

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

Facultad de Ciencias de la Salud

Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Curso 2024-2025

TITULO:

Pliometría y tendón: estudios de los efectos biomecánicos y funcionales con vistas a una aplicación rehabilitadora y clínica.



**Universidad
Europea**

Autores

BRARD Pierrick

CHABOT Etienne

Tutor

Dr. José Pérez Maletzki

Valencia, 2025

Pliometría y tendón: estudios de los efectos biomecánicos y funcionales con vistas a una aplicación rehabilitadora y clínica.

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR:

Brard Pierrick

TUTOR DEL TRABAJO:

Dr. José Pérez Maletzki

FACULTAD DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA



VALENCIA

CURSO 2024-2025

Índice de contenidos

RESUMEN:	10
PALABRAS CLAVES:	10
ABSTRACT:	11
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 MARCO TEÓRICO Y EPIDEMIOLOGÍA DEL TENDÓN.....	12
1.2 ESTRUCTURA Y FUNCIÓN MECÁNICA DE LOS TENDONES	12
1.2.1 <i>Fisiopatología del tendón</i>	12
1.2.2 <i>Proceso de cicatrización de los tendones</i>	13
1.3 DEFINICIÓN DE LA TENDINOPATÍA	13
1.3.1 <i>Factores de riesgo</i>	13
1.3.2 <i>Etiología/Prevalencia</i>	14
1.3.3 <i>Sintomatología</i>	14
1.3.4 <i>Tratamiento conocido</i>	14
1.4 LA PLIOMETRÍA.....	15
1.4.1 <i>Historia de la pliometría</i>	15
1.4.2 <i>Fase de la pliometría</i>	15
1.4.3 <i>Biomecánica pliométrica</i>	15
1.4.4 <i>Papel de los ejercicios pliométricos en la rehabilitación</i>	16
1.4.5 <i>Contraindicaciones/Prevenciones</i>	16
CAPÍTULO 2 HIPÓTESIS Y OBJETIVO	17
2.1 HIPOTESIS	17
2.2 OBJETIVOS	17
CAPÍTULO 3 MATERIAL Y MÉTODOS	18
3.1 MÉTODO DE BÚSQUEDA.....	18
3.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN/EXCLUSIÓN.....	18
3.3 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE ESTUDIOS.....	19
3.4 EXTRACCIÓN DE DATOS.....	20
3.5 VARIABLES.....	20
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	22
4.1 EFECTOS DE LA PLIOMETRÍA EN LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DEL TENDÓN.....	22
4.1.1 <i>Adaptaciones mecánicas del tendón a la pliometría</i>	23
4.1.2 <i>Adaptaciones funcionales del tendón a la pliometría</i>	24
4.2 INTEGRACIÓN DE LA PLIOMETRÍA EN LOS PROGRAMAS DE REHABILITACIÓN DE LAS TENDINOPATÍAS DE LOS MIEMBROS INFERIORES.....	27

CAPÍTULO 5	DISCUSIÓN.....	31
5.1	ADAPTACIONES ESTRUCTURALES.....	31
5.2	ADAPTACIONES FUNCIONALES	33
5.3	APLICACIÓN CLÍNICA Y REHABILITACIÓN FUNCIONAL.....	36
5.4	DISCUSIÓN DE LOS HALLAZGOS.....	38
CAPÍTULO 6	CONCLUSIONES.....	41
7	BIBLIOGRAFÍA.....	42
8	ANEXOS.....	45

Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de flujo representado la búsqueda de artículos.....	22
---	----

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de estudios : adaptaciones mecánicas y funcionales del tendón a la pliometría.....	25
Tabla 2: Resumen de estudios sobre pliometría para la rehabilitación de tendinopatía de las extremidades inferiores.....	29
Tabla 3: Síntesis de los resultados de estudios sobre pliometría y tendinopatías de los miembros inferiores.	40

Índice de anexos

Anexo 1: Modelo continuo de la tendinopatía (Cook y Purdam).....	45
Anexo 2: Fases de la pliometría.....	47
Anexo 3: Pregunta PICO.....	48
Anexo 4: Tabla Google Sheets que resume los artículos analizados.....	49
Anexo 5: Modelo de cuestionario VISA-P.....	50
Anexo 6: Variables clínicas medidas en los estudios seleccionados.....	51

Listado de símbolos y siglas

- **CEA** : Ciclo Estiramiento-Acortamiento
- **CCE** : Ciclo Concéntrico-Excéntrico
- **CMJ** : Countermovement Jump
- **CMT** : Células Madre del Tendón
- **COD** : Cambio de Dirección
- **Dínamo** : Dinamómetro
- **DJ** : Drop Jump
- **DME** : Tamaño del Efecto Estandarizado Medio
- **ECA** : Ensayo clínico Controlado Aleatorizado
- **EVA/** : Escala Visual Analógica
- **FMRC** : Fibras Musculares de Contracción Rápida
- **FMCL** : Fibras Musculares de Contracción Lenta
- **Gp Iso** : Grupo Isométrico
- **Gp Plío** : Grupo Pliométrico
- **IC** : Intervalo de Confianza
- **MEC** : Matriz Extracelular
- **Modo-B** : ecografía bidimensional
- **PRISMA** : Preferred Reporting Items For Systematic Reviews and Meta-Analyses
- **RSI** : Reactive Strength Index
- **SJ** : Squat Jump
- **SMD** : Standardized Mean Difference
- **UMT** : Unidad músculo-tendinosa
- **VISA** : Victorian Institute of Sport Assessment
- **VISA-P** : Victorian Institute of Sport Assessment - Patellar

Resumen y palabras clave

Introducción: Este trabajo presenta una revisión bibliográfica centrada en las tendinopatías del miembro inferior. Los aspectos clave de este trabajo son: fisiopatología, síntomas, factores de riesgo y tratamiento conservador, así como ejercicios pliométricos en la rehabilitación. Los efectos biomecánicos y funcionales del ejercicio pliométrico sobre el complejo músculo-tendinoso pretenden mejorar el rendimiento físico y reducir el riesgo de recaída en los pacientes.

Objetivo: El objetivo de este estudio es analizar los efectos del entrenamiento pliométrico sobre la estructura y función tendinosa en pacientes con tendinopatía, incorporándolo en la fase avanzada del tratamiento y para la reanudación de la actividad física.

Materiales y métodos: El trabajo comenzó con la formulación de una pregunta de investigación estructurada según el modelo PICO. Posteriormente, se llevó a cabo una búsqueda sistemática en las bases de datos PubMed, PEDro y Google Scholar, utilizando palabras clave en distintos idiomas. Se seleccionaron nueve artículos en función de criterios de inclusión precisos, que incluían a participantes que realizaron programas de ejercicios pliométricos en un contexto de tendinopatía o rehabilitación.

Resultados: Los nueve estudios seleccionados mostraron que el efecto de los ejercicios pliométricos combinados con diferentes variables producía una adaptación positiva en términos de estructura y función del tendón. También a nivel funcional y estructural de los tendones. Se observó una notable mejora de la rigidez, el rendimiento físico y la reducción del dolor. Cuando los resultados están bien diseñados, son suficientemente prolongados y progresivos, los beneficios parecen ser más significativos. Sin embargo, los resultados deben interpretarse con cautela, teniendo en cuenta el nivel de evidencia de los 9 estudios.

Conclusión: Los resultados de este estudio demostraron que la pliometría adaptada benefició la estructura tendinosa y mejoró funcionalidades como la coordinación y la capacidad de salto, facilitando la reincorporación a la actividad física. Sin embargo, la falta de homogeneidad en los estudios limita su aplicación sistemática en rehabilitación. A pesar de ser prometedora, su integración en un protocolo terapéutico requiere más investigación científica controlada.

Palabras claves: Entrenamiento pliométrico / rigidez tendinosa / tendinopatía / tendón de Aquiles / tendón rotuliano / rehabilitación / rendimiento en salto / vuelta al deporte.

Abstract and Keywords

Introduction: This work presents a bibliographic review focusing on lower limb tendinopathies. The key aspects of this work are: pathophysiology, symptoms, risk factors and conservative treatment, as well as plyometric exercises in rehabilitation. The biomechanical and functional effects of plyometric exercise on the muscle-tendon complex are intended to improve physical performance and reduce the risk of relapse in patients.

Objective: The aim of this study is to analyse the effects of plyometric training on tendon structure and function in patients with tendinopathy, incorporating it into the advanced phase of treatment and for the resumption of physical activity.

Materials and Methods: The study began with the formulation of a research question based on the PICO model. A systematic search was then conducted in the PubMed, PEDro, and Google Scholar databases using keywords in various languages. Ten articles were selected based on precise inclusion criteria, including participants who had undergone plyometric exercise programs in the context of tendinopathy or rehabilitation.

Results: The nine studies selected showed that the effect of plyometric exercises combined with different variables resulted in a positive adaptation of tendon structure and function. Also at tendon functional and structural level. Improvements in stiffness, physical performance and pain reduction are notable. When the results are well designed, sufficiently long and progressive, the benefits appear to be more significant. However, the results must be interpreted with caution, taking into account the level of evidence of the 9 studies.

Conclusion: The results of this study showed that adapted plyometrics benefited tendon structure and improved functionalities such as coordination and jumping ability, which favoured a return to physical activity. However, the lack of homogeneity in the studies limits its systematic application in rehabilitation. Despite the fact that it is promising, its integration into a therapeutic protocol requires further, more controlled scientific research.

Keywords: Plyometric training / tendon stiffness / tendinopathy / Achilles tendon / patellar tendon / rehabilitation / jump performance / return to sport

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES Y EPIDEMIOLOGÍA DEL TENDÓN

Los tendones son tejidos conjuntivos fibrosos y resistentes que conectan el músculo con el hueso, permitiendo que la fuerza muscular se transmita para iniciar el movimiento. Los tendones también participan en la estabilización de las articulaciones y facilitan los movimientos corporales. Esta estructura confiere a los tendones una resistencia mecánica y una flexibilidad excepcionales para todos los esfuerzos funcionales. El desarrollo y el mantenimiento de los tendones son procesos muy regulados, que implican una interacción dinámica entre la matriz extracelular (MEC) y las células tendinosas. Los tendones están controlados por varias señales y transmisiones, en las que intervienen factores de crecimiento y genes moderadores que influyen en la diferenciación celular y la organización de las fibras de colágeno.(1)

Las fuerzas mecánicas son un elemento esencial para los tendones, ya que permiten a estas estructuras modificarse en función de las restricciones de fuerza, al tiempo que refuerzan su resistencia a la repetición (2).

