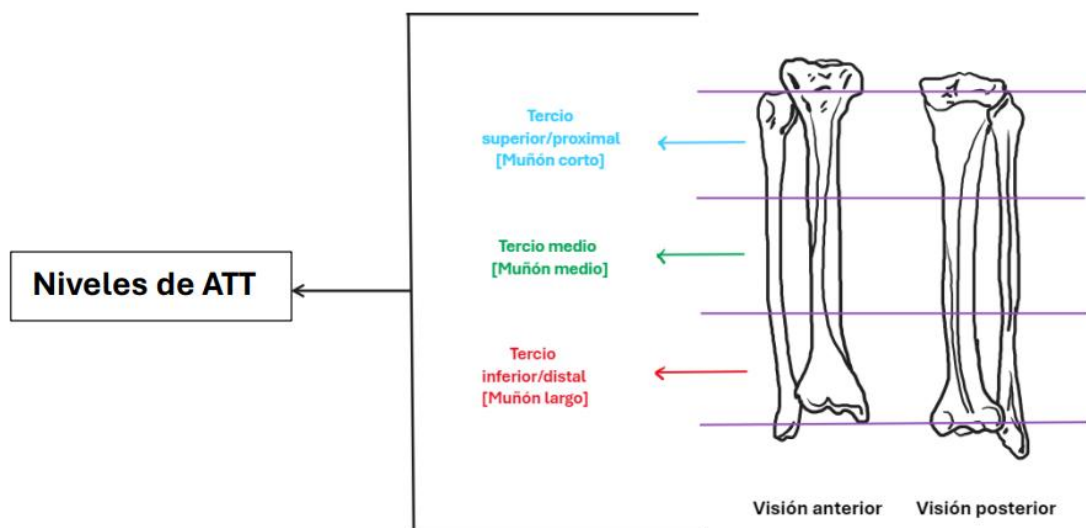


Ilustración 3. Niveles de ATT. (6).

Este tipo de amputación va a seccionar y afectar a estructuras del sistema musculoesquelético y nervioso (6) descritas en la Tabla 3:

Sistema	Estructuras afectadas			
Músculo-esquelético	Óseas	<ul style="list-style-type: none"> • Huesos del pie: Astrágalo, calcáneo, escafoides, cuboides, cuneiformes, metatarsianos, y falanges proximales, medias y distales. • Tibia. • Peroné. 		
		Articulares	<ul style="list-style-type: none"> • Articulación (Art.) tibio-peronea proximal; si ATT de tercio superior. • Art. Tibio-peronea distal. • Art. Tibio-peronea-astragalina y el resto que conforman al pie. 	
	Musculares		Cara anterior	<ul style="list-style-type: none"> • Tibial anterior. • Extensor común de los dedos. • Extensor largo del dedo gordo. • Tercer peroneo.
			Cara lateral	<ul style="list-style-type: none"> • Peroneo largo. • Peroneo corto.
Cara posterior		<ul style="list-style-type: none"> • Tríceps sural. • Tibial posterior. • Flexor común de los dedos. • Flexor largo del dedo gordo. • Músculos cortos del pie. 		
Nervioso	<ul style="list-style-type: none"> • Nervio (Nv) peroneo: Superficial y profundo. • Nv plantar: Lateral y medial. • Nv tibial. 			

Tabla 3. Estructuras afectadas en una ATT. (6).

En cuanto a la prótesis transtibial, se elegirá en función de las características del muñón, estado físico, alergias y economía del paciente. Se pueden diferenciar 3 tipos: Osteointegradas, exoesqueléticas y endoesqueléticas. Por un lado, la **prótesis osteointegrada** va asentada a nivel óseo y está formada por un tornillo de titanio anclado a la prótesis exoesquelética o endoesqueléticas. Sin embargo hay posibilidades de que el cuerpo no la acepte y por lo tanto esta no se ajuste debidamente (por infección, diabetes, osteoporosis severa, ...); pero en el caso de que sí la aceptase, se conseguirá beneficios tales como sensaciones táctiles, disminución del dolor y ausencia de úlceras. Por otro lado, la **prótesis exoesquelética** está compuesta por aluminio o madera liviana con resina, indicadas mayormente en ATT distales y siendo más ponderoso que la prótesis endoesquelética. Además, se acomoda al muñón y tiene el aspecto de la parte amputada del miembro inferior (MMII). Y, en cuanto a la **prótesis endoesquelética** (Ilustración 4), está formada por: Un encaje protésico, que es una estructura en la que se coloca el muñón; un simple tubo compuesto por acero, aluminio o titanio, el cual une el encaje protésico con el pie protésico; y por ende, un pie protésico (1,5,9).



Ilustración 4. Partes de una prótesis transtibial endoesquelética. Elaboración propia con consentimiento del paciente.

Existen diversos tipos de encajes protésicos (Ilustración 5), reflejados en la siguiente tabla (Tabla 4):

Encajes protésicos	
Tipos	Características
PTB (Patellar Tendon Bearing)	<ul style="list-style-type: none"> • Rígido. • Compuesto por polipropileno laminado con resina o fibra de carbono. • Apoyo subrotuliano y poplíteo → Uso de encaje blando de pelite o interface/liner.
PTS (Patellar Tendon Suprapatellar)	<ul style="list-style-type: none"> • Igual al encaje PTB, pero recubre la rótula. • Extensión de rodilla incompleta.
KBM (Kondylen Bettung Münster)	<ul style="list-style-type: none"> • Igual al encaje PTB, pero recubre por encima de los cóndilos femorales. • Controla la inestabilidad de la rodilla.
TSB (Tibial Surface Bearing)	<ul style="list-style-type: none"> • Menor presión subrotuliana y poplíteo. • Compuesto por polietileno laminado con resina y fibra de carbono • Uso de interfase/liner con pin (jóvenes) o sistema de rosca con cuerda (tercera edad).

Tabla 4. Tipos de encajes protésicos. (5,9).

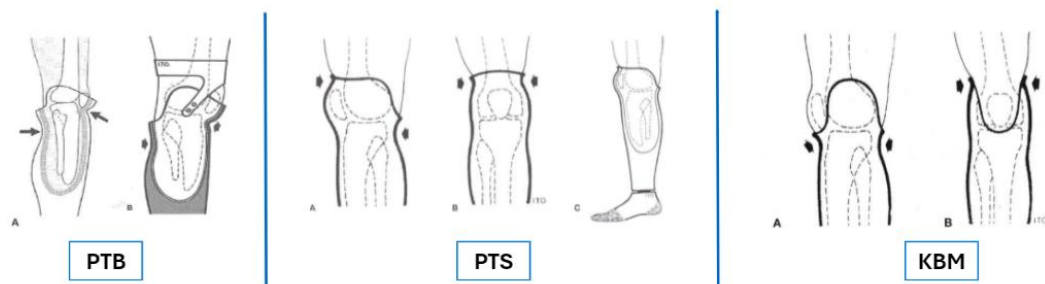


Ilustración 5. Tipos de encajes protésicos. (5).

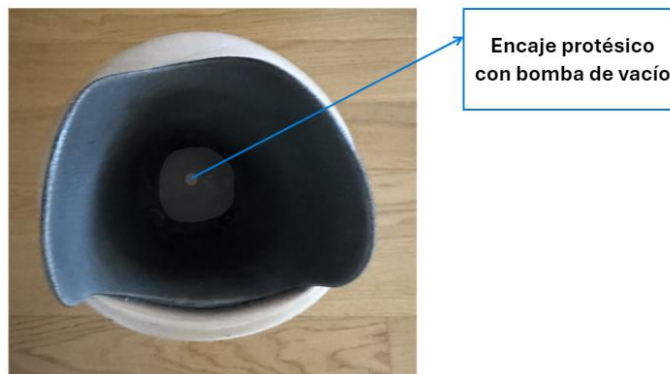
El uso de interfase/liner, que es una especie de media compuesta de silicona, uretano o gel de aceite, que recubre el muñón y a la cual se le puede añadir el anclaje «pin» (Ilustración 6) o rosca de cuerda, sirve para reducir la fricción que puede generar el encaje sobre el muñón. También existen encajes con una bomba de vacío mediante una válvula al final del encaje (Ilustración 7) permitiendo una mejor fijación de la prótesis (5,9).



Liner SIN anclaje

Liner CON anclaje

Ilustración 6. Liner sin y con anclaje "pin". Elaboración propia con consentimiento del paciente.



Encaje protésico con bomba de vacío

Ilustración 7. Encaje protésico con bomba de vacío. Elaboración propia con consentimiento del paciente.

Se pueden encontrar distintos pies protésicos, en función de las características como se puede observar en la Tabla 5. Así mismo, tanto los pies articulados de más de un eje de movimiento como los de respuesta dinámica, biónicos y electrónicos, están generalmente compuestos de fibra de carbono (10).

Pies protésicos		
Tipos	Características	
No articulados	<ul style="list-style-type: none"> • Pie inmóvil y rígido, con talón almohadillado. • Ejemplo: SACH; el más demandado (Ilustración 4). 	
Articulados	Uniaxiales	<ul style="list-style-type: none"> • Permite hacer flexión dorsal y plantar.
	Multiaxiales	<ul style="list-style-type: none"> • Se mueve hacia los lados, y hace flexión dorsal y plantar. • Ejemplos: Dinámico, Jaipur, SAFE, ...
De respuesta dinámica	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenan y emiten energía generando una fuerza de impulso durante la deambulación. 	
Biónicos y electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de un microprocesador. 	

Tabla 5. Tipos de pies protésicos. (5,10).

Por lo general, las personas con ATT presentan mayor dificultad durante la marcha debido a que el consumo de energía del tobillo con pies protésicos es 1,2 veces mayor que una persona que tiene una amputación al mismo nivel (2,7).

Los pacientes del estudio de Sarroca, N et al. (11) los cuales tienen ATT unilateral presentan, tras ser medidos por medio de una electromiografía superficial (EMGs), una menor activación del cuádriceps del miembro amputado respecto al sano en velocidades (V_c 's) altas ($V_{c2}= 1,0$ m/s, $V_{c3}= 1,3$ m/s, y $V_{c4}=1,6$ m/s). Este déficit de activación de la musculatura interferirá y modificará las cargas biomecánicas en las AVD, y el patrón al deambular. Así mismo, observaron que el grupo de ATT poseía una disminución de la actividad muscular del cuádriceps de la extremidad amputada, en relación con la misma pierna en el grupo control. La medición de la EMGs se realiza mediante unos pantalones cortos que poseen electrodos y cables, como observamos en la Ilustración 8, los cuales registran la activación del cuádriceps del paciente que los lleva puestos.



Ilustración 8. Mbody shorts. Elaboración propia.

La incompleta activación del cuádriceps conlleva cierta dificultad durante la contracción voluntaria del mismo; contemplándose como un factor causante de una debilidad muscular (12). Además, las personas desde los 20 hasta los 80 años, pierden alrededor del 30% de la masa muscular, ocasionando una disminución de la fuerza (13).

El estudio de Moudy, SC et al. (14) explica cómo la disminución de la fuerza del cuádriceps en la pierna amputada causa compensaciones en el miembro sano, debido a una mayor carga mecánica en este a consecuencia de la prótesis. Mediante un dinamómetro, en distintos ángulos de cadera y rodilla, se investiga acerca de la fuerza de la pierna saludable con respecto a un grupo control; en donde se observa que la reducción del 30-39% de la fuerza solo se da en los pacientes que presentan ATT causada por una enfermedad vascular.

Escasos pacientes con ATT reciben fisioterapia, mediante ejercicio terapéutico, tras la amputación y son capaces de recuperar su máxima funcionalidad. Tras el correcto almohadillado, comentado anteriormente, las sesiones de fisioterapia se centrarán en observar cuales son las deficiencias y limitaciones funcionales que presente el paciente a tratar; y prescribir ejercicios en relación a ello. En caso de desconocer qué ejercicio sería el adecuado, se puede hacer uso del Predictor de Movilidad para Amputados en función de los resultados obtenidos. Sin embargo, algunas deficiencias y limitaciones pueden mantenerse como por ejemplo: Ponerse de pie o esquivar obstáculos (15,16).