1.2 ESTRUCTURA Y FUNCIÓN MECÁNICA DE LOS TENDONES

Los tendones tienen una estructura jerárquica que les confiere propiedades biomecánicas específicas, como una elevada resistencia mecánica y una gran viscoelasticidad, que les permiten soportar cargas mecánicas (fuerzas musculares) y transmitir las de forma eficaz (2,3).

Los tendones también son mecano reactivos, lo que significa que modifican su estructura y función bajo la influencia del entorno mecánico que los rodea (como las fuerzas externas).

En primer lugar, los fibroblastos del tendón se encuentran en primera línea, garantizando la homeostasis y la reparación del tendón en respuesta al estrés mecánico. Las células madre del tendón (CMT), un descubrimiento reciente, también son esenciales para el mantenimiento y la reparación, gracias a su capacidad de autorrenovación y su potencial de diferenciación de los tenocitos. Las CMT también podrían estar en el origen del desarrollo de lesiones tendinosas crónicas, más concretamente de tendinopatías, al experimentar una diferenciación exagerada (2).

1.2.1 Fisiopatología del tendón

Los tendones pueden considerarse estructuras dinámicas porque pueden adaptarse a las tensiones mecánicas, pero su fisiopatología se refleja en alteraciones tanto estructurales como biológicas en respuesta a sobrecargas repetidas o a condiciones patológicas. Para explicar las tendinopatías inducidas por cargas, existe un modelo patológico continuo con varias etapas (4, 5) (**Anexo 1**). La primera etapa 1 es una fase de reacción con inflamación. La segunda etapa es de desestructuración del tendón. El estadio 3 es una fase degenerativa avanzada. Este modelo continuo, propuesto por Cook y Purdam, destaca el hecho de que la tendinopatía no es un estado fijo, sino un

proceso evolutivo. Destaca la necesidad de adaptar el tratamiento en cada fase, dando prioridad a los enfoques mecánicamente modulados específicos de la fase clínica identificada (4).

1.2.2 Proceso de cicatrización del tendón

El proceso de cicatrización del tendón es un fenómeno complejo en el que intervienen varias fases biológicas y fisiológicas. La cicatrización del tendón consta de tres fases principales: en primer lugar, la fase inflamatoria, a continuación la fase proliferativa y, por último, la fase de maduración. La fase inflamatoria, que comienza inmediatamente después de la lesión, activa células inmunitarias como los macrófagos, que conducen a la fagocitosis de restos y a la producción de mediadores. Esta fase es crucial para iniciar la reparación. Sin embargo, esta fase inflamatoria debe regularse para evitar daños a largo plazo. En la fase proliferativa, los fibroblastos y las células tendinosas se movilizan y migran al lugar de la lesión para producir colágeno y otras matrices extracelulares, constituyendo el tejido de reparación (5).

La fase de maduración es cuando las fibras de colágeno finalmente se alinean y reorganizan para reforzar la estructura del tendón y su función mecánica (6). Sin embargo, este proceso de cicatrización puede verse afectado por diversos factores, como la edad, la nutrición y la intensidad de la lesión, de modo que corresponde a una regeneración colonizadora del tejido tendinoso (5, 6).

1.3 DEFINICIÓN DE LA TENDINOPATÍA

Se denomina tendinopatía a un conjunto de patologías tendinosas, generalmente consecuencia de un choque mecánico o de un traumatismo repetido que provoca la degradación de las fibras compresivas. Los síntomas son dolor crónico, rigidez y pérdida de función en el tendón afectado. La patogenia de la tendinopatía es compleja, ya que en ella intervienen tanto procesos inflamatorios como degenerativos, y en ocasiones se alteran las células y la matriz extracelular. El tratamiento terapéutico combina el tratamiento del dolor, la reeducación funcional y la intervención quirúrgica en casos graves o resistentes (7).

1.3.1 Factores de riesgo

Existen muchas razones por las que una persona puede correr el riesgo de desarrollar una tendinopatía del miembro inferior, todas ellas complejas y basadas en una interacción entre factores mecánicos, biomecánicos y ambientales (8). En los deportistas, como los que practican deportes de saltos repetidos, se reconocen como factores los desequilibrios posturales, la falta de amortiguación, la pronación excesiva.

Estos factores afectan a la distribución de las cargas en los miembros inferiores, modificando la tensión en los tendones afectados (9).

1.3.2 Etiología / Prevalencia

La etiología de las tendinopatías del tendón de Aquiles, del cuádriceps y de la rótula es multifactorial e implica factores biomecánicos, fisiológicos individuales y ambientales relacionados con la práctica deportiva. Los cambios cinemáticos durante la carrera o el salto, como una fase de apoyo mal ejecutada, son especialmente problemáticos para los corredores de fondo y los atletas de deportes como el baloncesto, el voleibol y el atletismo (9). En términos de prevalencia, la tendinopatía del tendón de Aquiles es una de las más extendidas, y representa entre el 6% y el 18% de la población físicamente activa, y hasta el 52% de los deportistas de élite (10). La tendinopatía rotuliana, o «rodilla de saltador», se calcula en torno al 14% en los deportes de salto (11). La tendinopatía del cuádriceps es menos frecuente, pero se sigue dando en el 20% de los deportistas de élite que practican deportes explosivos (12).

1.3.3 Sintomatología

Aunque cada tendinopatía tiene rasgos específicos, comparten una sintomatología que empeora con la actividad física y afecta al rendimiento deportivo. En la tendinopatía aquilea, el dolor suele localizarse en la inserción calcánea o medial, apareciendo al correr o subir escaleras (13). En la rotuliana, se sitúa bajo la rótula y se agrava al saltar o cambiar de dirección (11).

En la del cuádriceps, el dolor aparece en la parte superior de la rótula, con rigidez y sensibilidad en el muslo anterior, sobre todo al subir pendientes o hacer sentadillas, pudiendo acompañarse de edema. La sobrecarga, el sobreentrenamiento, una recuperación inadecuada, así como la edad y el sexo, son factores de riesgo reconocidos (11,12).

1.3.4 Tratamiento conocido

El tratamiento de la tendinopatía del tendón de Aquiles ha mejorado en las últimas décadas, disponiéndose no quirúrgicas (es decir, conservadoras) constituyen la primera línea de tratamiento, con una tasa de eficacia muy superior en muchos casos (13,14). Entre estas modalidades no quirúrgicas, los ejercicios terapéuticos, en particular los excéntricos, son los más estudiados y los que se practican con mayor frecuencia (15). La idea que subyace a estos ejercicios es fomentar la remodelación de la estructura del tendón mediante el aumento gradual de las cargas, con el objetivo de optimizar su tolerancia al estrés mecánico (6).

Por último, la rehabilitación debe ser individualizada, teniendo en cuenta el estadio de la tendinopatía (*modelo continuum*) (4) e incorporando los principios de la carga progresiva del peso, así como ejercicios diseñados para restaurar la función global, especialmente en el caso de los deportistas (15). Tener en cuenta la dimensión biopsicosocial del paciente, a través de la educación terapéutica, es fundamental, pero también contribuye a la adherencia al tratamiento, así como a la prevención de caídas (16).

1.4 LA PLIOMETRÍA

Los programas de rehabilitación deportiva han evolucionado gracias a los avances en ciencia de la rehabilitación, especialmente en fases avanzadas, mejorando la eficacia y el desarrollo de la fuerza sin comprometer la seguridad (17). Entre los ejercicios, la pliometría destaca por activar el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA), favoreciendo la recuperación de energía elástica y optimizando la potencia muscular, siendo clave tanto en el rendimiento como en la rehabilitación neuromuscular (15,17).

1.4.1 Historia de la pliometría

La pliometría se originó en los años 50 gracias a la investigación soviética, que fue la primera en estudiar los efectos de los movimientos rápidos sobre los músculos (Y. Verkhoshansky es el más famoso de ellos) y estuvo en el origen de la teoría del CEA (6). Los trabajos de los soviéticos demostraron que los músculos mejor activados en términos de velocidad y potencia eran más eficaces en términos de potencia muscular explosiva, lo que permitía mejorar el rendimiento de los atletas en actividades como el salto, el baloncesto y el voleibol (17).

Hoy en día, la pliometría se utiliza no sólo en el deporte profesional, sino también en programas de rehabilitación y acondicionamiento físico (17,18).

1.4.2 Fases de la pliometría

Los ejercicios pliométricos se utilizan durante la rehabilitación y en el ámbito del rendimiento deportivo, con el objetivo de aprovechar el ciclo concéntrico-excéntrico (CCE), que consiste en una fase de estiramiento muscular (excéntrica) seguida rápidamente por una fase de recuperación muscular (concéntrica). Este proceso es un punto clave para optimizar tanto el rendimiento como la rehabilitación. El ejercicio pliométrico suele describirse en tres fases. La fase excéntrica (unidad músculo-tendón (UMT)), la fase de amortiguación y la fase concéntrica. (15,17) (**Anexo 2**).

1.4.3 Biomecánica pliométrica

En la realización de un ejercicio pliométrico intervienen tanto procesos voluntarios como movimientos involuntarios, como los reflejos.

En primer lugar, los movimientos voluntarios están sometidos al control consciente; es decir, la eficacia del ciclo de alargamiento y acortamiento depende de las diferentes fuerzas internas del músculo. Estos movimientos voluntarios reflejan la capacidad de realizar un ejercicio pliométrico con rapidez, potencia y continuidad.

Fuerza máxima: es la mayor fuerza que el sistema neuromuscular puede generar durante una contracción voluntaria.

Velocidad: es la capacidad de generar la máxima fuerza posible en el menor tiempo posible.

Fuerza reactiva: se refiere a la elasticidad de los músculos que permite la transición del estiramiento a la contracción. En el entrenamiento pliométrico, junto a las acciones voluntarias, interviene el reflejo miotático o reflejo de estiramiento, que es un reflejo involuntario que se activa y mejora el rendimiento (15,17).

1.4.4 Papel de los ejercicios pliométricos en la rehabilitación

Los ejercicios pliométricos se utilizan ampliamente en la rehabilitación moderna, especialmente en las fases finales del tratamiento, cuando el objetivo es recuperar una funcionalidad óptima. La pliometría se basa en varios ejes de desarrollo, entre ellos:

Desarrollo de la potencia: gracias al principio de almacenamiento y liberación de energía elástica durante el ciclo de estiramiento-acortamiento muscular. Los ejercicios pliométricos afinan las capacidades contráctiles musculares, permitiendo una reacción más rápida y eficaz (15).

Reclutamiento de fibras musculares de contracción rápida (FMCR), en particular las fibras tipo II, gracias a la velocidad de ejecución. Este reclutamiento es esencial para restaurar la capacidad de realizar gestos potentes y rápidos.

Mejora de la coordinación neuromuscular: al facilitar la comunicación entre el músculo y su inervación, favoreciendo movimientos complejos y reduciendo el riesgo de nuevas lesiones gracias a una mejor transmisión entre el sistema nervioso y el músculo (17).

Prevención de la atrofia muscular: mediante una estimulación adaptada de las fibras musculares, ayudando a recuperar el volumen y la fuerza del músculo. **Prevención de lesiones recurrentes:** al reforzar los tejidos musculares y mejorar la estabilidad articular, especialmente cuando los ejercicios contribuyen simultáneamente a la fuerza y la flexibilidad (15, 17).

1.4.5 Contraindicaciones / Precauciones

El dolor, la hinchazón, los esguinces agudos o subagudos, la inestabilidad articular y las lesiones de tejidos blandos tras infecciones postoperatorias son contraindicaciones potenciales para los ejercicios pliométricos. No obstante, a menudo el mayor obstáculo es la falta de condición física general o la ausencia de una progresión estructurada sobre la que basar una rehabilitación adecuada. Para alcanzar un nivel adecuado es preferible introducir los ejercicios pliométricos de manera gradual, comenzando con movimientos de bajo impacto e incrementando progresivamente (15, 17).

CAPÍTULO 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVO

En fisioterapia, la tendinopatía de los miembros inferiores es una de las patologías músculo tendinosas más frecuentes. En la mayoría de los casos, la tendinopatía del tendón rotuliano o del tendón de Aquiles conlleva limitaciones funcionales en la vida diaria del paciente, acompañadas de dolor crónico, por lo que el tratamiento de la tendinopatía representa un reto para la reanudación de las actividades cotidianas y deportivas. Hoy en día, a pesar de la existencia de una amplia bibliografía científica sobre el tratamiento de la tendinopatía, la mejor manera de tratarla sigue siendo objeto de debate entre los profesionales de la salud. Durante mucho tiempo, la pliometría se utilizó en atletas sanos como herramienta de rendimiento y competición, pero en los últimos años la pliometría ha encontrado su lugar en el campo de la rehabilitación, aunque todavía no está especialmente integrada en los cursos de fisioterapia. Varios estudios recientes demuestran sus efectos positivos tanto en el sistema neuromuscular como en la estructura del tendón.

A pesar de los avances en el conocimiento de la pliometría, su integración puede parecer demasiado arriesgada por haberse introducido demasiado pronto, o arriesgada por falta de datos experimentales. La falta de conocimientos sobre el entrenamiento pliométrico justifica un análisis más profundo de la literatura científica, para poder justificar los posibles beneficios de su uso durante una sesión con un fisioterapeuta. El objetivo de esta revisión de la literatura es proporcionar una fuente de reflexión que permita hacer evolucionar el enfoque terapéutico.

2.1 OBJETIVO

Se pretende evaluar el impacto del entrenamiento pliométrico sobre la estructura y la función del tendón, con el fin de valorar su integración como herramienta terapéutica en programas de rehabilitación para pacientes con tendinopatías de los miembros inferiores y sujetos sanos, y para ello se establecen los siguientes objetivos:

1. Determinar si el entrenamiento pliométrico genera adaptaciones biomecánicas del tendón que puedan apoyar un proceso terapéutico.
2. Evaluar si la pliometría permite una mejora funcional compatible con un retorno a la actividad física.
3. Evaluar la utilidad clínica de la pliometría, especialmente en las fases avanzadas de rehabilitación.

2.2 HIPOTESIS

En un protocolo de rehabilitación de una tendinopatía del miembro inferior, la integración de un programa de ejercicios pliométricos permitirá realizar adaptaciones beneficiosas en la estructura del tendón desde un punto de vista estructural y funcional. Estas adaptaciones mejorarán la capacidad física y reducirán el riesgo de recaída una vez reanudada la actividad física.

CAPÍTULO 3. MÉTODOS

El estudio es una revisión narrativa estructurada con un método de investigación sistemático. Este trabajo adoptó un diseño de revisión bibliográfica para permitir una flexibilidad de análisis adaptada a la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos. La diversidad de protocolos de intervención, variables evaluadas y herramientas de medición dificulta la aplicación de una revisión sistemática estricta o un metaanálisis. La metodología de la revisión se registró de forma prospectiva para garantizar el rigor metodológico y limitar el sesgo en la extracción y comprensión de los datos.

3.1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Tratándose de un trabajo de carácter académico, se siguió el procedimiento científico en su exposición, la metodología ha sido inspirada en las recomendaciones del protocolo PRISMA, permitiendo representar de forma transparente el proceso de selección y análisis de los artículos. (19) Cómo se trata de una revisión de la literatura, no fue necesario el consentimiento informado de los participantes. Los autores no pertenecen a ninguna organización ni sociedad con intereses económicos o de otro tipo en relación con los temas tratados en el presente estudio.

3.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN / EXCLUSIÓN

A continuación se resumen las características de los estudios incluidos:

Los criterios de inclusión: La inclusión de sujetos sanos pretende observar efectos potencialmente transferibles a la rehabilitación.

- Estudios con participantes sanos o con pacientes que han seguido una rehabilitación tras una tendinopatía del miembro inferior.
- Estudios con resultados cuantitativos (puntuación VISA, medición del salto, rigidez del tendón) o cualitativos que midan el impacto funcional o estructural.
- Estudios publicados en revistas indexadas revisadas por pares en el ámbito de la fisiología, la rehabilitación y la medicina deportiva.
- Estudios que incluyeron intervención pliométrica en pacientes sanos o como parte del protocolo de rehabilitación.
- Estudios que incluyan datos previos y posteriores a la intervención, incluso en sujetos sanos.
- Tipos de estudio : Ensayos clínicos, estudios experimentales, revisiones sistemáticas o meta-análisis.
- Los artículos deben estar en inglés, español o francés debido a la comprensión lingüística de los investigadores

- No se establecerán restricciones de edad para los participantes de los estudios.
- No se aplicarán limitaciones geográficas en la selección de los estudios incluidos.

Los criterios de exclusión :

- Estudios publicados antes del año 2005.
- Investigaciones realizadas en animales.
- Estudio que incluye únicamente ejercicios excéntricos, isométricos o concéntricos sin integración de un programa pliométrico.
- Artículos no accesibles en texto completo.
- Artículos puramente teóricos sin intervención experimental.
- Estudios que evalúan exclusivamente el rendimiento en el deporte de alto nivel, sin realizar mediciones clínicas o biomecánicas.
- Artículos que no incluyan datos relevantes sobre al menos uno de estos criterios: rigidez tendinosa, funcionalidad, dolor, recaída o rendimiento.

3.3. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE ESTUDIOS

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos electrónicas en francés, español e inglés. La búsqueda se realizó en las bases de datos Pubmed, Google Scholar y PEDro. Se utilizaron términos clave ajustadas a cada base de datos como: “plyometric training” , “ tendon stiffness”, “tendinopathy” , “Achille tendon”, “ patellar tendon” , “rehabilitation” , “jump performance” , “ return to sport” , “functional outcomes”. Dos estudios no están indexados en las bases de datos PEDro y PUBmed, pero se pueden encontrar a través de Google Scholar, de acuerdo con la estrategia de búsqueda anunciada.

Para esta revisión bibliográfica, el período de búsqueda que se ha llevado a cabo abarca desde octubre de 2024 hasta febrero de 2025. Sólo los estudios realizados en seres humanos sanos o con patologías tendinosas del miembro inferior fueron seleccionados, los trabajos publicados en francés, inglés y español representaron la primera fase de investigación. Los tipos de estudios incluidos fueron ensayos clínicos aleatorizados, estudios experimentales controlados o no, revisiones sistemáticas y metaanálisis.

Para organizar la búsqueda documental y garantizar la pertinencia de los estudios incluidos, hemos seguido los principios del modelo PICO, para poder facilitar la identificación de los elementos de nuestra pregunta de investigación (20) (**Anexo 3**). El seguimiento de los principios de la estrategia “PICO” ha permitido identificar cuatro elementos clave, Población, Intervención, Comparación, Resultado.

Finalmente, las diferentes categorías seleccionadas han sido enlazadas por el booleano AND. Todos los términos de la misma categoría han sido enlazados usando el booleano OR. Si la base de datos lo permitía, se utilizó el símbolo * para añadir todas las derivaciones de cada término.

3.4. EXTRACCIÓN DE DATOS

Los resultados que hemos obtenido en nuestras investigaciones han sido agrupados en el formato de una tabla Google Sheet (**Anexo 4**) que permite la gestión de los datos obtenidos. Esta tabla agrupa la siguiente información: autores, año, tipo de estudio, protocolo de ejercicio, población, duración, variables medidas y principales resultados.

Una vez que hemos seleccionado los estudios de interés con ayuda de la estrategia de investigación explicada anteriormente. En un primer momento, se realizó la lectura de los títulos y los resúmenes para saber si cumplían o no nuestros criterios de inclusión y exclusión. Los artículos que cumplen con nuestros criterios se han descargado en su totalidad, para que podamos realizar un análisis completo que permita evaluar la elegibilidad de cada uno de los estudios seleccionados.