Una afectación secundaria al uso de prótesis y a la propia ATT es el dolor lumbar crónico; debido a: Atrofia muscular, pérdida de la fuerza, asimetrías durante la deambulación, y mayor carga mecánica en la pierna sana. Para disminuir las molestias, se crea una serie de ejercicios en los que se incluye extensión de espalda resistida sentado, estabilización del tronco al rotar, resistencia abductora y corrección de la postura (17).

Por un lado, el entrenamiento pliométrico es una serie de ejercicios que consisten en un cambio veloz de una contracción excéntrica a una concéntrica; fomentando la fuerza explosiva mediante ejercicios de saltos y aterrizajes (18-20). Este tipo de entrenamiento induce cambios neuromusculares que pueden llegar a incrementar la fuerza y agilidad. Así mismo, pueden conseguir a corto plazo una correcta contracción voluntaria máxima (MVC). En cuanto al cuádriceps, si se trabaja con saltos verticales, se puede obtener un aumento de 1,3 milímetros de grosor del vasto lateral (músculo del cuádriceps que se puede encontrar con mayor delgadez tras entrenar por 5 semanas); y también, que las fibras musculares tipo I y tipo II del vasto lateral incrementen un 7,8% (21-24).

Por otro lado, el entrenamiento mediante ejercicio excéntrico (EEC) consiste en ejercicios en donde el cuádriceps hará un alargamiento de sus fibras de forma controlada y activa (25). El EEC se muestra una buena herramienta para aumentar la atrofia muscular ocasionada en el cuádriceps (26). Se puede fortalecer esta musculatura de 2 formas: Con sobrecarga excéntrica de máquinas de por ejemplo centros deportivos, lo cual mejora el aumento de fuerza y masa muscular; y EEC ejecutado en el dinamómetro isocinético, el cual permite contracciones musculares de máxima intensidad (individualizado) a V_c angular constante y ROM preestablecido (27). Este último método logra: Mayores resultados en la masa y fuerza muscular, desencadenando mejoras significativas en los momentos angulares o torques máximos excéntricos; y que el paciente no cargue en exceso, sino lo que sea capaz de aguantar (26). Este entrenamiento se puede hacer en cadena cinética (CC) cerrada (23). Aunque, se recomienda realizarlo de forma isocinética en CC abierta pues se consigue una carga óptima y un rendimiento muscular a distintas V_c 's (28). Además, independientemente de la realización de las repeticiones del ejercicio de forma rápida o lenta, se producirá un aumento de la fuerza muscular (29).

Así mismo, lo óptimo sería trabajar la fase excéntrica entre un rango de movimiento de 40°-90° de flexión de rodilla. Con este entrenamiento, se podrá conseguir una disminución del dolor presente a nivel de la rodilla y un aumento del desarrollo muscular debido a la estimulación mecánica de las vías de síntesis proteicas (12,28). Los hombres presentan mayor fuerza y masa muscular de cuádriceps que las mujeres; pero en ambos sexos, tras dicho entrenamiento, incrementan de forma similar (30).

Fathi, A et al. (31) llegan a la conclusión de que con la combinación de ambos entrenamientos se consigue una mayor fuerza muscular en chicos jóvenes.

El dinamómetro es una máquina en donde se realizan mediciones de fuerza de distintos tipos (isotónica, isocinética o isométrica), en este caso para valorar la fuerza de la rodilla del MMII amputado. Durante la prueba, después de corregir la gravedad, el paciente se encuentra sentado sujeto en el asiento con unos cinturones y a nivel de la pierna, con el cóndilo externo del fémur alineado respecto al eje mecánico (30,32); con una flexión generalmente de 80°-90° de la Art. Coxofemoral. Antes de realizar la prueba, se recomienda la comprobación de la estabilidad de la prótesis. Así mismo, al realizarla, se va dando tanto instrucciones como estímulos verbales con el fin de lograr la máxima contracción de la musculatura (32-35).

Actualmente existen varios tipos de dinamómetro isocinético; algunos de ellos son: IsoMed®2000 D&R GmbH (33,34), Technogym REV 9000 (35), Biodex System 3 (22,36), CON-TREX MJ (20), Biodex System 4 Pro (23), Cybex Norm (13,19,31,37,38), Biodex™ Multi Joint System 3 Pro (27,32), KinCom (39), HumacNorm Cybex 6000™ (40), y PRIMUS RS BTE (41).

En cuanto a las Vc' s angulares ejercidas mediante el dinamómetro, va a depender de las variables usadas en cada estudio, destacando: 25°/segundo (seg) (19), 30°/seg (40-42), 60°/seg (40-42), 120°/seg (20,28,41) y 180°/seg (34,40,41).

Behrens, M et al. (19) observó con el dinamómetro Cybex Norm a 25°/seg, colocando al paciente a 80° de flexión de cadera y 110° de flexión de rodilla, que tras un protocolo de 42 días de entrenamiento pliométrico (Anexo I), el torque voluntario máximo (MVT)

isométrico aumentó 20 Newton · metro (N·m) (5 a 36 N·m, $P = 0,012$). Además, tras dicho entrenamiento, también se comprobó la MVC excéntrica a 175° de flexión de rodilla con la misma V_c angular, resultando de este un aumento de la fuerza excéntrica del 13,3%. También hubo un aumento del MVT excéntrico de 27 N·m (7 a 48 N·m, $P = 0,013$). Y en cuanto al MVT concéntrico, incrementó a 24 N·m (9 a 40 N·m, $P = 0,004$).

El protocolo de Harput, G et al. (34) (Anexo II), el cuál realizó durante 42 días a adolescentes que jugasen en volleyball, mostró resultados significativos en la fuerza concéntrica del cuádriceps a 60°/seg y 180°/seg.

Mendiguchia, J et al. (22) llevó acabo un protocolo (Anexo III) de 49 días en futbolistas, en donde ambos grupos (control y experimental) tuvieron un leve aumento de la fuerza concéntrica del cuádriceps.

Krishna, SA et al. (23) desarrolló un protocolo (Anexo IV) de 3 meses para crickets, en donde se observó que tras realizarlo, la fuerza excéntrica del cuádriceps incrementó y disminuyó la asimetría entre ambos miembros de un 28,6%.

Y Behrens, M et al. (37) realizó otro protocolo (Anexo V) de 56 días, y después examinó con el Cybex Norm que, con una flexión de rodilla de 80°, el MVT isométrico aumentaba 23,1 N·m (95 % CI: 0.1–46.1 N·m, $P = 0.049$).

5. Evaluación de la evidencia

Los términos escogidos, para realizar la estrategia de búsqueda están reflejados en la Tabla 6:

Término	Libre	Español	Inglés	MeSH	DeCS
T1	Prótesis.	Prótesis.	Prosthesis.	Artificial Limbs.	Artificial Limbs.
T2	Cuádriceps.	Cuádriceps.	Quadriceps.	Quadriceps Muscle.	Quadriceps Muscle.
T3	Transtibial Amputation.	Amputación Transtibial.	Transtibial Amputation.	X	X
T4	Ejercicio.	Ejercicio.	Exercise.	“Exercise” OR “Exercise Therapy”.	“Exercise” OR “Exercise Therapy”.
T5	Pliométrico.	Pliométrico.	Plyometric.	Plyometric Exercise.	Plyometric Exercise.
T6	Eccentric.	Excéntrico.	Eccentric.	X	X
T7	Fisioterapia.	Fisioterapia.	Physical therapy.	“Physical Therapy Modalities” OR “Physical Therapy Specialty.”	“Physical Therapy Modalities” OR “Physical Therapy Specialty.”
T8	Fuerza.	Fuerza.	Strength.	Muscle Strength.	Muscle Strength.

Tabla 6. Términos. Elaboración propia.

El día 13 de noviembre de 2024, se hizo uso de las bases de datos: Pubmed y EBSCOhost. En esta última, se seleccionaron las bases de datos: Academic Search

Complete, CINAHL Complete, E-Journals y MEDLINE Complete. En ellas, se realizaron las estrategias de búsquedas representadas en la Tabla 7 y Tabla 8; mediante el uso de los términos libres, MeSH y DeCS, junto con los términos booleanos OR y AND. Por un lado, los términos MeSH se utilizaron en la base de datos PubMed. Y, por otro lado, los términos DeCS en la base de datos EBSCOhost.

Además, se tienen en cuenta los filtros de “clinical trial” y “fecha de publicación hasta 10 años (2014-2024)”; debido al escaso número de artículos encontrados.

Estrategia de búsqueda PubMed	Artículos encontrados	Artículos con filtros	Artículos utilizados
((“Artificial Limbs” [Mesh]) AND (“Quadriceps Muscle” [Mesh])) AND (Transtibial Amputation)	1	0	0
((“Artificial Limbs” [Mesh]) AND (“Quadriceps Muscle” [Mesh])) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	0	0	0
((“Artificial Limbs” [Mesh]) AND (Transtibial Amputation)) AND (“Physical Therapy Modalities” [Mesh] OR “Physical Therapy Specialty” [Mesh])	28	3	2
((“Artificial Limbs” [Mesh] AND (Transtibial Amputation)) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	6	0	0
((“Artificial Limbs” [Mesh]) AND (“Exercise” [Mesh] OR “Exercise Therapy” [Mesh])) AND (“Physical Therapy Modalities” [Mesh] OR “Physical Therapy Specialty” [Mesh])) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	4	1	0

((“Artificial Limbs” [Mesh]) AND (Eccentric)) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	1	0	0
((“Quadriceps Muscle” [Mesh]) AND (Transtibial Amputation)) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	3	2	1
((((“Quadriceps Muscle” [Mesh]) AND (“Exercise” [Mesh] OR “Exercise Therapy” [Mesh])) AND (Eccentric)) AND (“Physical Therapy Modalities” [Mesh] OR “Physical Therapy Specialty” [Mesh])) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	67	24	10
((“Quadriceps Muscle” [Mesh]) AND (“Plyometric Exercise” [Mesh])) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	19	4	3
((((“Quadriceps Muscle” [Mesh]) AND (“Plyometric Exercise” [Mesh])) AND (Eccentric)) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	2	2	2
((((Transtibial Amputation) AND (“Exercise” [Mesh] OR “Exercise Therapy” [Mesh])) AND (“Physical Therapy Modalities” [Mesh] OR “Physical Therapy Specialty” [Mesh])) AND (“Muscle Strength” [Mesh])	3	1	1
Total	134	37	19

Tabla 7. Estrategia de búsqueda Pubmed. Elaboración propia.

Estrategia de búsqueda EBSCOhost	Artículos encontrados	Artículos con filtros	Artículos utilizados
S9: Artificial Limbs AND Quadriceps Muscle AND Transtibial Amputation	3	3	3
S10: Artificial Limbs AND Quadriceps Muscle AND Muscle Strength	7	3	1
S11: Artificial Limbs AND Transtibial Amputation AND (“Physical Therapy Modalities” OR “Physical Therapy Specialty”)	27	8	3
S12: Artificial Limbs AND Transtibial Amputation AND Muscle Strength	17	6	3
S13: Artificial Limbs AND (“Exercise” OR “Exercise Therapy”) AND (“Physical Therapy Modalities” OR “Physical Therapy Specialty”) AND Muscle Strength	2	2	0
S14: Artificial Limbs AND Eccentric AND Muscle Strength	2	0	0
S15: Quadriceps Muscle AND Transtibial Amputation AND Muscle Strength	4	3	1
S16: Quadriceps Muscle AND (“Exercise” OR “Exercise Therapy”) AND Eccentric AND (“Physical Therapy Modalities” OR “Physical Therapy Specialty”) AND Muscle Strength	19	6	2
S17: Quadriceps Muscle AND Plyometric Exercise AND Muscle Strength	60	21	7

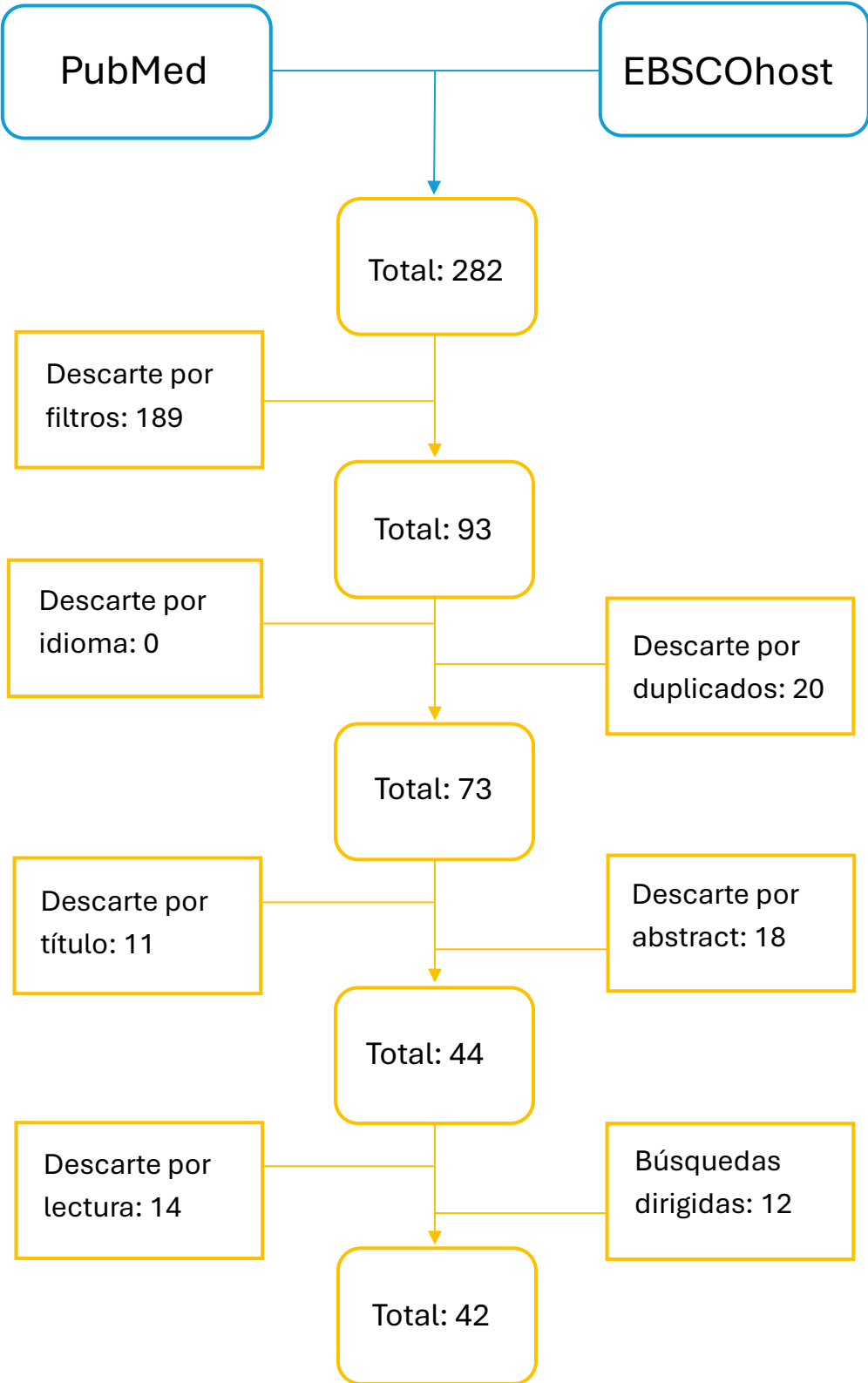
S18: Quadriceps Muscle AND Plyometric Exercise AND Eccentric AND Muscle Strength	6	4	1
S19: Transtibial Amputation AND (“Exercise” OR “Exercise Therapy”) AND (“Physical Therapy Modalities” OR “Physical Therapy Specialty”) AND Muscle Strength	1	0	0
Total	148	56	21

Tabla 8. Estrategia de búsqueda EBSCOhost. Elaboración propia.

Mediante las estrategias de búsquedas en ambas bases de datos, se encuentra un total de 282 artículos; quedándose 93 artículos, al añadirle los filtros en las bases de datos.

Así mismo, se le añade 12 búsquedas dirigidas con el fin de complementar la información ya obtenida de las bases de datos.

FLUJOGRAMA



6. Objetivos del estudio

6.1. Objetivo General:

Efectividad de un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de ejercicio excéntrico de cuádriceps en pacientes con prótesis transtibial.

6.2. Objetivos Específicos:

- A) Observar cambios de la fuerza isocinética a 60°/segundo del cuádriceps tras un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de ejercicio excéntrico en pacientes con prótesis transtibial.

- B) Observar cambios de la fuerza isocinética a 120°/segundo del cuádriceps tras un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de ejercicio excéntrico en pacientes con prótesis transtibial.

- C) Observar cambios de la fuerza isocinética a 180°/segundo del cuádriceps tras un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de ejercicio excéntrico en pacientes con prótesis transtibial.

- D) Observar si la influencia del sexo cambia la fuerza isocinética a 60°/segundo, 120°/segundo y 180°/segundo del cuádriceps tras un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de ejercicio excéntrico en pacientes con prótesis transtibial.

7. Hipótesis

El entrenamiento pliométrico aumenta la fuerza isocinética a 60°/segundo, 120°/segundo y 180°/segundo de cuádriceps respecto al entrenamiento de ejercicio excéntrico, en pacientes con prótesis transtibial.

8. Metodología

8.1. Diseño

Se va a realizar un estudio analítico, experimental, longitudinal y prospectivo; puesto que los resultados se reunirán durante las mediciones. Habrá un grupo experimental (A) y un grupo control (B) seleccionados de forma aleatorizada, mediante la elección con los ojos cerrados de una pelota con un número (número par = Grupo A; número impar = Grupo B) dentro de una caja; cegando en este caso tanto al fisioterapeuta evaluador como al estadístico. Por un lado, el Grupo A realizará un tratamiento a base de un entrenamiento de ejercicios pliométricos. Y, por otro lado, el Grupo B efectuará un tratamiento centrado en un entrenamiento de EEC.

El estudio acatará en todo momento la Declaración de Helsinki y la Declaración de Tokio de la Asociación Médica Mundial. Además, se realiza una solicitud al Comité Ético de la Investigación con Medicamentos y productos sanitarios (CEIm) con el fin de que evalúe el proyecto y de la aprobación de este en el “Hospital Universitario 12 de Octubre”. Antes de comenzar, los sujetos de estudio recibirán la Hoja de Información al Paciente (HIP) (Anexo VI) en donde se especificará todos los datos relevantes acerca del proyecto; en el caso de que estén de acuerdo y quieran participar, tendrán que signar un Consentimiento Informado (CI) (Anexo VII). Sumado a esto, se respetará tanto la protección de datos como el anonimato de estos. El grupo de investigación, a excepción de la investigadora principal, podrán observar únicamente los resultados del estudio puesto que a los sujetos se les adjuntará un usuario anónimo el cual solo sabrá él y la investigadora; esta información estará sujeta en la HIP (Anexo VI).

Por otra parte, se le entregará una hoja de renuncia (Anexo VIII) en caso de que el sujeto no quiera comenzar o continuar con el estudio; así como, si tras obtenidos los resultados no desea su publicación.

8.2. Sujetos de estudio

La población diana a la que va dirigida el estudio, son los hombres y mujeres que presentan ATT; siendo, la población de estudio los sujetos que quieran participar en el proyecto y se adecuen a los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 9).

Criterios	
Inclusión	<ul style="list-style-type: none">• ATT menor.• Idioma: Español o Inglés.• Accesibilidad completa.• Prótesis osteointegrada, exoesqueléticas y endoesqueléticas.• Mayores de edad.
Exclusión	<ul style="list-style-type: none">• ATT mayor.• Fiebre.• Bajo tratamiento oncológico agudo.• Medicamentos antidepresivos.• Medicamentos para la mejora del rendimiento o alteración de la fuerza.

Tabla 9. Criterios de inclusión y exclusión. Elaboración propia.

La muestra se obtendrá por un muestreo no probabilístico por conveniencia y bola de nieve; en donde se elegirá un sujeto con ATT del “Hospital Universitario 12 de Octubre”.

Para saber el número de sujetos necesarios en el estudio (en cada grupo y en total), se calcula el tamaño de la muestra mediante la sucesiva fórmula:

$$n = \frac{2 \times K \times (SD)^2}{d^2}$$

- **n** = Tamaño de la muestra.
- **K** = Constante (nivel de significación y poder estadístico).
- **SD** = Desviación típica.
- **d** = Precisión.

Se va a calcular en relación a todas las variables dependientes, estableciendo una constante K de 7,8 (Tabla 10); seleccionando un nivel de significación (α) del 5% y un poder estadístico (1- β) del 80%. De esta forma, el nivel de confianza (1- α) será del 95%, pudiendo evitar probablemente cometer un error Tipo I y Tipo II.

Poder estadístico (1- β)	Nivel de significación (α)		
	5%	1%	0,10%
80%	7,8	11,7	17,1
90%	10,5	14,9	20,9
95%	13	17,8	24,3
99%	18,4	24,1	31,6

Tabla 10. Nivel de significación y poder estadístico seleccionados. Elaboración propia.

Para la variable de fuerza isocinética (FI) a 60°/seg, se utilizará los datos acerca del torque máximo del cuádriceps dominante pre-entrenamiento (Ilustración 9); en donde la desviación típica (SD) es de 0,68 y la precisión (d) es el 15% de 2,62. Se obtiene una muestra de 47 sujetos por grupo.

	Before training	After training	p	95% CI	Effect size
Dominant quadriceps PT 60°/s (N·m/kg)	2.62 ± 0.68	2.92 ± 0.95	.01*	[-0.53, -0.06]	0.53
Nondominant quadriceps PT 60°/s (N·m/kg)	2.39 ± 0.62	2.69 ± 0.81	.01*	[-0.52, -0.07]	0.57
Dominant quadriceps PT 180°/s (N·m/kg)	2.51 ± 0.63	2.81 ± 0.94	.04*	[-0.59, -0.009]	0.44
Nondominant quadriceps PT 180°/s (N·m/kg)	2.27 ± 0.57	2.59 ± 0.80	.007*	[-0.55, -0.09]	0.60
Vertical jump height (cm)	20.58 ± 1.93	22.33 ± 1.93	<.001*	[-0.52, -0.17]	1.28

Note. CI = confidence interval; PT = peak torque.
* $p < .05$.

Ilustración 9. Datos de la variable FI a 60°/seg para cálculo de la muestra (34).

$$n = \frac{2 \times 7,8 \times (0,68^2)}{0,393^2} = 46,7 \cong 47$$

Por otro lado, para la FI a 120°/seg se hará uso de los datos sobre el torque concéntrico máximo del cuádriceps en saltadores (Ilustración 10); siendo la SD de 0,47 y la d es del 15% de 1,73. Se obtiene una muestra de 52 sujetos por grupo.

	Swimmer	Jumper	<i>t</i>	<i>P</i>	ES
<i>Q_{con}</i> [Nm/Kg]	1.57(0.42)	1.73(0.47)	-0.871	0.394	0.36
<i>Q_{ecc}</i> [Nm/Kg]	1.99(0.51)	2.61(0.55)	-2.724	0.013*	1.17
<i>H_{con}</i> [Nm/Kg]	0.96(0.11)	1.11(0.17)	-2.464	0.023*	1.05
<i>H_{con}/Q_{ecc}</i>	0.52(0.15)	0.44(0.09)	1.483	0.154	0.65

Q_{con}: Peak quadriceps concentric torque; *Q_{ecc}*: Peak quadriceps eccentric torque; *H_{con}*: Peak hamstring concentric torque; ES: effect size.

Ilustración 10. Datos de la variable FI a 120°/seg para cálculo de la muestra (20).

$$n = \frac{2 \times 7,8 \times (0,47^2)}{0,2595^2} = 51,17 \cong 52$$

Y, para la FI a 180°/seg se recogerán los datos sobre el torque máximo del cuádriceps dominante pre-entrenamiento (Ilustración 11); escogiendo así una SD de 0,63 y una d del 15% de 2,51. Se obtiene una muestra de 44 sujetos por grupo.