El flujo de artículos realizado durante este trabajo se expone en la parte de los resultados en forma de diagrama de flujo PRISMA (19). En la extracción de datos se eliminaron los resultados duplicados y se rechazaron lógicamente los estudios que no cumplían los criterios de admisibilidad. Los resultados presentados en el diagrama PRISMA representan una estimación concreta, debido a la imposibilidad de realizar un seguimiento retrospectivo de cada paso de exclusión. No obstante, se utilizó una metodología rigurosa para garantizar la pertinencia de los artículos incluidos en la revisión.

En esta revisión se recogieron y analizaron los elementos relativos al diseño de cada estudio. Es decir, los datos que incluyen el número total de participantes en las diferentes sesiones así como las descripciones precisas de las sesiones realizadas cubriendo el número de entrenamiento, el calendario de las sesiones y la duración y frecuencia de las sesiones. Además, cuando estaban disponibles, se recopilaron datos sobre la obtención de los resultados de cada estudio, incluidos los plazos de evaluación y el seguimiento posterior a la intervención. Es importante precisar que la tasa de finalización de los distintos estudios no se informó en todos los estudios.

Los datos extraídos fueron analizados de forma independiente por los dos autores, es decir, sin interferencias ni influencias mutuas. Este método se ha implantado para evitar omisiones, pero también para garantizar una mayor objetividad. Podían surgir conflictos o divergencias, en cuyo caso se celebraban debates para llegar a un consenso.

3.5. VARIABLES

Los resultados fueron evaluados según la influencia de los llamados ejercicios pliométricos sobre los participantes sanos o con tendinopatía de los miembros inferiores. Las variables incluyen tanto datos estructurales como funcionales, con el fin de identificar las adaptaciones más adecuadas

para cumplir el objetivo. Las variables que serán de interés en este estudio incluyen la funcionalidad, el rendimiento físico, el dolor, la rigidez tendinosa y la recaída.

Rigidez del tendón: La rigidez del tendón corresponde directamente a la resistencia del tendón a la deformación bajo diferentes tensiones. Es la variable biomecánica de la que se informa con mayor frecuencia en los estudios experimentales estudiados en esta revisión. La rigidez del tendón se ha medido mediante técnicas de ultrasonido en modo B combinadas con plataformas de fuerza o dinamómetros (Fouré et al.(21) ; Kubo et al.(22); Laurent et al.(23)) o mediante modelización biomecánica, como en el artículo de Houghton et al.(24). En el metaanálisis de Ramírez-de-la-Cruz et al.(25) y en el ensayo aleatorizado de Moran et al.(26), la rigidez del tendón se calculó a menudo entre los valores previos y posteriores a la intervención mediante un tamaño del efecto estandarizado (SES).

Rendimiento físico: El rendimiento físico, que es la capacidad de un individuo para producir el máximo movimiento atlético (principalmente en atletas sanos), se midió en la mayoría de los artículos mediante pruebas de salto como el Countermovement Jump (CMJ), el Squat Jump (SJ) o el Drop Jump (DJ). Las pruebas de salto se cuantificaron utilizando plataformas de fuerza para medir la altura de los saltos (Laurent et al.(23)) o sistemas ópticos para cuantificar los cambios fasciculares (Kubo et al.(22)). En el artículo de Biernat et al.(27), la variable rendimiento físico se evaluó midiendo la potencia muscular mediante pruebas isocinéticas. Por último, el estudio de Houghton et al.(24) observó el rendimiento en tareas específicas de campo como sprints de 5 m o giros de 5-0-5 m.

Funcionalidad: La funcionalidad es la variable utilizada para medir la capacidad del participante (principalmente los sujetos en rehabilitación) para realizar movimientos sin dolor ni limitación. Esta variable establece el vínculo con la vuelta a la actividad. La funcionalidad se midió mediante pruebas específicas de salto repetido: CMJ x5, triple salto unipodal, prueba de salto con una sola pierna. Estas pruebas muestran si el sujeto es capaz o no de realizar movimientos que fueren los tendones sin dolor o compensación de otra estructura musculoesquelética. En el estudio de Breda et al (28), se utilizó la puntuación VISA-P como sustituto funcional. Se encuentra un ejemplo de protocolo VISA-P en el **Anexo 5**.

Dolor: El dolor es una variable clave en los estudios de personas con tendinopatía, la puntuación VISA-P se ha utilizado para combinar la evaluación del dolor y la capacidad funcional en diversos estudios (Biernat et al.(27); Breda et al.(28); Ramírez-de-la-Cruz et al.(25)).

Recaída: La recaída proporciona una forma indirecta de cuantificar la eficacia a largo plazo de un protocolo de rehabilitación. Aunque rara vez se ha estudiado cuantitativamente en los distintos artículos, la variable se ha abordado a través del criterio de retorno a la actividad sin dolor, como por ejemplo en el estudio de Breda et al.(28), donde la variable se compara explícitamente entre el grupo control y el grupo pliométrico.

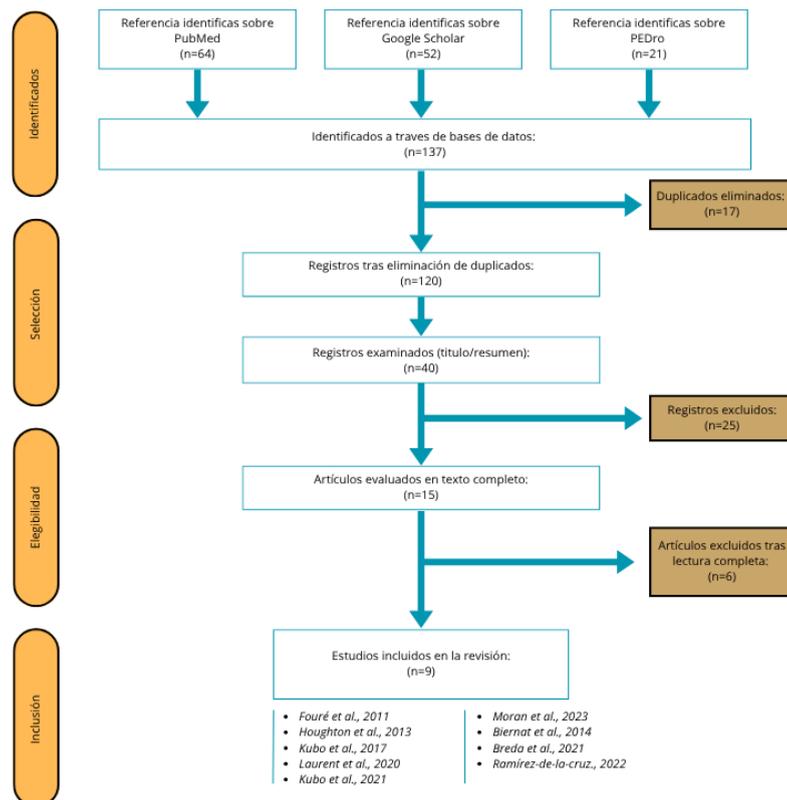
Las variables clínicas evaluadas en los estudios se presentan de forma detallada en el **Anexo 6**.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

En esta sección, los resultados se dividen según los efectos observados sobre la estructura, la función y el rendimiento clínico. Los artículos se estudiaron de forma narrativa en función de las distintas variables definidas anteriormente.

El proceso de selección de estudios se resume en el siguiente diagrama de PRISMA en la figura 1:

Figura 1: Diagrama de flujo representado la búsqueda de artículos



Fuente: Elaboración propia

4.1 EFECTOS DE LA PLIOMETRÍA SOBRE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN TENDINOSA

El entrenamiento pliométrico se basa principalmente en el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA), que consiste en un proceso neuromuscular que contribuye simultáneamente a mejorar las propiedades biomecánicas del complejo músculo-tendinoso y a optimizar la capacidad deportiva Ramírez-de-la-Cruz et al.(25). Según Moran et al.(26), este mecanismo (CEA) es uno de los estímulos más eficaces para provocar cambios estructurales y funcionales en el tendón describe Moran et al. (26). En esta primera parte, se pretende, en primer lugar, agrupar los resultados que indican si la pliometría interviene en la estructura del tendón (viscoelasticidad, rigidez y adaptabilidad)

y, en segundo lugar, los resultados que aportan información sobre el funcionamiento dinámico del tendón, especialmente en la restitución de energía, el comportamiento fascicular o la eficacia de salto durante el entrenamiento pliométrico.

4.1.1 Adaptaciones mecánicas del tendón a la pliometría

En su estudio experimental comparativo, Kubo et al.(29) analizan los efectos de un programa pliométrico en comparación con un programa isométrico. Los autores pidieron a 22 estudiantes universitarios no deportistas que siguieran un programa de 12 semanas que constaba de 3 sesiones en cada uno de ellos, con el objetivo de «aclarar cómo influyen estos dos tipos de entrenamiento en el comportamiento del músculo y el tendón durante los movimientos de ciclo de estiramiento-acortamiento» (contenido de las sesiones en el cuadro comparativo).

Los autores informan de un aumento de la rigidez del tendón en cada uno de los dos grupos, pero el aumento reportado por Kubo et al.(29) es más marcado en los estudiantes que siguieron el programa de entrenamiento isométrico (+16,5%), en comparación con el +7,5% de aumento para la pliometría. Los autores explican esta diferencia como un posible «mayor estrés mecánico durante las contracciones isométricas» y sugieren que «el aumento de la rigidez en el grupo pliométrico puede ser funcionalmente más adecuado para movimientos rápidos, ya que una rigidez excesiva puede ser perjudicial para el rendimiento.» Kubo et al.(29).

Para acompañar este análisis, Fouré et al.(21) no compararon el ejercicio pliométrico, sino que se centraron en él analizando la localización de estas adaptaciones mecánicas separando las respuestas del tendón y del músculo. En su estudio, se centraron en la rigidez pasiva del tendón de Aquiles y en la rigidez muscular activa del tríceps sural. Sus estudios incluyeron 14 semanas de seguimiento en un pequeño grupo de hombres físicamente activos (20) (contenido de la sesión en la tabla comparativa).