	Before training	After training	<i>p</i>	95% CI	Effect size
Dominant quadriceps PT 60°/s (N·m/kg)	2.62 ± 0.68	2.92 ± 0.95	.01*	[-0.53, -0.06]	0.53
Nondominant quadriceps PT 60°/s (N·m/kg)	2.39 ± 0.62	2.69 ± 0.81	.01*	[-0.52, -0.07]	0.57
Dominant quadriceps PT 180°/s (N·m/kg)	2.51 ± 0.63	2.81 ± 0.94	.04*	[-0.59, -0.009]	0.44
Nondominant quadriceps PT 180°/s (N·m/kg)	2.27 ± 0.57	2.59 ± 0.80	.007*	[-0.55, -0.09]	0.60
Vertical jump height (cm)	20.58 ± 1.93	22.33 ± 1.93	<.001*	[-0.52, -0.17]	1.28

Note. CI = confidence interval; PT = peak torque.
**p* < .05.

Ilustración 11. Datos de la variable FI a 180°/seg para cálculo de la muestra (34).

$$n = \frac{2 \times 7,8 \times (0,63^2)}{0,3765^2} = 43,68 \cong 44$$

La variable de la que se obtiene mayor tamaño muestral, como podemos ver en la Ilustración 12, es la FI a 120°/seg ($n = 52$). Por lo tanto, se escogerá este valor como modelo para concretar la muestra del estudio. Así mismo, se le añadirá al resultado un 10% extra de sujetos debido a la posibilidad de la renuncia de algún sujeto a lo largo del estudio. Teniendo todo esto en cuenta, la muestra total del estudio es de 116 (para obtener grupos homogéneos); creando 2 grupos (Grupo A y Grupo B) de 58 sujetos cada uno.

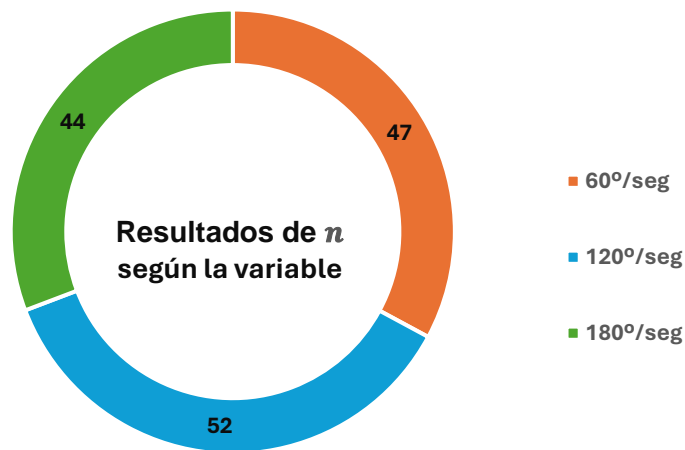
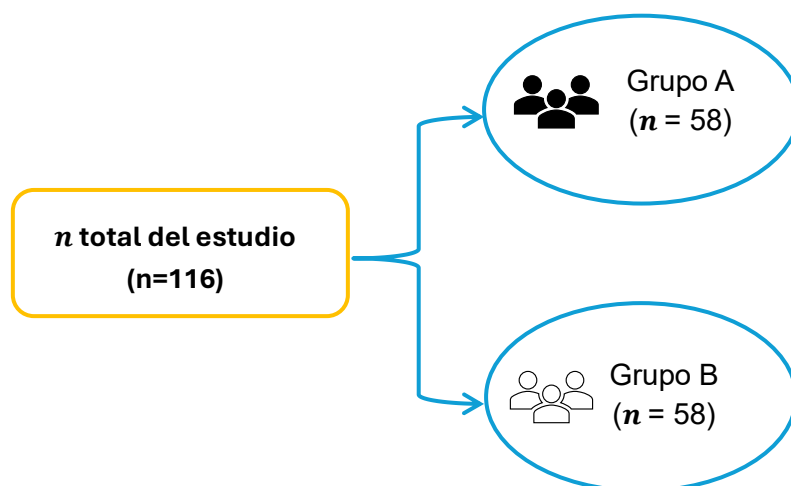


Ilustración 12. Gráfico de muestra de las variables dependientes. Elaboración propia.

$$n \text{ total del estudio} = 52 + 52 = 104 + \frac{104 \times 10}{100} = 114,4 \cong 115 \cong \mathbf{116}$$



8.3. Variables

En el proyecto de investigación se va a hacer uso de las variables tanto dependientes como independientes, representadas en la Tabla 11.

Variables				
	Nombre	Tipo	Sistema de extracción	Unidad de medida
Dependientes	FI concéntrica máxima (FICmáx) a 60°/seg.	Cuantitativa continua - escalar.	Dinamómetro computarizado.	Newton (N).
	FICmáx a 120°/seg.			
	FICmáx a 180°/seg.			
Independientes	Tipo de tratamiento.	Cualitativa nominal - dicotómica.	0: Grupo A (entrenamiento pliométrico). 1: Grupo B (entrenamiento EEC).	X
	Momento de medición.	Cualitativa nominal - dicotómica.	0: Pre-entrenamiento. 1: Post-entrenamiento.	X

	Sexo.	Cualitativa nominal - dicotómica.	0: Hombre. 1: Mujer.	Cuestio- nario.
--	-------	---	-----------------------------	--------------------

Tabla 11. Variables dependientes e independientes. Elaboración propia.

Por un lado, las variables dependientes FICmáx a 60°/seg, 120°/seg y 180°/seg se medirán con un dinamómetro (Biodex System 4 Pro), con el brazo de palanca dispuesto a 5 centímetros (cm) de la parte de amputación.

Y, por otro lado, en cuanto a las variables independientes: El tipo de tratamiento se distribuirá de forma aleatorizada (explicado anteriormente) en 2 grupos (Grupo A y Grupo B); el momento de medición estará sujeto a una medición de 4 repeticiones de flexo-extensión de rodilla pre-entrenamiento (un día antes de empezar con el tratamiento) y otra post-entrenamiento (12 semanas después); y el sexo se clasificará entre hombres y mujeres mediante la realización de un cuestionario (Anexo IX) que se le entregará junto con el CI (Anexo VII).

8.4. Hipótesis operativa

8.4.1. Hipótesis del objetivo específico “A”:

- Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas en la FI a 60°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.
- Hipótesis alternativa (H_a): Existen diferencias significativas en la FI a 60°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.

8.4.2. Hipótesis del objetivo específico “B”:

- H₀: No existen diferencias significativas en la FI a 120°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.
- H_a: Existen diferencias significativas en la FI a 120°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.

8.4.3. Hipótesis del objetivo específico “C”:

- H₀: No existen diferencias significativas en la FI a 180°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.
- H_a: Existen diferencias significativas en la FI a 180°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.

8.4.4. Hipótesis del objetivo específico “D”:

- H₀: No existen diferencias significativas en relación a la influencia del sexo sobre la FI a 60°/seg, 120°/seg y 180°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.
- H_a: Existen diferencias significativas en relación a la influencia del sexo sobre la FI a 60°/seg, 120°/seg y 180°/seg del cuádriceps al realizar un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de EEC en pacientes con prótesis transtibial.

8.5. Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis

Tras la aprobación del proyecto por parte del CEIm, se citará en el “Hospital Universitario 12 de Octubre” a todas las personas interesadas en participar en él. Allí, el traumatólogo se encargará de diferenciar si cada sujeto presenta una ATT mayor o menor. Una vez seleccionados los de ATT menor, la investigadora principal hará entrega de: HIP (Anexo VI), CI (Anexo VII) y un cuestionario (Anexo IX) para ver si presentan los criterios de inclusión y se ajustan a los criterios de exclusión, y para los datos personales necesarios.

El estudio cumplirá en todo momento la Declaración de Helsinki y la Declaración de Tokio de la Asociación Médica Mundial. También se acatará la Ley Orgánica de Protección de Datos y garantía de los derechos digitales 3/2018, mediante la aportación de un número de usuario a cada sujeto que participe; usuario el cuál solo sabrá a qué sujeto pertenece la investigadora principal, y que se encontrará en las tablas de Excel y del programa estadístico SPSS® con los resultados de las respectivas mediciones. En el caso de renuncia, los datos recogidos serán suprimidos.

Primero, se creará una tabla en una hoja de cálculo de Excel, con los resultados de las mediciones de inicio y final al tratamiento, como se puede observar en la Tabla 12.

Sujeto	Sexo	Grupo	Medición Pre-tratamiento			Medición Post-tratamiento		
			Fl a 60º/seg	Fl a 120º/seg	Fl a 180º/seg	Fl a 60º/seg	Fl a 120º/seg	Fl a 180º/seg
2425xxx	0	0	X	X	X	X	X	X
2425xxx	0	1	X	X	X	X	X	X
2425xxx	1	0	X	X	X	X	X	X
2425xxx	1	1	X	X	X	X	X	X

Tabla 12. Hoja de cálculo de Excel para recogida de resultados. Elaboración propia.

Volcaremos dicha tabla en el programa estadístico SPSS® para llevar a cabo un análisis estadístico que consta en 2 fases: Primero un análisis descriptivo y luego uno inferencial.

En cuanto al análisis descriptivo, se podrán examinar las medidas de parámetros estadísticos de: Centralización (media, mediana y moda), posición (cuartiles y percentiles), forma (sesgo, asimetría y curtosis) y dispersión (rango, SD y varianza). Para las variables dependientes se podrá realizar una representación mediante histogramas o polígonos de frecuencias, y las variables independientes se podrán representar con diagramas de barras.

Respecto al análisis inferencial, se ejecutaran los siguientes pasos descritos en la Tabla 13:

Análisis Interferencial		
1°	Prueba de normalidad "Kolmogorov-Smirnov" ($n > 30$)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ H_0: Existe distribución normal. ▪ H_a: No existe distribución normal.
		<p>$p < 0,05$</p> <p>Se acepta la H_a; por lo que no se cumple el supuesto de normalidad → <u>Prueba no paramétrica</u>: "Wilcoxon".</p>
		<p>$p > 0,05$</p> <p>Se acepta la H_0; por lo que se cumple el supuesto de normalidad → <u>Prueba paramétrica</u>: "T student para muestras relacionadas/emparejadas".</p>
2°	Prueba de "Wilcoxon"	<ul style="list-style-type: none"> ▪ H_0: No existen diferencias significativas de la variable dependiente entre la medición pre-entrenamiento y post-entrenamiento. ▪ H_a: Existen diferencias significativas de la variable dependiente entre la medición pre-entrenamiento y post-entrenamiento.
		<p>$p < 0,05$</p> <p>Se acepta la H_a.</p>
		<p>$p > 0,05$</p> <p>Se acepta la H_0.</p>
	Prueba "T student para muestras relacionadas / emparejadas"	<ul style="list-style-type: none"> ▪ H_0: No existen diferencias significativas de la variable dependiente entre la medición pre-entrenamiento y post-entrenamiento. ▪ H_a: Existen diferencias significativas de la variable dependiente entre la medición pre-entrenamiento y post-entrenamiento.
		<p>$p < 0,05$</p> <p>Se acepta la H_a.</p>
		<p>$p > 0,05$</p> <p>Se acepta la H_0.</p>

Tabla 13. Pasos del análisis interferencial. Elaboración propia.

8.6. Limitaciones

- Artículos buscados en tiempo de estrategia de búsquedas limitado, con posibilidad de no haber recogido todos los artículos sobre ATT hasta la fecha de hoy; de ahí que haya un 28'57% de búsquedas dirigidas.
- Falta de artículos que describan las partes de una prótesis transtibial.
- Por falta de tiempo y debido a que es un trabajo de fin de grado, no se añaden variables independientes como índice de masa corporal y edad.

8.7. Equipo investigador

Este estudio se realizará mediante la colaboración de los siguientes profesionales, los cuales deberán residir en España:

- Investigadora principal: Sara Miguelsanz García, graduada en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas (Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios"), en 2025.
- Fisioterapeuta (evaluador) con competencia biomecánica y del uso de un dinamómetro Biodex System 4 Pro.
- Traumatólogo: Con el fin de que diferencie una ATT menor de una ATT mayor, para admitir o rechazar al sujeto.
- Estadístico competente en el área de salud.

9. Plan de trabajo

9.1. Diseño de la intervención

Una vez elaborado el diseño de estudio, se solicitará la aprobación del mismo al CEIm; tras ser otorgado el permiso, se llevará a cabo el plan de proyecto (Ilustración 13).