Los resultados muestran muy pocos cambios significativos en el tendón ($p= 0,48$), mientras que se observó un aumento significativo de la rigidez muscular activa (+13%, $p < 0,01$). Posteriormente, tras el estudio de Fouré et al.(21), le tocó el turno a Houghton et al.(24), que analizaron los efectos de un programa pliométrico de ocho semanas sobre el tendón de Aquiles en 15 jugadores de críquet amateur de sexo masculino. El protocolo consistió en 15 sesiones que combinaban diferentes tipos de saltos (contenido de las sesiones en la tabla resumen), para un volumen total de 1.785 saltos. Los autores informan de un aumento significativo del área transversal del tendón de Aquiles en el grupo entrenado (+12,8%, $p < 0,01$), «sin cambios en la rigidez, la deformación, la resistencia o el módulo de Young.» Houghton et al.(24). Para validar estos resultados a mayor escala, muchos artículos de revisión más recientes han realizado la labor de agrupar la información para poder analizar un gran conjunto de estudios experimentales. El metaanálisis de Ramírez-de-la-cruz et al, reúne un conjunto de 26 estudios, que incluyen más de 500 participantes, y los artículos se seleccionaron siguiendo las directrices PRISMA.

El objetivo de los autores era analizar los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento pliométrico sobre la estructura del tendón (contenido de las variables en la tabla comparativa / contenido de las sesiones en la tabla comparativa). El metaanálisis indicó un tamaño del efecto estandarizado (DME) medio de 0,45 (IC del 95%: 0,32-0,59), lo que indica un aumento de la rigidez del tendón. El artículo de Ramírez-de-la-cruz et al.(25) afirma que «la rigidez mejora significativamente cuando el entrenamiento se realiza durante más de 8 semanas», y también informa de un efecto más marcado del entrenamiento pliométrico en el tendón de Aquiles que en el tendón rotuliano. Ramírez-de-la-cruz et al.(25) informan de que los beneficios están asociados a variables como la duración y la intensidad.

4.1.2 Adaptaciones funcionales del tendón a la pliometría

Además de los efectos mecánicos, la incorporación de un programa pliométrico genera adaptaciones funcionales del tendón. En un estudio reciente, Kubo et al.(22) midieron los efectos de un protocolo de saltos pliométricos de doce semanas de duración (CMJ y DJ) en un grupo de 18 adultos jóvenes sanos. Los resultados de los autores revelan una mejora significativa de la altura de salto en CMJ (+47%) y DJ (+30%). Los autores observaron que el acortamiento fascicular aumentó significativamente ($p=0,009$), al igual que la velocidad de acortamiento ($p=0,006$). Los autores traducen esto como un aumento de la restitución de energía por el tendón. Estas observaciones se ven respaldadas por los resultados de Laurent et al.(23) (estudio del tendón rotuliano), que llevaron a cabo un estudio de 10 semanas que incluía 20 sesiones pliométricas. Los 32 participantes físicamente activos realizaron 2.980 saltos individuales. Los autores informan de un aumento significativo de la altura de salto en el CMJ (+4,8 cm; +12,8%, $p < 0,001$), en el DJ (+4,7 cm; +15,8%, $p < 0,001$), así como de un ligero aumento de la rigidez del tendón de Aquiles (+33,6 N/mm; +10,8%, $p < 0,05$). Con el fin de recopilar la información e identificar una correlación entre la rigidez del tendón y el rendimiento deportivo estudiado en los artículos anteriores, Moran et al.(26) llevaron a cabo una revisión sistemática que incluía 35 estudios y un total de más de 700 participantes, utilizando una metodología que cumplía con las recomendaciones PRISMA.

Los autores encontraron una correlación significativa entre la rigidez tendinosa y el rendimiento deportivo con un coeficiente $r = 0,42$ ($p < 0,01$) (contenido de los indicadores en la tabla comparativa). Moran et al.(26) también resumieron los parámetros más eficaces para inducir estas adaptaciones funcionales, destacando que los efectos se maximizan cuando los protocolos incluyen al menos 100 saltos por sesión, con 2 sesiones semanales durante una duración mínima de seis semanas. El meta-análisis (incluyendo tendón de Aquiles y tendón rotuliano) de Ramírez-de-la-Cruz et al.(25) coincide con los resultados de Moran et al.(26), informando los autores que los parámetros funcionales a nivel tendinoso se hacen parcialmente perceptibles a partir de la sexta semana de entrenamiento.

El estudio muestra una mejora media del 12% en la altura de salto y del 15% en la RSI (reactive strenght index). Los autores también informan de ganancias significativas en la potencia

muscular. El retorno a la actividad sin dolor fue del 63% en los pacientes del grupo pliométrico, frente al 36% del grupo de control.

Tabla 1: Resumen de estudios : adaptaciones mecánicas y funcionales del tendón a la pliometría.

Artículos	Tipo de estudio	Objetivo	Población	Duración / Frecuencia	Ejercicios realizados	Volumen/ métodos de medición	Resultados
Kubo et al. (29) 4.1.1	Estudio experimental comparativo (polimetría vs isometría)	Objetivo: Comparar los efectos del entrenamiento pliométrico e isométrico sobre las propiedades mecánicas del tendón de Aquiles, en particular la rigidez tendinosa, en sujetos no atletas.	22 estudiantes universitarios, no atletas	Duración: 12 semanas Frecuencia: 3 sesiones/semana	Polimetría: salto vertical, drop jump, rebound jump Isometría: contracción triceps sural (90°)	≈50 reps/sesión Ecografía modo B + dinamómetro Rigidez: N/mm	Grupo polimetría: Aumento de la rigidez del tendón de Aquiles de +7,5%, Grupo isometría: Aumento de +16,5% Esta diferencia fue estadísticamente significativa (p<0.05). Gp Iso > Gp Plio
Fouré et al. (21) 4.1.1	Intervención longitudinal + control	Objetivo: Estudiar los efectos de un programa de saltos pliométricos sobre las adaptaciones tendinosas y musculares, diferenciando la rigidez pasiva del tendón y la rigidez activa del músculo.	19 hombres activos	Duración: 14 semanas Frecuencia: 3 sesiones/semana	Drop jumps, hops, saltos horizontales, desde altura	Volumen no especificado Ecografía (pasiva), dinamómetro (activa)	" No se observó ningún cambio significativo en la rigidez pasiva del tendón de Aquiles" (p=0.48) -Pero, la rigidez muscular activa del triceps sural aumentó significativamente en +13% (p<0.01)
Houghton et al. (24) 4.1.1	Intervención controlada	Objetivo: Examinar el efecto de un entrenamiento pliométrico de 8 semanas sobre las propiedades morfológicas y mecánicas del tendón de Aquiles en jugadores de cricket amateurs.	15 jugadores amateurs de críquet	Duración: 8 semanas Frecuencia: ≈2 sesiones/semana (15 total)	Drop jumps, CMJ (Counter Movement Jump), bounding, hurdle jumps, box jumps	82-158 saltos/sesión Ecografía B-mode, dinamómetro, modelado biomecánico	Grupo polimetría: Aumento significativo del área transversal del tendón de Aquiles: +12,8% (p<0.01) Sin embargo, no hubo significativos en la rigidez, fuerza, deformación o módulo de Young. =" No se encontraron cambios en la rigidez, deformación,

							<i>fuerza ni en el módulo de Young”</i>
Laurent et al. (23) 4.1.2	RCT (2 grupos)	Objetivo: Comparar los efectos de dos tipos de saltos (estacionarios vs dinámicos) sobre el rendimiento en salto y la rigidez del tendón rotuliano en una población físicamente activa.	32 estudiantes activos (H/F)	Duración: 10 semanas Frecuencia: 2 sesiones/semana	<i>Drop jumps (40cm), CMJ, DJ desplazamiento, hops</i>	≈150 saltos/sesión Ecografía, plataforma de salto Comparación pre-post	Altura de salto en CMJ: +4,8cm (+12,8%, p<0.001) -Altura de salto en DJ: +4,7 cm (+15,8%, p<0,001) -Rigidez del tendón rotuliano: +33,6N/mm (+10,8%, p<0,05) (Datos medidas mediante plataforma de fuerza y ecografía (en el estudio completo)
Kubo et al. (22) 4.1.2	Experimental	Objetivo: Analizar las adaptaciones neuromusculares y tendinosas a un entrenamiento pliométrico centrado en la restitución rápida de la energía elástica, midiendo los cambios musculares y tendinosos durante el movimiento.	18 adultos jóvenes (H/F)	Duración: 12 semanas Frecuencia: 3 sesiones/semana	<i>CMJ (Counter Movement Jump), DJ (Drop Jump), (contacto breve)</i>	90–100 saltos/sesión Ecografía fascículos, sistema óptico	Altura de salto en CMJ: +47% Altura de salto en DJ: +30% -Acortamiento fascicular: cambió significativamente (p=0,009) -Velocidad de acortamiento: aumentó significativamente(p=0,006)
Ramírez-de-la-Cruz et al. (25) 4.1.1 y 4.1.2	Revisión sistemática + metaanálisis	Objetivo: Realizar una revisión sistemática con metaanálisis para determinar el efecto del entrenamiento pliométrico sobre la rigidez tendinosa y el rendimiento muscular, según diferentes parámetros de entrenamiento.	500+ participantes (H/M activos)	Duración: 4–14 semanas (efectos > 8 semanas) Frecuencia: 2–3 sesiones/semana	<i>Drop jumps, CMJ, bounding, saltos unipodales</i>	>100 saltos/sesión Rigidez, RSI, altura salto, fuerza	Tamaño del efecto estandarizado para el aumento de rigidez tendinosa: 0.45 “Efectos significativos solo en programas con más de 8 semanas.”

<p>Moran et al. (26)</p> <p>4.1.1 y 4.1.2</p>	<p>Revisión sistemática + metaanálisis</p>	<p>Objetivo: Evaluar el efecto del entrenamiento pliométrico sobre las propiedades mecánicas del tendón y el rendimiento deportivo funcional, e identificar los parámetros óptimos para maximizar las adaptaciones.</p>	<p>700+ participant es (activos, deportistas, sedentarios)</p>	<p>Duración: 6–14 semanas</p> <p>Frecuencia: 2–3 sesiones/semana</p>	<p>Drop jumps, CMJ, hops, bounding, box jumps</p>	<p>≥100 saltos/sesión</p> <p>Ecografía, RSI, altura, impulso</p> <p>SMD rigidez = 0.63</p>	<p>Correlación significativa entre rigidez tendinosa y rendimiento funcional: $r=0.42$, $p<0.01$</p> <p>Tamaño del efecto tendinosa: SMD = 0.63 (IC:95% : 0.47-0.80)</p> <p>Protocolos más eficaces: >100 saltos/sesión, 2 sesiones/semana, >6 semanas.</p> <p>“Los programas que incluyeron al menos 100 saltos por sesión durante más de 6 semanas produjeron mejoras consistentes en la rigidez”</p>
---	--	---	--	--	---	--	--

Fuente: Elaboración propia

Listado de símbolos y siglas de la tabla de resultados: **CMJ** : *Counter Movement Jump* (salto con contramovimiento) / **DJ** : *Drop Jump* (salto en caída) / **RSI** : *Reactive Strength Index* (índice de fuerza reactiva) / **SMD, SES** : *Standardized Mean Difference* (tamaño del efecto estandarizado)

4.2 INTEGRACIÓN DE LA PLIOMETRÍA EN LOS PROGRAMAS DE REHABILITACIÓN DE LA TENDINOPATÍA DEL MIEMBRO INFERIOR

En una revisión narrativa especializada publicada en *Sports Health* (indexada y reconocida en el campo de la rehabilitación deportiva), Chmielewski et al.(30) hicieron recomendaciones, apoyando la importancia de la planificación progresiva antes de la introducción de ejercicios pliométricos en un programa de rehabilitación. Los autores recomiendan que para introducir la pliometría en un programa de rehabilitación, «los deportistas deben demostrar una amplitud de movimiento completa sin dolor, ausencia o casi ausencia de inflamación, fuerza de la extremidad lesionada que alcance al menos el 85-90% de la de la extremidad sana, así como la capacidad de realizar movimientos específicos del deporte sin dolor.» Chmielewski et al.(30). La revisión narrativa sugiere, basándose en decisiones clínicas asumidas, que la pliometría debe incorporarse sólo si es posible el restablecimiento completo de la función excéntrica sin dolor, y también indica que su volumen e intensidad deben aumentarse progresivamente para asegurar la rehabilitación y optimizar el retorno a las exigencias deportivas.

Biernat et al.(28) escribieron un estudio experimental prospectivo de un programa de rehabilitación específico que contenía un seguimiento pre y post intervención. La población de este estudio incluyó a 22 jóvenes jugadores de voleibol de alto nivel, con edades comprendidas entre los

16 y los 19 años, todos ellos aquejados de tendinopatía rotuliana diagnosticada clínicamente. El programa del estudio de Biernat et al.(27) constaba de dos fases, la primera de 6 semanas consistía en ejercicios excéntricos, mientras que la segunda fase incorporaba ejercicios pliométricos progresivos: pequeños saltos verticales en el sitio, saltos horizontales de baja amplitud, saltos en caída desde una altura baja (30 cm). Sólo se aumentaba la intensidad si no se observaba ningún cambio en el dolor durante y después de la sesión. La puntuación VISA-P mejoró de forma constante durante el periodo del programa, pasando de una media de 45 puntos para todos los jugadores a 85 puntos. Biernat et al.(27) informan de que la «introducción de ejercicios de entrenamiento pliométrico ayudó a los atletas a recuperar las capacidades funcionales dinámicas, en particular el rendimiento de salto, después de las fases iniciales de fortalecimiento.» Biernat et al.(27), aunque sin medición cuantitativa. Estos resultados sobre el uso y la integración progresiva de un programa pliométrico se encontrarán en el estudio más reciente de Breda et al.(28), que adopta una visión más amplia y sigue una progresión en tres fases diferenciadas.

Breda et al.(28) en un ensayo aleatorizado controlado compararon un programa de pliometría con un programa de fortalecimiento convencional en una población con tendinopatía. El número total de participantes fue de 76 pacientes distribuidos en partes iguales, los dos grupos realizando un programa de 12 semanas (2-3 sesiones/semana). El grupo << intervención progresiva >> se dividió en 3 fases distintas, la fase 1 en un período de una a dos semanas se concentraba en un trabajo isométrico, luego durante la semana tres a seis en un trabajo excéntrico/concéntrico y finalmente las 5 últimas semanas se concentraban en un trabajo pliométrico constituido por diferentes ejercicios -> drop jumps, saltos horizontales, saltos hacia abajo, bounds. El protocolo seguía una intensidad progresiva con para volumen 2 a 4 series de 6 a 10 repeticiones, «los ejercicios pliométricos se concentraron en los modelos de almacenamiento y liberación de energía imitando las exigencias específicas del deporte» Breda et al.(28). La tasa de participación fue del 93%, sin aumento de los síntomas ni lesiones relacionadas con la experiencia. Los autores indican una mejoría media del VISA-P en los dos grupos, pero mayor en el grupo que incluye ejercicios pliométricos ($p= 0,006$). La recuperación sin dolor fue del 63% en el grupo pliométrico frente al 36% en el grupo control. contenido de los resultados en la tabla comparativa. Los autores justifican estos resultados afirmando que un programa de carga progresiva que incluye entrenamiento pliométrico es superior a los cuidados habituales para mejorar el dolor, la función y el retorno al deporte en pacientes con tendinitis rótula.» Breda et al.(28)

En la continuación de los resultados descritos, Ramírez-de-la-Cruz et al.(25) realizaron un meta-análisis dirigido directamente a evaluar cualitativa y cuantitativamente los efectos de la pliometría sobre las capacidades físicas de los participantes. Los autores han reunido un conjunto de 32 estudios en el que 29 estudios se centran en las adaptaciones funcionales de la extremidad inferior. En este estudio la mayoría de la población estaba compuesta por jóvenes adultos de 18 a 30 años, los participantes son descritos por Ramírez-de-la-Cruz et al.(25) como activos y sanos es decir sin patologías tendinosas como en los otros estudios analizados anteriormente. El proceso siguió una minuciosa estrategia de inclusión/exclusión, los autores siguieron el procedimiento reglamentario a los estándares PRISMA. Cada estudio incluía un programa de pliometría durante un mínimo de 8

semanas, las semanas consistiendo en una media de 2 a 3 sesiones para un volumen medio total que oscila entre 800 y 3000 saltos al final del programa. En los estudios, los autores observan que los ejercicios de pliometría los más utilizados fueron los CMJ presentes en el 90% de los estudios, los SJ presentes en el 50% y DJ presentes en el 80% de los estudios. Ramírez-de-la-Cruz et al.(25) sugieren recomendaciones basadas en principios de entrenamiento que «La sobrecarga progresiva (es decir, el aumento gradual de la intensidad, del volumen o de la complejidad) es esencial para maximizar las adaptaciones al entrenamiento pliométrico y minimizar el riesgo de lesión» Ramírez-de-la-Cruz et al.(25). Sus resultados indican una mejora significativa de la altura en los ejercicios de salto (CMJ, DJ, SJ), con un aumento funcional medio de 4 a 6 cm en todos los ejercicios. Los autores no han separado los resultados para cada uno de los ejercicios (CMJ, DJ, SJ), el efecto estandarizado medio (SMD) es de 0,61 (IC 95%: 0.42-0,73) lo que refleja un aumento moderado a fuerte en la altura de los saltos. Ramírez-de-la-Cruz et al.(25) también observaron un aumento significativo en la fuerza de la extremidad inferior debido a los diferentes programas de pliometría (SMD = 0,57; IC 95%: 0,42-0,73). Explican que estos resultados podrían atribuirse a diferentes mecanismos fisiológicos, incluyendo la optimización del ciclo de estiramiento-acortamiento (4.1), el aumento de la rigidez muscular tendinosa funcional (4.1) y aumento de la coordinación neuromuscular. Los autores señalan en su conclusión que los datos «como el rendimiento de salto y la fuerza, son esenciales para la recuperación de actividades deportivas específicas» Ramírez-de-la-Cruz et al.(25).

Tabla 2: Resumen de estudios sobre pliometría para la rehabilitación de tendinopatía de las extremidades inferiores

Artículo	Tipo de estudio	Objetivo	Población	Duración/Frecuencia	Ejercicio realizado	Volumen/ métodos de medición	Resultados
Chmielewski et al. (30) 4.2	Revisión narrativa	Objetivo: Deportistas, en fase de regreso progresivo al deporte tras una lesión.	Deportistas de diferentes niveles, sin criterios específicos de edad o sexo.	No hay un protocolo específico: recomendaciones generales. Aumento progresivo sin frecuencia fijas.	Ejercicios polimétricos progresivos: pequeños saltos, rebotes, saltos con aumento progresivo de altura e intensidad.	-No hay recomendaciones clínicas basadas en experiencia y literatura existente -Integrar la pliometría en la rehabilitación. Recomendar una progresión controlada de la carga	Antes de integrar la pliometría, el atleta debe: Tener Rango complete de movimiento sin dolor Tener una fuerza >85-90% del miembro sano. Poder realizar gestos deportivos sin dolor.