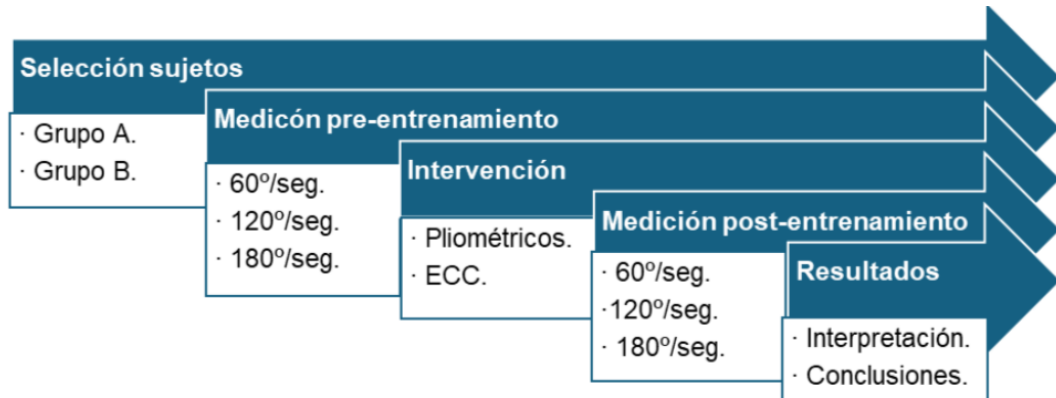


Ilustración 13. Resumen plan de proyecto. Elaboración propia.

Primero, la investigadora principal se pondrá en contacto con el “Hospital Universitario 12 de Octubre” para exponer el estudio en una sala de allí, junto con el resto del equipo investigador previamente seleccionados; de tal forma que los traumatólogos que estén presentes en la charla, se encargen de derivar a los pacientes los cuales creen que estarían interesados en participar en el estudio. En dicha reunión, se comentará que los pacientes que estén interesados deberán acudir a la misma sala el lunes 19 de mayo a las 10:00 para que el traumatólogo del equipo haga una valoración con el fin de ver si presenta una ATT menor o mayor. Si el sujeto presenta una ATT menor, será apto para el estudio; por lo que si estuviese interesado, se le hará entrega del HIP (Anexo VI) y del CI (Anexo VII) para signar junto con el cuestionario (Anexo IX).

Después, se procederá a la aleatorización de los 116 sujetos para asignarles al Grupo A o al Grupo B (en función del número de la pelota escogida) y se les otorgará un usuario. Por lo tanto, el tipo de entrenamiento y datos personales del paciente, solo los conocerá la investigadora principal. Al terminar con esto, se les

citará el lunes 2 de junio a las 09:00, en intervalos de 10 minutos cada cita (en función del usuario, empezará el 2425001), en la sala de biomecánica del hospital para la medición pre-entrenamiento (Tabla 14). Llegado el día de la medición de la variable de FI, se procederá a seguir los siguientes pasos:

- 1°. La investigadora principal y fisioterapeuta evaluador deberán corregir la gravedad del dinamómetro Biodex System 4 Pro (30,32).
- 2°. Se le pedirá al sujeto que se sienta en el dinamómetro (Ilustración 14).
- 3°. Solicitud al sujeto del correcto ajuste y estabilidad de la prótesis; con el fin de evitar posibles incidencias durante las mediciones (32).
- 4°. Comprobación de que la cadera se encuentre flexionada a 90°, y que el cóndilo externo del fémur esté alineado al eje mecánico como en la Ilustración 15 (32-35).
- 5°. Colocación del brazo de palanca a 5 cm de la parte de la ATT; por lo tanto, irá en función del nivel de amputación de cada sujeto.
- 6°. Sujeción del sujeto mediante el uso de un cinturón a nivel de la cadera y otro para el tronco (32).
- 7°. Medición del rango articular de movimiento del MMII (32).
- 8°. Explicación al sujeto de lo que debe hacer (flexo-extensión de rodilla) y qué va a sentir (resistencia al estirar la pierna y que la máquina le ayudara a doblarla).
- 9°. Primera repetición (no medida) a 60°/seg; para que el sujeto comprenda cómo funciona y debe realizarlo.
- 10°. 4 repeticiones (medidas) de FIC_{máx} de cuádriceps a 60°/seg, luego 4 a 120°/seg, y después 4 a 180°/seg; dejando 1 minuto de descanso entre cada Vc.

Durante las mediciones, se va dando tanto instrucciones como estímulos verbales (32-34).



Ilustración 14. Colocación del sujeto. Elaboración propia.

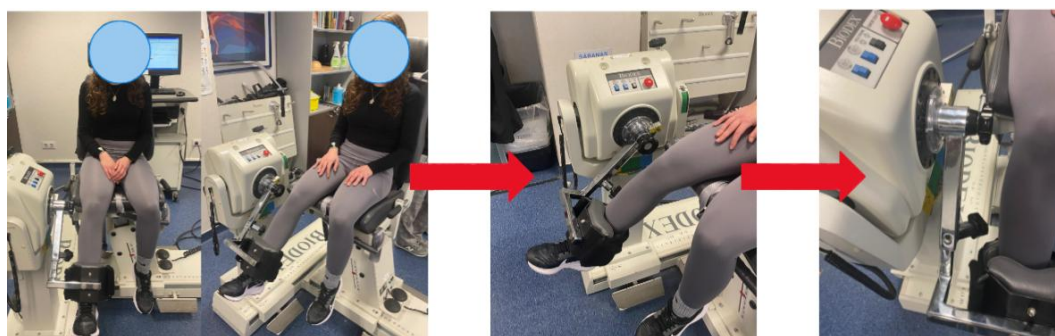


Ilustración 15. Colocación eje mecánico. Elaboración propia.

El resultado que se usará posteriormente en septiembre, será el pico máximo de las variables FI; se seleccionará el valor más alto de las 4 repeticiones para cada V_c angular.

Se volverá a citar a los sujetos el miércoles 4 de junio, pero esta vez en el Centro de Entrenamiento Guifit Club, para el comienzo del tratamiento a cada grupo. Ambos grupos, seguirán el protocolo de Krishna SA. et al. (23); en donde el Grupo

A realizará el componente pliométrico, mientras que el Grupo B el componente de fuerza durante 12 semanas (Anexo IV), realizando los siguientes ejercicios:



Ilustración 16. Sentadilla con salto - ejercicio pliométrico etapa 1. (23). Elaboración propia.



Ilustración 17. CM Salto de valla con ambas piernas - ejercicio pliométrico etapa 1 y 2. (23). Elaboración propia.



Ilustración 18. CM Salto de valla a una pierna - ejercicio pliométrico etapa 1, 2, 3 y 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 19. Salto de longitud - ejercicio pliométrico etapa 2. (23). Elaboración propia.



Ilustración 20. Salto vertical en caja a una pierna (lateral) - ejercicio pliométrico etapa 3. (23). Elaboración propia.



Ilustración 21. Salto vertical en caja a una pierna (medial) - ejercicio pliométrico etapa 3. (23). Elaboración propia.



Ilustración 22. CM Lateral Bound y CM Bound - ejercicios pliométricos etapa 3 y 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 23. Bound continuo - ejercicio pliométrico etapa 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 24. CM Salto vertical en caja con ambas piernas - ejercicio pliométrico etapa 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 25. Salto rotacional a una pierna - ejercicio pliométrico etapa 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 26. Sentadilla - ejercicio fuerza etapa 1, 3 y 4. (23). Elaboración propia.

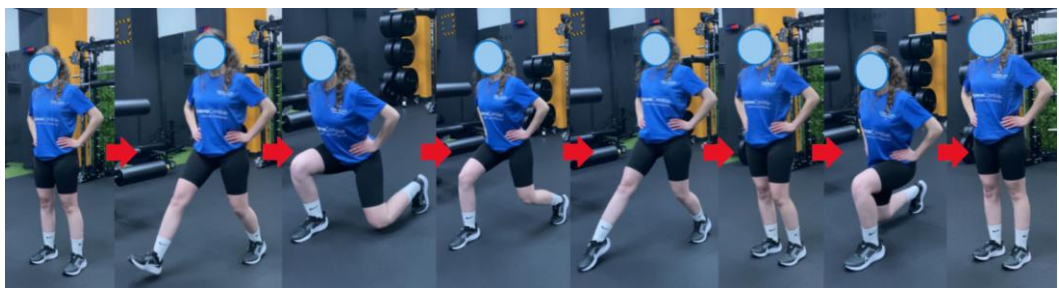


Ilustración 27. Zancada - ejercicio fuerza etapa 1. (23). Elaboración propia.



Ilustración 28. Peso muerto con barra Trap - ejercicio fuerza etapa 1, 2 y 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 29. Hip Thrust a una pierna - ejercicio fuerza etapa 1. (23). Elaboración propia.

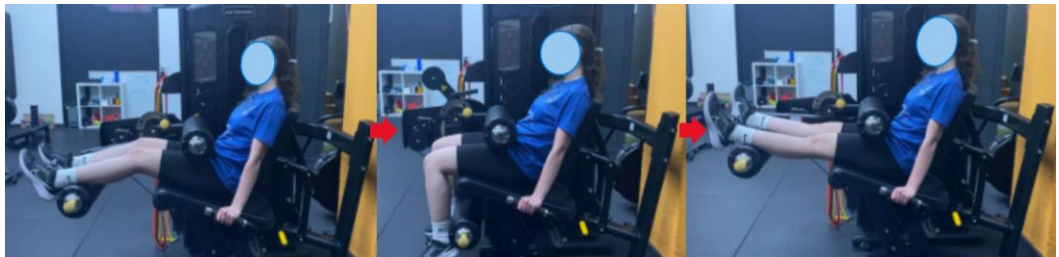


Ilustración 30. Curl de isquiotibiales - ejercicio fuerza etapa 1, 2, 3 y 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 31. Plancha - ejercicio fuerza etapa 1. (23). Elaboración propia.

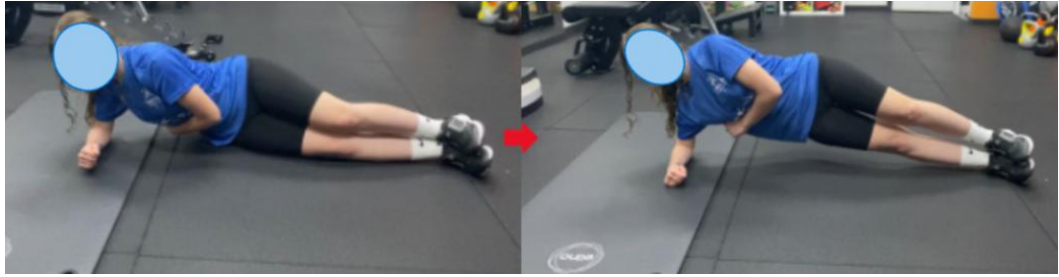


Ilustración 32. Plancha lateral - ejercicio fuerza etapa 2. (23). Elaboración propia.



Ilustración 33. Step-Up - ejercicio fuerza etapa 2 y 3. (23). Elaboración propia.



Ilustración 34. Sentadilla frontal - ejercicio fuerza etapa 2. (23). Elaboración propia.



Ilustración 35. Kettle Bell Swing - ejercicio fuerza etapa 3. (23). Elaboración propia.

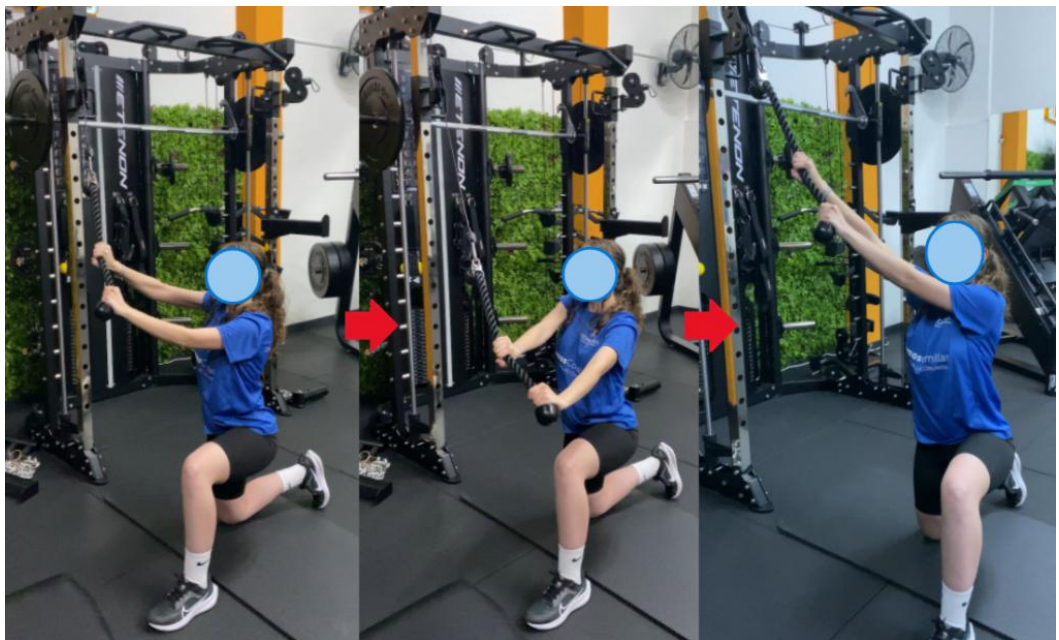


Ilustración 36. Cable Chop medio arrodillado - ejercicio fuerza etapa 3. (23). Elaboración propia.



Ilustración 37. Peso muerto rumano a una pierna - ejercicio fuerza etapa 2, 3 y 4. (23). Elaboración propia.



Ilustración 38. Zancada lateral - ejercicio fuerza etapa 4. (23). Elaboración propia.

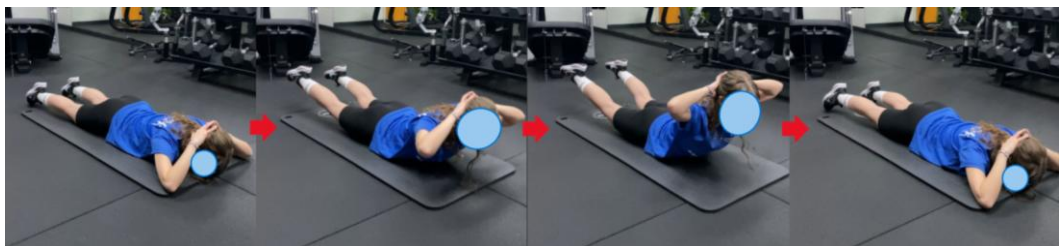


Ilustración 39. Extensiones de espalda - ejercicio fuerza etapa 4. (23). Elaboración propia.

Así mismo, solo habrá un total de 3 entrenamientos por semana, con un descanso de 48-72 horas entre ellos (23); los días de entrenamientos se encuentran representados en la Tabla 14 en color azul.

Junio 2025						
L	M	X	J	V	S	D
						1
2: Medición.	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						
Julio 2025						
L	M	X	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			
Agosto 2025						
L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31: Medición.

Tabla 14. Calendario de las mediciones e intervención. Elaboración propia.

Una vez acabados los entrenamientos se citarán a los sujetos pasadas 48 horas del último, es decir, el día 31 de agosto a las 09:00; deberán acudir a la sala de biomecánica del hospital, en intervalos de aproximadamente 10 minutos cada sujeto (comenzará el sujeto 2425001) para la realización de la medición post-entrenamiento (misma secuencia que la medición pre-entrenamiento).

Por último, durante septiembre y octubre, el fisioterapeuta evaluador y el estadístico reclutarán los resultados de ambas mediciones y los redactarán junto con las conclusiones finales para la posterior publicación del estudio.

9.2. Etapas de desarrollo

Las etapas descritas en la Tabla 15, se desarrollarán en los siguientes periodos:

- **1º Periodo:** Octubre 2024 – Abril 2025.
- **2º Periodo:** Abril – Mayo 2025.
- **3º Periodo:** Junio – Agosto 2025.
- **4º Periodo:** Septiembre – Octubre 2025.

	Periodo	Fecha
Evaluación de la evidencia y ejecución de antecedentes	1º Trimestre.	Octubre 2024 – Febrero 2025.
Diseño y redacción del proyecto	1º Trimestre.	Marzo – Principios abril 2025.
Solicitud del CEIm	2º Trimestre.	Mediados de abril 2025.
Contacto con “Hospital Universitario 12 de Octubre” y equipo de investigación	2º Trimestre.	Mayo 2025.
Selección de sujetos de estudio (bajo CI) y adjudicación a grupos	2º Trimestre.	Mayo 2025.
Medición pre-entrenamiento	3º Trimestre.	Junio 2025.
Intervención	3º Trimestre.	Junio – Agosto 2025.
Medición post-entrenamiento	3º Trimestre.	Agosto 2025.
Interpretación resultados de las mediciones	4º Trimestre.	Septiembre 2025.
Elaboración de conclusiones y publicación del estudio	4º Trimestre.	Octubre 2025.

Tabla 15. Periodos y fechas de las etapas de desarrollo. *Elaboración propia.*

9.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador

- Investigadora principal: Se encargará principalmente del diseño de investigación, solicitará la aprobación de este por parte del CEIm, y se pondrá en contacto con el “Hospital Universitario 12 de Octubre” y los traumatólogos del mismo.

También, informará a los sujetos de todo lo relacionado con el estudio y repartirá los documentos necesarios para firmar a los interesados, para así asignarle posteriormente un usuario.

Deberá coordinar en todo momento a los profesionales del equipo investigador, cerciorándose que cumplen sus tareas y las etapas de desarrollo; realizando reuniones intermedias a lo largo del proyecto de investigación.

Así mismo, enseñará a los sujetos (tras tomarles la temperatura con un termómetro para descartar que presenten fiebre) el plan de tratamiento (pliométrico y EEC) previamente diseñado, y realizará las mediciones pre-entrenamiento y post-entrenamiento de las variables dependientes; publicando los resultados cuando el estudio finalice.

- Fisioterapeuta (evaluador) con competencia biomecánica y del uso de un dinamómetro Biodex System 4 Pro: Junto con la investigadora principal, realizará las mediciones pre-entrenamiento y post-entrenamiento de la FIC_{máx} a 60°/seg, 120°/seg y 180°/seg de cuádriceps mediante el dinamómetro Biodex System 4 Pro.

Después, con el estadístico, evaluará los resultados de las variables dependientes con el uso del Biodex. Además, se le cegará con el objetivo de eludir la posibilidad de conflictos de intereses.

- Traumatólogo: Tendrá la función de corroborar si los sujetos presentan una ATT menor o mayor; solo aceptará, para el estudio, a aquellos que tengan una ATT menor.
- Estadístico competente en el área de salud: Analizará e interpretará los resultados obtenidos de las variables dependientes mencionadas en el

programa estadístico SPSS®, junto con el fisioterapeuta evaluador. También se le cegará, con el mismo fin que al fisioterapeuta.

9.4. Lugar de realización del proyecto

Se creará una primera reunión, a principios de mayo, entre la investigadora principal y un traumatólogo del “Hospital Universitario del 12 de Octubre” (ubicado en Avenida de Córdoba, 28041, Madrid) en el mismo hospital; en donde se proporcionará una serie de posibles sujetos para el estudio una vez comentado el tipo de sujeto de interés y la intervención a realizar.

Después, se contactará con los sujetos para citarles en el hospital el lunes 19 de mayo a las 10:00 con el fin de corroborar si presentan una ATT menor; en el caso de que sí, se les aportará la HIP (Anexo VI) y el CI (Anexo VII). Una vez seleccionados, se le hará entrega de un cuestionario (Anexo IX), se le adjuntará aleatoriamente a un grupo de intervención, y el lunes 2 de junio a las 09:00 la investigadora principal y el fisioterapeuta evaluador realizarán una medición pre-entrenamiento con el dinamómetro (Biodex System 4 Pro); el cual se encuentra en la sala de biomecánica propia del hospital.

En cuanto a la intervención, se les citará al día siguiente de la medición pre-entrenamiento en el Centro de Entrenamiento Guifit Club (situado en la Calle Enrique Larreta 3, 28036, Madrid). Allí, se les citará con la investigadora principal, en una sala a distintos horarios: El grupo A, por la mañana (10:00); y el grupo B, por la tarde (17:00). Deberán acudir al plan de entrenamiento, descrito anteriormente, durante 12 semanas.

Pasada la etapa de intervención, se les volverá a citar el 31 de agosto a las 09:00 en el hospital para la ejecución de la medición post-tratamiento, tras haber pasado 72 horas del último entrenamiento.

10. Referencias

1. Palacín Nieto V, Palacín Nieto L, Satrústegui Ollaquindia L, Espinosa Capapey P, Vintanel López. S, Niño Tena A. El paciente amputado transtibial y la prótesis osteointegrada. Revista Sanitaria de Investigación [Internet]. 2021 [citado 20 de abril de 2025];2:362.
2. Robles HV, Areiza RM, Almanza MI, Gaviria K, Hernández AF, Escobar NJ. Modelo de Prótesis Transtibial Funcional: Aquiles. Ingeniería y Competitividad. 2023;25(2).
3. Moreno-López J, Moreno-Palacios JA, Esteban-Román S, Lamas IM, Petriman M, Pintor-Ojeda A. Utilización de la prótesis en amputados de miembro inferior. Rehabilitación. 2017;51(4):220–225.
4. Al-Raies Bolaños B. Evolución de la tasa de amputación en España entre los años 2003 y 2020 [tesis doctoral]. Valencia: Universidad de Valencia; 2023. Recuperado a partir de: <https://hdl.handle.net/10550/88593>
5. Fajardo Martos IM. Elementos de pronóstico en amputados de miembros inferiores sometidos a prótesis [tesis doctoral]. Jaén: Universidad de Jaén; 2018. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/10953/1091>
6. Belmar Rivero J. Justificación del trabajo de fuerza y propiocepción en sujetos con amputación transtibial [Trabajo Fin de Grado]. Universidad Francisco de Vitoria; 2014. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/10641/1018>
7. Espinoza MJ, García D. Niveles de amputación en extremidades inferiores: repercusión en el futuro del paciente. 2014;25(2):276–280.
8. Sánchez SZ, Soriano MM, Lapeña CA, Abolafia LM, Torrecilla SB. Proceso de atención de enfermería ante un paciente intervenido tras amputación traumática de extremidad inferior. Revista Sanitaria de Investigación [Internet]. 2022 [citado 20 abril de 2025].

9. Zambrano Vásquez JL. Fisioterapia en la calidad de vida y discapacidad de pacientes con prótesis por amputación de miembro inferior [Trabajo Fin de Máster]. A Coruña: Universidad de A Coruña; 2021. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/2183/29807>
10. Lugo Agudelo LH, Acosta Baena N, Posada AM, Moreno Vélez S, Rodríguez Guevara C, Vélez DA, et al. Guía de Práctica Clínica para el diagnóstico y tratamiento preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio de la persona amputada, la prescripción de la prótesis y la rehabilitación integral. 2015.
11. Sarroca N, Luesma MJ, Valero J, Deus J, Casanova J, Lahoz M. Muscle Activation during Gait in Unilateral Transtibial Amputee Patients with Prosthesis: The Influence of the Insole Material Density. *J Clin Med.* 2021;10(14):3119.
12. Rodríguez K, García SA, Spino C, Lepley LK, Pang Y, Wojtys E, et al. Michigan Initiative for Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation (MiACLR): A Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys Ther.* 2020;100(12):2154–2164.
13. Quinlan JI, Franchi MV, Gharahdaghi N, Badiali F, Francis S, Hale A, et al. Muscle and tendon adaptations to moderate load eccentric vs. concentric resistance exercise in young and older males. *Geroscience.* 2021;43(4):1567–1584.
14. Moudy SC, Tillin NA, Sibley AR, Strike S. Mechanisms to Attenuate Load in the Intact Limb of Transtibial Amputees When Performing a Unilateral Drop Landing. *Journal of Applied Biomechanics.* 2020;36(1):4.
15. Gailey R, Gaunaud I, Raya M, Kirk-Sanchez N, Prieto-Sanchez LM, Roach K. Effectiveness of an Evidence-Based Amputee Rehabilitation Program: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Phys Ther.* 2020;100(5):773–787.
16. Kurtaran M, Çelik D. Effectiveness of telerehabilitation-based structured exercise program in individuals with unilateral transtibial amputation: a

randomized controlled study. *Disability and Rehabilitation*. 2024;46(23):5651.