Biernat et al. (27) 4.2	Estudio experimental (intervención)	Objetivo: Analizar el impacto de un programa de rehabilitación estructurado en la recuperación funcional y el rendimiento de salto.	22 jugadores de voleibol entre 16 y 19 años. (Todos con tendinopatía rotuliana.)	Duración: 12 semanas Frecuencia: 3 sesiones por semana:	Ejercicios: Fase 1: (6 semanas): ejercicios excéntricos en cadena cerrada Fase 2: (6 semanas): ejercicios polimétricos progresivos: 1°Pequeños saltos verticales en el sitio 2°Saltos horizontales de baja amplitud, 3°Saltos desde una altura de 30cm.	-Puntuación VISA-P para evaluar: mejora funcional y el dolor. -Observación clínica (retorno al entrenamiento)	VISA-P: aumento promedio de 45 a 85 puntos. Los autores destacan una mejora en la capacidad de salto y el retorno progresivo sin dolor, aunque sin mediciones específicas cuantitativas del salto.
Breda et al. (28) 4.2	Ensayo clínico controlado aleatorizado (ECA)	Objetivo: Comparar el efecto de un protocolo de rehabilitación progresiva que incluya polimetría frente a un protocolo clásico de fortalecimiento.	76 paciente con tendinopatía rotuliana, divididos equitativamente en dos grupos (n=38 cada uno) (adultos jóvenes, de ambos sexos)	Duración: 12 semanas Frecuencia: 2 a 3 sesiones por semana.	Ejercicios analizados: 3 Fases: Fase 1 (semanas 1-2) : isométricos, Fase 2 (semanas 3-6): excéntrico/ concéntrico Fase 3 (semanas 7-12) : polimetría (drop jumps, saltos horizontales, bounds)	VISA-P. Tasa de retorno a la actividad sin dolor.	VISA-P : mejora significativa mayor en el grupo con pliometría (p=0.006) Retorno sin dolor: 63% en el grupo pliométrico vs 36% en el grupo control. No se reportaron agravaciones de los síntomas.
Ramírez-de-la-Cruz et al. (25) 4.2	Metaanálisis	Objetivo: Analizar los efectos del entrenamiento pliométrico sobre el rendimiento de salto y la fuerza del miembro inferior.	32 estudios incluidos (metaanálisis) Participantes jóvenes adultos (18-30 años) activos y sanos.	Duración: 8 semanas (variables hasta 16 semanas en algunos estudios) Frecuencia media: 2/3 sesiones por semana.	-Countermovement Jump (CMJ) (90% de los estudios). -Squat Jump (SJ) (50% de los estudios) -Drop Jump (DJ) (80% de los estudios)	-Mejora de la altura de saltos (SDM calculado). -Fuerza muscular evaluada (SMD calculado)	Salto: mejora promedio de 4-6cm de altura (SMD = 0,61; IC 95%) Fuerza: aumento significativo (SMD = 0,57; IC 95%).

Fuente: Elaboración propia

Listado de símbolos y siglas de la tabla de resultados: CEA: ciclo de estiramiento-acortamiento / UMT : Unidad Músculo-Tendón / FMCR : Fibras Musculares de Contracción Rápida / FMCL : Fibras Musculares de Contracción Lenta / VISA-P : Victorian Institute of Sport Assessment - Patellar / CMJ : Countermovement Jump / SJ : Squat Jump / DJ : Drop Jump / SMD : Standardized Mean Difference / IC : Intervalo de Confianza / ECA : Ensayo Clínico Aleatorizado

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Hoy en día, el uso de ejercicios pliométricos está bastante bien documentado, especialmente por los efectos que tienen en el aumento del rendimiento deportivo, sobre todo en deportes que requieren fuerza combinada con explosividad, como el voleibol, el baloncesto y el balonmano. Sin embargo, su integración en el tratamiento de los pacientes de fisioterapia sigue planteando dudas debido a la falta de consenso científico y a la escasa documentación en contextos patológicos como la tendinopatía.

El objetivo de esta discusión es, por tanto, reunir y analizar de forma objetiva y crítica los resultados de los estudios seleccionados, analizando los efectos que el entrenamiento pliométrico puede tener sobre las propiedades biomecánicas y funcionales de los tendones del miembro inferior. La evaluación de estos efectos nos permitirá entonces contextualizar su posible relevancia clínica en un contexto de rehabilitación, en particular en pacientes con tendinopatía del miembro inferior.

Aunque los resultados experimentales obtenidos en la literatura pueden parecer alentadores, su proyección a una población sintomática debe hacerse con el mayor cuidado y rigor posibles, a fin de evitar posibles confusiones o aplicaciones clínicas inadecuadas.

Para evitar interpretaciones precipitadas, esta discusión se estructura en torno a cuatro líneas:

- Adaptaciones biomecánicas del tendón bajo el efecto de la pliometría.
- Adaptaciones funcionales del tendón bajo el efecto de la pliometría.
- Implicaciones clínicas para los programas de rehabilitación.
- Resumen crítico de los datos recogidos y de las limitaciones metodológicas observadas.

Se examinará cada línea de progresión en esta discusión, teniendo en cuenta las limitaciones metodológicas de los estudios, su transponibilidad a una aplicación clínica y las diversas perspectivas de investigación que pueden abrir en el futuro.

5.1 ADAPTACIONES BIOMECÁNICAS

Los resultados relativos al impacto de la pliometría sobre la estructura tendinosa son parcialmente convergentes, lo que pone de manifiesto la diversidad de los protocolos utilizados, los métodos de medición y las poblaciones estudiadas. Esta variabilidad de los resultados exige un análisis crítico para comprender las condiciones necesarias para inducir adaptaciones estructurales significativas y útiles en un contexto terapéutico. En general, el análisis de los distintos resultados sugiere que la pliometría produce una adaptación mecánica moderada de la rigidez tendinosa, así como una adaptación estructural hipertrófica, siempre que se integre en un programa bien calibrado.

En el apartado de resultados, las primeras observaciones fueron realizadas por Kubo et al.(29), quienes, en un estudio experimental, informan de un aumento de la rigidez tendinosa en ambos grupos (isométricos y pliométricos), con un incremento dos veces mayor en el grupo isométrico (+16,5%) que en el pliométrico (+7,5%). Los autores explican que «el aumento de la

rigidez observado en el grupo de pliometría puede ser más adecuado funcionalmente para los movimientos rápidos, ya que una rigidez excesiva puede ser perjudicial para el rendimiento» (p. 6). Esto sugiere que la pliometría genera un refuerzo mecánico moderado de la rigidez, favoreciendo un mejor compromiso entre el almacenamiento de energía y la restitución rápida, que es crucial durante actividades explosivas como el salto o el sprint en rehabilitación. Lo que es importante recordar y comprender de este estudio procede directamente de la comprensión de la naturaleza de las contracciones utilizadas: los ejercicios isométricos provocan lo que se conoce como tensión estable o prolongada, que tiene fama de acentuar mucho la rigidez de la estructura tendinosa. En cambio, la pliometría se caracteriza por una tensión rápida, explosiva e intermitente, que favorece la adaptación funcional. Esto podría explicar por qué el aumento de la rigidez es menos pronunciado, pero más «ajustado» a la dinámica del deporte. Por lo tanto, se puede deducir que una población que practica un deporte que requiere este tipo de dinamismo sería más propensa a incorporar este tipo de ejercicio, con el fin de optimizar el rendimiento al volver a la competición.

Los resultados de Fouré et al.(21) arrojan más luz al centrarse en la localización precisa de las adaptaciones. A diferencia del estudio de Kubo et al.(29) , los autores no encontraron «ningún cambio significativo en la rigidez pasiva del tendón de Aquiles ($p = 0,48$)», pero sí un aumento significativo de la rigidez muscular activa (+13%, $p < 0,01$). Esto puede explicarse probablemente por la baja intensidad del programa aplicado, sin sobrecarga externa, a hombres jóvenes físicamente activos. Es posible que la tensión mecánica ejercida sobre el tendón fuera insuficiente para generar adaptaciones estructurales significativas. Esto sugiere que programas más intensivos, posiblemente combinados con una carga excéntrica ligera, podrían ser más eficaces. De hecho, en comparación con el estudio de Kubo et al.(29), el estudio de Fouré et al.(21) sugiere que la intensidad del protocolo pliométrico desempeña un papel decisivo. El análisis de los dos protocolos de entrenamiento muestra que la naturaleza de los ejercicios realizados por Kubo et al.(29) (DJ, saltos unilaterales) son mecánicamente más exigentes para la estructura del tendón que los saltos simples sin carga adicional o progresión utilizados por Fouré et al.(21). Por lo tanto, lo que hay que tener en cuenta es que un volumen o carga insuficiente parecería no causar suficiente estrés mecánico en el tendón para provocar una adaptación estructural. Por lo tanto, es importante que cuando se incluya la pliometría en un protocolo de rehabilitación, el fisioterapeuta establezca un umbral mínimo de estimulación para obtener una eficacia real a nivel tisular.

Houghton et al.(24) complementan este análisis observando, en una población de jugadores de críquet aficionados, un aumento significativo del área de la sección transversal del tendón de Aquiles (+12,8%, $p < 0,01$), sin cambios en la rigidez, la deformación o el módulo de Young. Según los autores, «el agrandamiento del tendón sin ningún cambio en sus propiedades mecánicas podría representar una adaptación protectora para tolerar mejor futuras tensiones»(24). Este hallazgo novedoso sugiere que el tendón podría responder a la pliometría experimentando una hipertrofia estructural, lo que podría conducir a una mejor distribución de las cargas y limitar los riesgos de sobrecarga local. Esta hipótesis podría resultar muy interesante para prevenir las recidivas en los pacientes al final de la rehabilitación. Por otro lado, es posible afirmar que los ejercicios propuestos en el artículo de Kubo et al.(29) generan un mayor estrés mecánico, ya que se añade una carga, los

movimientos son unilaterales y se controla el entorno para maximizar la fuerza del tendón sin compensación, lo que no ocurre en este artículo. Aunque el protocolo de Houghton et al.(24) presenta una mayor diversidad de ejercicios pliométricos, la intensidad de cada salto sigue siendo moderada, lo que puede explicar por qué los autores no obtuvieron aquí un cambio en la rigidez. Esto confirma aún más la importancia de incorporar un volumen y un umbral de carga mínimos en las sesiones pliométricas para obtener un cambio estructural en la estructura del tendón.