17. Wasser JG, Herman DC, Horodyski M, Zaremski JL, Tripp B, Page P, et al. Exercise intervention for unilateral amputees with low back pain: study protocol for a randomised, controlled trial. *Trials*. 2017;18(1):630.
18. Mroczek D, Ćkała KM, Chmura P, Superlak E, Konefał M, Seweryniak T, et al. Effects of Plyometrics Training on Muscle Stiffness Changes in Male Volleyball Players. *J Strength Con Res*. 2019; 33(4):910-921.
19. Behrens M, Mau-Moeller A, Mueller K, Heise S, Gube M, Beuster N, et al. Plyometric training improves voluntary activation and strength during isometric, concentric and eccentric contractions. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2016;19(2):170.
20. Ruan M, Zhang Q, Zhang X, Hu J, Wu X. Differences in strength and landing biomechanics between female jumpers and swimmers. *Isokinetics and Exercise Science*. 2022;30(1).
21. Zubac D, Šimunič B. Skeletal Muscle Contraction Time and Tone Decrease After 8 Weeks of Plyometric Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31(6):1610
22. Mendiguchia J, Martinez-ruiz E, Morin JB, Samozino P, Edouard P, Alcaraz PE, et al. Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. *Scandinavian Med Sci Sports*. 2014;25(6).
23. Krishna SA, Alwar TK, Sibeko S, Ranjit S, Sivaraman A. Plyometric-based Training for Isokinetic Knee Strength and Jump Performance in Cricket Fast Bowlers. *Int J Sports Med*. 2019;40(11):704.
24. Sibley AR, Strike S, Moudy SC, Tillin NA. The effects of long-term muscle disuse on neuromuscular function in unilateral transtibial amputees. *Exp Physiol*. 2020;105(3):408–418.

25. Lizama-Pérez R, Chiroso-Rios I, Chiroso-Rios L, Olave E, Ferragut C, Vila H, et al. Efectos del Ejercicio Excéntrico en la Arquitectura Muscular en Adultos: Una Revisión Sistemática. *International Journal of Morphology*. 2022;40(2):425-432.
26. Vidmar MF, Baroni BM, Michelin AF, Mezzomo M, Lugokenski R, Pimentel GL, et al. Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther*. 2020;24(5):424–432.
27. Vidmar MF, Baroni BM, Michelin AF, Mezzomo M, Lugokenski R, Pimentel GL, et al. Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training on the quadriceps rehabilitation following partial meniscectomy: A randomized clinical trial. *Phys Ther Sport*. 2019;39:120–125.
28. Werner S. Anterior knee pain: an update of physical therapy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(10):2286.
29. Pearson J, Wadhi T, Barakat C, Aube D, Schoenfeld BJ, Andersen JC, et al. Does Varying Repetition Tempo in a Single-Joint Lower Body Exercise Augment Muscle Size and Strength in Resistance-Trained Men? *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021;36(8):2162.
30. Coratella G, Longo S, Cè E, Limonta E, Rampichini S, Bisconti AV, et al. Sex-Related Responses to Eccentric-Only Resistance Training in Knee-Extensors Muscle Strength and Architecture. *Res Q Exerc Sport*. 2018;89(3):347–353.
31. Fathi A, Hammami R, Moran J, Borji R, Sahli S, Rebai H. Effect of a 16-Week Combined Strength and Plyometric Training Program Followed by a Detraining Period on Athletic Performance in Pubertal Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019;33(8):2117.
32. Grecco MV, Brech GC, Camargo CP, Santos-Silva PR, D'andréa Greve JM. The eight-week concurrent training effect on functional capacity in person

living with unilateral transtibial amputation: A randomized controlled trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2023;33:164.

33. Harput G, Ulusoy B, Yildiz TI, Demirci S, Eraslan L, Turhan E, et al. Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;27(1):68.
34. Harput G, Toprak U, Colakoglu FF, Temel E, Saylisoy S, Baltaci G. Effects of Plyometric Training on Sonographic Characteristics of Quadriceps Muscle and Patellar Tendon, Quadriceps Strength, and Jump Height in Adolescent Female Volleyball Players. *International Journal of Athletic Therapy and Training*. 2023;28(2):89.
35. Nilstad A, Krosshaug T, Mok K, Bahr R, Andersen TE. Association Between Anatomical Characteristics, Knee Laxity, Muscle Strength, and Peak Knee Valgus During Vertical Drop-Jump Landings. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015;45(12):998–1005.
36. Souza VA, Barreto RV, Mantovani GB, Greco CC, Denadai BS, Nosaka K, et al. Effects of Loaded Plyometric Exercise on Post-Activation Performance Enhancement of Countermovement Jump in Sedentary Men. *Res Q Exerc Sport*. 2023;94(1):194–201.
37. Behrens M, Mau-Moeller A, Bruhn S. Effect of Plyometric Training on Neural and Mechanical Properties of the Knee Extensor Muscles. *Int J Sports Med*. 2013;35(02):101.
38. Coratella G, Beato M, Bertinato L, Milanese C, Venturelli M, Schena F. Including the Eccentric Phase in Resistance Training to Counteract the Effects of Detraining in Women: A Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res*. 2022;36(11):3023–3031.
39. Apostolopoulos NC, Lahart IM, Pyley MJ, Taunton J, Nevill AM, Koutedakis Y, et al. The effects of different passive static stretching intensities on recovery from unaccustomed eccentric exercise - a randomized controlled trial. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2018;43(8):806–815.

40. Jegu A, Pereira B, Andant N, Coudeyre E. Effect of eccentric isokinetic strengthening in the rehabilitation of patients with knee osteoarthritis: Isogo, a randomized trial. *Trials*. 2014;15:106.
41. Mallada NP, Beltrán MJM, Nuño MAS, Ribeiro ASF, Villa IdM, Molina CM, et al. Biomechanical Factors Predisposing to Knee Injuries in Junior Female Basketball Players. *Sports (Basel)*. 2024;12(2):60.
42. Lepley LK, Palmieri-Smith RM. Cross-education strength and activation after eccentric exercise. *J Athl Train*. 2014;49(5):582–589.

11. Anexos

11.1. Anexo I: Protocolo Behrens, M et al. (19)

Periodo de descanso: 3 minutos entre series y 10 segundos entre repeticiones.		
Semana	Ejercicio	Series y Repeticiones
1	<ul style="list-style-type: none">• CMJ verticales.• Tareas de salto y alcance.• Salto de longitud.• CMJ sobre obstáculos.	4 series x 10 repeticiones (cada ejercicio).
2 - 4		4 series x 12 repeticiones (cada ejercicio).
5 - 6		5 series x 15 repeticiones (cada ejercicio).

11.2. Anexo II: Protocolo Harput, G et al. (34)

Saltos	Series	Repeticiones	
		Semana 1	Semana 2
Desarrollo de la técnica			
Saltos de pared	3	20s	25s
Saltos de pliegue	3	20s	25s
Sentadillas con salto	3	10s	15s
Saltos de barra (S/S)	3	20s	25s
Saltos de barrera (F/B)	3	20s	25s
Saltos de 180°	3	20s	25s
Saltos anchos	3	5 rep	10 rep
Saltos en el sitio	3	20s	25s
Fundamentos		Semana 3	Semana 4
Saltos de pared	3	25s	30s
Saltos de pliegue	3	25s	30s
Salto, salto, salto vertical	3	5 rep	8 rep
Sentadillas con salto	3	15s	20s
Saltos de barra (S/S)	3	25s	30s
Saltos de barrera (F/B)	3	25s	30s
Saltos de tijera	3	25s	30s
Saltos a una pierna (stick)	3	5 rep	5 rep
Bounding for distance	3	1 carrera	2 carreras
Rendimiento		Semana 5	Semana 6
Saltos de pared	3	20s	20s
Arriba abajo 180 vertical	3	5 rep	10 rep
Sentadillas con salto	3	25s	25s
Saltos mattress (S/S)	3	30s	30s
Saltos mattress (F/B)	3	30s	30s
Salto, salto, salto palo	3	5 rep	5 rep
Jump into bounding	3	3 carreras	3 carreras

11.3. Anexo III: Protocolo Mendiguchia, J et al. (22)

Semana	Ejercicios Excéntricos		Ejercicios	Ejercicios de
	1ª sesión de entrenamiento de la semana	2ª sesión de entrenamiento de la semana	Pliométricos (1ª sesión de entrenamiento de la semana)	Aceleración (2ª sesión de entrenamiento de la semana)
1	Nórdico isquiotibiales (2 series x 5 repeticiones). Zancada hacia delante (2 x 6).	Peso muerto con ambas piernas (10kg) (2 x 5). Box drop excéntrico (2 x 4).	Broad jump (2 x 6). Hopscotch (10m) (2 x 3).	Ejercicio de aceleración en la pared (2 pasos) (3 x 5). Sprint libre (10m) (2 x 5).
2	Zancada hacia delante (2 x 8). Puente a una pierna (2 x 8). Hip thrust con ambas piernas (50% BW) (2 x 8).	Peso muerto a una pierna (2 x 6). Salida con puente (2 x 6).	Broad jump (5kg) (2 x 6). Salto hacia delante en caja con ambas piernas (60cm) (2 x 8). Bounding con alternación de pierna (20m) (3 x 3).	Ejercicio de aceleración en la pared (2 pasos) (3 x 6). Sprint libre (10m) (2 x 7). Sprint libre (20m) (1 x 4).
3	Peso muerto con ambas piernas (15kg) (2 x 8). Zancada hacia delante (10% BW) (2 x 6).	Nórdico isquiotibiales (2 x 8). Peso muerto a una pierna (2 x 6).	Salto de vallas con ambas piernas (50cm) (3 x 3). Hopscotch (15m) (1 x 4).	Ejercicio de aceleración en la pared (4 pasos) (2 x 6). Sprint libre (5m) (2 x 4).

	Hip thrust con ambas piernas (60% BW) (2 x 8).		Salto hacia delante en caja a una pierna (40cm) (2 x 5).	Sprint libre (10m) (1 x 2). Sprint libre (15m) (1 x 2).
4	Hip thrust con ambas piernas (60% BW) (3 x 4).	Box drop excéntrico (3 x 5).	Salto de vallas a una pierna (50cm) (2 x 3).	Ejercicio de aceleración en la pared (4 pasos) (2 x 6).
	Salida con puente (2 x 7).	Box drop zancada (2 x 6).	Broad jump (5kg) (2 x 8). Zancadas largas (25m) (2 x 6).	Remolque de trineo 10m con peso (15% del peso corporal) + sprint libre 10m (2 x 2). Sprint libre (15m) (1 x 2).
5	Zancada hacia delante (15% BW) (2 x 6).	Hip thrust con ambas piernas (70% BW) (3 x 5).	Salto de 5 hacia delante a una pierna (2 x 4).	Ejercicio de aceleración en la pared (4 pasos) (2 x 8).
	Nórdico isquiotibiales (3 x 4).	Peso muerto con ambas piernas (20kg) (3 x 6).	Triple broad jump (5kg) (2 x 3).	Remolque de trineo 15m con peso (15% del peso corporal) + sprint libre 10m (2 x 2).
	Hip thrust con ambas piernas (60% BW) (2 x 8).		Bounding con alternación de pierna (20m) (2 x 4).	Sprint libre (10m) (1 x 2).

6	<p>Hip thrust con ambas piernas (70% BW) (2 x 8).</p> <p>Zancada en caja (2 x 6).</p> <p>Salida con puente (2 x 6).</p>	<p>Peso muerto a una pierna (7kg) (2 x 8).</p> <p>Zancada hacia delante (15% BW) (2 x 6).</p>	<p>Zancadas largas (medio campo) (2 x 6).</p> <p>Salto lateral de ambas piernas de 40 cm a salto horizontal con ambas piernas (2 x 5).</p>	<p>Ejercicio de aceleración en la pared (4 pasos) (2 x 6).</p> <p>Remolque de trineo 15m con peso (15% del peso corporal) + sprint libre 10m (2 x 3).</p> <p>Sprint libre (5m) (2 x 4).</p>
7	<p>Hip thrust con ambas piernas (70% BW) (3 x 6).</p> <p>Nórdico isquiotibiales (2 x 6).</p>	<p>Peso muerto a una pierna (5kg) (3 x 5).</p> <p>Zancada hacia delante (15% BW) (2 x 6).</p>	<p>Alternar dos saltos de pierna izquierda + dos saltos pierna derecha + dos aterrizaje (2 x 6).</p> <p>Salto lateral a una pierna de 40 cm a salto horizontal a una pierna (2 x 6).</p> <p>Broad jump (5kg) (1 x 6).</p>	<p>Ejercicio de aceleración en la pared (2 pasos) (3 x 5).</p> <p>Remolque de trineo 10m con peso (15% del peso corporal) + sprint libre 10m (2 x 2).</p> <p>Sprint libre (10m) (1 x 4).</p>

11.4. Anexo IV: Protocolo Krishna, SA et al. (23) y protocolo de intervención

Calentamiento antes de las sesiones (15 min)		
1. Foam rolling de miembro inferior.		
2. Estiramientos estáticos y dinámicos de los miembros inferiores.		
Período de descanso entre series – 1 minuto.		
Componente	Ejercicio	Series y Repeticiones
Etapa 1 (Semana 1 – 3)		
Pliométrico	Sentadilla con salto.	3 series x 8 repeticiones.
	CM Salto de valla con ambas piernas.	3 series x 8 repeticiones.
	CM Salto de valla a una pierna.	3 series x 8 repeticiones.
Fuerza	Sentadilla.	3 series x 8 repeticiones.
	Zancada.	3 series x 8 repeticiones.
	Peso muerto con barra Trap.	3 series x 8 repeticiones.
	Hip Thrust a una pierna.	3 series x 8 repeticiones.
	Curl de isquiotibiales.	3 series x 8 repeticiones.
	Plancha.	3 series x 8 repeticiones.
Etapa 2 (Semana 4 – 6)		
Pliométrico	Salto de longitud.	3 series x 8 repeticiones.
	CM Salto de valla con ambas piernas.	3 series x 8 repeticiones.
	CM Salto de valla a una pierna.	3 series x 8 repeticiones.
Fuerza	Sentadilla frontal.	3 series x 10 repeticiones.
	Step-Up.	3 series x 10 repeticiones.
	Peso muerto con barra Trap.	3 series x 10 repeticiones.
	Peso muerto rumano a una pierna.	3 series x 10 repeticiones.
	Curl de isquiotibiales.	3 series x 10 repeticiones.
	Plancha lateral.	3 series x 10 repeticiones.
Etapa 3 (Semana 7 – 9)		
Pliométrico	Salto vertical en caja a una pierna (lateral).	3 series x 8 repeticiones.
	Salto vertical en caja a una pierna (medial).	3 series x 8 repeticiones.

	CM Lateral Bound.	3 series x 8 repeticiones.
	CM Salto de valla a una pierna.	3 series x 8 repeticiones.
Fuerza	Sentadilla.	3 series x 10 repeticiones.
	Step-Up.	3 series x 10 repeticiones.
	Kettle Bell Swing.	3 series x 10 repeticiones.
	Peso muerto rumano a una pierna.	3 series x 10 repeticiones.
	Curl de isquiotibiales.	3 series x 10 repeticiones.
	Cable Chop medio arrodillado.	3 series x 10 repeticiones.
Etapas 4 (Semana 10 –12)		
Pliométrico	CM Salto vertical en caja con ambas piernas.	3 series x 8 repeticiones.
	Bound continuo.	3 series x 8 repeticiones.
	CM Bound.	3 series x 8 repeticiones.
	CM Salto de valla a una pierna.	3 series x 8 repeticiones.
	Salto vertical rotacional a una pierna.	3 series x 8 repeticiones.
Fuerza	Sentadilla.	3 series x 10 repeticiones.
	Zancada lateral.	3 series x 10 repeticiones.
	Peso muerto con barra Trap.	3 series x 10 repeticiones.
	Peso muerto rumano a una pierna.	3 series x 10 repeticiones.
	Curl de isquiotibiales.	3 series x 10 repeticiones.
	Extensiones de espalda.	3 series x 10 repeticiones.

11.5. Anexo V: Protocolo Behrens, M et al. (37)

2 sesiones de entrenamiento cada semana.		
Periodo de descanso: 90 segundos entre series y 4 segundos entre repeticiones.		
Semana	Ejercicio	Series y Repeticiones
1 - 2	<ul style="list-style-type: none">• CMJs.• Sjs.• Saltos de caída desde 40cm.	3 series x 6 repeticiones (cada ejercicio).
3 - 8		3 series x 7 repeticiones (cada ejercicio).

11.6. Anexo VI: Hoja de Información al Paciente

En este documento se ven reflejadas las características principales del proyecto de investigación, para la comprensión del interesado. Se recomienda leer detenidamente y preguntar si hubiese alguna cuestión.

El estudio “*Comparación de un entrenamiento pliométrico y excéntrico en personas con prótesis transtibial*”, se llevará a cabo tras la aprobación del Comité Ético de la Investigación con Medicamentos y Productos Sanitarios.

En el caso de querer participar y ser apto tras una valoración en el “Hospital Universitario 12 de Octubre” por parte de un traumatólogo, deberá solicitar el *Consentimiento Informado*, el cual deberá firmar. Así mismo, se le hará entrega de una hoja con datos personales y un cuestionario a rellenar. Todos los datos aportados serán confidenciales y no serán publicados ni usados, salvo para: Recibir los resultados obtenidos de forma digital (correo electrónico) y física (dirección y código postal) por parte de la investigadora principal, y en caso de emergencia (contacto de emergencia). Se acatará en todo momento la Ley Orgánica de Protección de Datos y garantía de los derechos digitales 3/2018, mediante la aportación de un número de usuario a cada sujeto.

La finalidad de este proyecto es determinar la efectividad de un entrenamiento pliométrico frente a un entrenamiento de ejercicio excéntrico de cuádriceps en pacientes con prótesis transtibial. Por ello, se mediran las sucesivas variables:

- Fuerza Isocinética Concéntrica máxima: Se medirá con un dinamómetro (concretamente Biodex System 4 Pro) a 3 distintas velocidades angulares: 60°/seg, 120°/seg y 180°/seg; habiendo por lo tanto 3 variables de fuerza.
- Sexo: Se medirá mediante la aportación de un cuestionario sobre datos personales, a rellenar. Deberá marcar mediante una X, en la casilla que cree correspondiente (Hombre o Mujer) en función de su componente genético.

Los sujetos serán distribuidos de forma aleatorizada; habiendo por lo tanto 2 grupos (A y B) de estudio, cada uno de ellos con un tratamiento individual. El grupo A realizará en junio un protocolo de ejercicios pliométricos durante 12 semanas (3 sesiones por semana); mientras que el grupo B hará un protocolo de ejercicios excéntricos durante las mismas semanas (3 sesiones por semana).

Las 2 mediciones, pre-entrenamiento y post-entrenamiento, se realizarán en la sala de biomecánica del “Hospital Universitario 12 de Octubre”, ubicado en la Avenida de Córdoba, 28041, Madrid. La medición pre-entrenamiento, se hará 48 horas antes del primer entrenamiento. Mientras que la medición post-entrenamiento, se dará 72 horas después del último entrenamiento. Llegado esos días, se le instruirá al sujeto los pasos a seguir para realizar correctamente las mediciones.

La intervención se desarrollará en el Centro de Entrenamiento Guifit Club, situado en la Calle Enrique Larreta 3, 28036, Madrid. Una vez allí, se le darán directrices del calentamiento, descansos y ejercicios. El grupo A asistirá por la mañana (10:00) y el grupo B por la tarde (17:00).

Tanto para las mediciones como para las sesiones de entrenamiento, se recomienda el uso de ropa y zapatillas deportivas para la mayor comodidad. Así mismo, es preferible llevar pantalón corto de deporte.

Posibles riesgos de la medición

En el caso de no realizar un correcto ajuste y estabilidad de la prótesis, esta podrá desprenderse debido a la fuerza solicitada.

Así mismo, estas mediciones podrán causar cansancio o fatiga.

Posibles riesgos de la intervención

Debido al esfuerzo físico requerido, habrá probabilidad de tener: Sobrecarga, cansancio o fatiga, molestia lumbar o leve dolor en el muñón; y en casos extremos, lesiones por accidente durante la sesión de entrenamiento. En el caso de que alguna de estas situaciones suceda, la sesión cesará instantáneamente.

Si en algún momento no desea comenzar o continuar el estudio, podrá solicitar una hoja de renuncia. Esta hoja deberá solicitársela a la investigadora principal del estudio.

Si tras el estudio no quiere la publicación de sus resultados, deberá ser consciente de que no los recibirá y por lo tanto serán eliminados.

Mediante la firma del presente documento declara el conocimiento suficiente y necesario en relación al diseño del estudio, su objetivo principal y los posibles riesgos asociados tanto durante las mediciones como durante la intervención.

Firma:

Firma investigadora:

En Hospital Universitario 12 de Octubre a _____ de _____ del 20__

11.7. Anexo VII: Consentimiento Informado

D/D.^a _____ con DNI _____, alego haber obtenido la información imprescindible acerca del estudio “*Comparación de un entrenamiento pliométrico y excéntrico en personas con prótesis transtibial*”.

Entiendo correctamente todos los aspectos reflejados en la *Hoja de Información al Paciente*; habiendo tenido la oportunidad de presentar y aclarar todas las dudas surgidas. Por ello, acepto ser medido por ambos fisioterapeutas, y tratado por la investigadora principal mediante la intervención de la que se me informó.

Alego haber rellenado de forma legal, verídica y consciente toda la documentación facilitada. Comprendiendo que los datos proporcionados serán confidenciales y no serán publicados ni usados, salvo para: Recibir los resultados obtenidos de forma digital (correo electrónico) y física (dirección y código postal) por parte de la investigadora principal, y en caso de emergencia (contacto de emergencia).

He sido informado y afirmo el conocimiento de la posibilidad de p del estudio tanto al comienzo como durante el trascurso del mismo, así como de la publicación de los resultados; siendo consciente de que no los recibirá y serán eliminados.

Por ende, apruebo de forma voluntaria y consciente la calaboración en el actual estudio y la publicación anónima de los resultados de mis mediciones por parte del equipo investigador; sin el recibimiento de una recompensa económica.

Así mismo, alego el recibimiento de una copia de la *Hoja de Información al Paciente* y del actual *Consentimiento Informado*; y de la *Hoja de renuncia* si fuese solicitado.

Firma:

Firma investigadora:

En Hospital Universitario 12 de Octubre a _____ de _____ del 20__

11.8. Anexo VIII: Hoja de renuncia

D/D.^a _____ con DNI _____, decido voluntaria y conscientemente revocar el *Consentimiento Informado* signado el día ____ de _____ del 20__ para la colaboración en el estudio "*Comparación de un entrenamiento pliométrico y excéntrico en personas con prótesis transtibial*". Para que figure y haga efecto, firmo el presente documento.

Firma:

Firma investigadora:

A _____ de _____ del 20__

11.9. Anexo IX: Cuestionario y hoja de datos personales

Rellene los siguientes datos necesarios para el proyecto de investigación “Comparación de un entrenamiento pliométrico y excéntrico en personas con prótesis transtibial”. Estos datos serán guardados confidencialmente por parte de la investigadora principal del estudio. Se le identificará con un usuario asignado de forma aleatoria. Tras finalizar el estudio se le hará entrega de los resultados obtenidos de forma digital (correo electrónico) y física (carta). Se le pedirá un contacto de emergencia por si fuese necesario.

Por favor, rellene los datos en letra mayúscula:

Nombre: _____ **Apellidos:** _____

Sexo (rellene con una X): Hombre Mujer

Edad: _____

Idioma: _____

Correo electrónico: _____

Dirección: _____ **Código Postal:** _____

Localidad: _____

Medicación/es: _____

Tratamiento oncológico agudo (rellene con una X): Sí No

Prótesis osteointegrada, exoesquelética o endoesquelética (rellene con

una X): Sí No

Contacto de emergencia (teléfono y nombre): _____

Firma:

Firma investigadora:

En Hospital Universitario 12 de Octubre a _____ de _____ del 20__