No obstante, los resultados obtenidos deben interpretarse con cautela, ya que existen varias limitaciones metodológicas. Es importante destacar que los instrumentos utilizados para medir la rigidez de los tendones no siempre son los mismos de un estudio a otro (ecografía en modo B, dinamometría o modelización indirecta). La heterogeneidad de los instrumentos, aunque habitual en los artículos científicos, representa una limitación en la comparabilidad directa de los resultados. Además, los estudios de Fouré et al.(21) y Houghton et al.(24) se basan en muestras muy pequeñas, lo que reduce la potencia estadística de sus resultados. Por último, la ausencia de un grupo de control en algunos estudios dificulta la evaluación de la eficacia relativa del método. Estas limitaciones dificultan la estandarización de los protocolos terapéuticos que incorporan la pliometría. En un contexto más clínico, esto significa que por el momento, a falta de recomendaciones claras y validadas científicamente, los fisioterapeutas deben individualizar las cargas de entrenamiento.

Para resumir esta primera parte de la discusión, los resultados sugieren que es necesario un umbral mínimo de intensidad (carga, volumen, repetición) para que los ejercicios pliométricos inducen un estrés mecánico suficiente, provocando así adaptaciones estructurales efectivas en la estructura del tendón. Las principales adaptaciones se han observado durante ejercicios complejos como CMJ, DJ, saltos unilaterales o saltos con carga, que requieren un control motor y una fuerza significativos, así como una ausencia de dolor. Esto sugiere que la pliometría debería reservarse para una fase avanzada de la rehabilitación, cuando el paciente haya recuperado parte de sus capacidades físicas. Además, el estudio de Houghton et al.(24) sugiere que la pliometría también puede dar lugar a una hipertrofia estructural del tendón, lo que permite distribuir mejor las cargas durante el impacto y reducir así el posible riesgo de recidiva. Estos elementos conducen naturalmente al análisis de las adaptaciones funcionales, que se examinan en la sección siguiente.

5.2 ADAPTACIONES FUNCIONALES

En comparación con los cambios estructurales, las adaptaciones funcionales vinculadas a la pliometría parecen ser más claras y marcadas en los estudios analizados, en particular en términos de salto, restitución de la energía elástica y fuerza de los miembros inferiores.

El estudio de Kubo et al.(22) demostró que un protocolo de 12 semanas en adultos jóvenes producía un aumento significativo de la altura de salto en CMJ (+47%) y DJ (+30%). Los autores observan un «acortamiento fascicular significativo ($p = 0,009$) y un aumento de la velocidad de acortamiento ($p = 0,006$)», lo que indica una mejora de la restitución de energía a través del complejo

músculo-tendinoso. Esto demuestra que la pliometría no sólo provoca adaptaciones mecánicas, sino también una mejora de la eficacia neuromuscular.

De forma similar, Laurent et al.(23) observaron, tras 10 semanas y 20 sesiones, una mejora significativa de la altura de salto en CMJ (+12,8%, $p < 0,001$) y DJ (+15,8%, $p < 0,001$). Aunque también se registró un ligero aumento de la rigidez del tendón rotuliano (+10,8%, $p < 0,05$), el rendimiento en salto parece ser el principal beneficio. Los autores concluyen que estas adaptaciones reflejan un mejor uso del CAE, lo que refuerza la idea de que la pliometría optimiza la eficiencia mecánica y energética. Desde un punto de vista fisiológico, estas adaptaciones funcionales pueden explicarse por una activación más rápida del reflejo miotático y una mejora de la coordinación intramuscular, que son dos criterios esenciales para los esfuerzos que requieren explosividad. Una mejor utilización del CAE, mediante el uso de la pliometría, mejora la restitución de la energía elástica acumulada en el complejo músculo-tendinoso. Es importante aclarar que el artículo de Laurent se refiere al tendón rotuliano y no al tendón de Aquiles como los otros estudios discutidos anteriormente. Así, los resultados sugieren que la pliometría sea en el nivel del tendón de Aquiles o del tendón rotuliano, permite una mejor restitución de la energía elástica y por tanto una mejora funcional.

Ramirez-de-la-Cruz et al.(25) añaden a estos hallazgos un meta-análisis de 29 estudios, informando de una mejora media de 4 a 6 cm en la altura de salto (DME = 0,61) y un aumento significativo en la fuerza de las extremidades inferiores (DME = 0,57). Destacan el papel clave de la sobrecarga progresiva en la optimización de las adaptaciones funcionales al entrenamiento pliométrico. Si comparamos los diferentes resultados obtenidos en los estudios, podemos afirmar que los beneficios dependerán no sólo de la naturaleza de los ejercicios, sino también de la progresión de la carga y de la duración del protocolo. En el estudio de Kubo et al.(22) las adaptaciones obtenidas fueron significativamente mayores que las observadas en el estudio de Laurent et al.(23), lo que puede explicarse por la diferencia de complejidad entre ambos estudios:

- 12 semanas de protocolo (Kubo et al.(22)) / 10 semanas de protocolo (Laurent et al.(23))
- 3 sesiones por semana (Kubo et al.(22)) / 2 sesiones por semana (Laurent et al.(23))
- Ejercicios de salto unilateral (Kubo et al.(22)) / Ejercicios de salto bilateral (Laurent et al.(23))
- Protocolo progresivo (Kubo et al.(22)) / Sin progresión explícita (Laurent et al.(23))

La comparación entre estos dos estudios pone de manifiesto la importancia de una dosificación estructurada y progresiva para optimizar los beneficios neuromusculares. De aquí se deduce que las adaptaciones funcionales provocadas por la pliometría dependen del volumen, la naturaleza del ejercicio y la intensidad. La baja intensidad del protocolo de entrenamiento de Laurent et.(23) no explica por qué el aumento en la rigidez es menor, como se aborda en la parte 5.1 sobre el tendón de Aquiles. El tendón de aquiles y el tendón rotuliano no tienen la misma estructura en términos de longitud y espesor, por lo que es complicado extrapolar las adaptaciones biomecánicas del tendón de aquiles a la pliometría al tendón rotuliano.

Además, los datos del metaanálisis de Moran et al.(26) revelan una correlación significativa entre la rigidez funcional del tendón y el rendimiento deportivo ($r = 0,42$, $p < 0,01$). Los autores

afirman que los niveles moderados de rigidez se asocian a un mejor rendimiento en salto y sprint. Esto confirma la idea (5.1) de que el aumento moderado de la rigidez del tendón provocado por el entrenamiento pliométrico permite una mejor respuesta a los esfuerzos explosivos, como en este caso con los rendimientos en salto y sprint. Esto también establece un vínculo entre la adaptación estructural del tendón y las ganancias funcionales observadas tras la aplicación de un programa pliométrico. Moran et al.(26) aborda en su meta-análisis estudios que se refieren tanto al tendón de aquiles como al tendón rotuliano.

Parece que la pliometría, cuando se mide y adapta adecuadamente, representa una estrategia relevante para mejorar las capacidades dinámicas funcionales. La interconexión entre las adaptaciones estructurales y funcionales sugiere un gran interés en los protocolos de vuelta al deporte. En el futuro, sería muy interesante integrar variables funcionales más variadas (tiempo de reacción, limitaciones específicas de la actividad física), lo que permitiría orientar mejor los efectos de la pliometría en la rehabilitación.

Sin embargo, es importante señalar que la mayoría de los estudios se refieren a sujetos jóvenes y activos, lo que limita la extrapolación a pacientes con tendinopatía. Para superar esta limitación, los futuros estudios sobre el tema deberían centrarse más en poblaciones clínicas sintomáticas con diferentes niveles de actividad física o edad. Aunque los resultados obtenidos son interesantes, sigue siendo incierto si los beneficios observados son transferibles a pacientes mayores con tendinopatía, ya que varios estudios no cuentan con un grupo de control, lo que debilita las conclusiones. Además, también es difícil saber hasta qué punto las mejoras observadas no se deben a un efecto de aprendizaje vinculado a la repetición de las pruebas, y no a una mejora real de las capacidades funcionales. No tener en cuenta el efecto de aprendizaje puede distorsionar en gran medida el alcance de los resultados, especialmente en pruebas como el CMJ o el DJ, que se consideran específicas. Antes de iniciar la fase de medición, sería útil introducir un periodo de familiarización con la prueba para distinguir la adquisición técnica de la adaptación real. También podría ser útil utilizar pruebas alternas para evitar el impacto de la adquisición técnica debido a la repetición de una técnica. Por último, la ausencia de resultados evaluados a lo largo del tiempo impide saber si las adaptaciones son transitorias o no. Estas limitaciones indican una vez más que es necesario un marco metodológico más riguroso para la utilización de esta técnica.

Los efectos de la pliometría demostrados en esta sección constituyen una base muy prometedora, pero deben ser confirmados por estudios experimentales más variados y menos limitados metodológicamente. Ahora se trata de determinar la pertinencia clínica de la integración de la pliometría en los programas de rehabilitación, y de identificar los distintos parámetros que garanticen una integración segura y eficaz para el paciente.

5.3 APLICACIONES CLÍNICAS Y REHABILITACIÓN FUNCIONAL

Habiendo puesto de relieve el vínculo entre las adaptaciones estructurales del tendón y las mejoras funcionales inducidas por el entrenamiento pliométrico, es interesante considerar cómo puede integrarse la pliometría en un programa de rehabilitación.

Chmielewski et al.(30), en su revisión narrativa publicada en JOST (Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy), sugieren que deben cumplirse una serie de criterios antes de introducir los ejercicios pliométricos en la rehabilitación: amplitud articular completa sin dolor, ausencia de derrame articular y fuerza del miembro afectado que alcance entre el 85% y el 90% de la del lado sano. Por lo tanto, la pliometría no debe considerarse como una fase inicial, sino más bien como una etapa avanzada de un programa de rehabilitación progresiva. Esto parece confirmar lo comentado anteriormente en la sección 5.1: la complejidad de los ejercicios pliométricos utilizados para inducir la adaptación estructural sugiere que su uso debe reservarse para una fase avanzada de la rehabilitación. Aunque su estudio es narrativo, proporciona una base clara y estructurada de los criterios clínicos necesarios para integrar estos ejercicios en el tratamiento. Cabe señalar que este artículo no forma parte realmente de los estudios experimentales de esta revisión y, por lo tanto, no es tan importante. Chmielewski et al.(30) sobre todo ayudan a contextualizar una base de conocimiento sobre el uso de la pliometría en el manejo de pacientes.

Biernat et al.(27) proponen una rehabilitación en dos fases: tras seis semanas de ejercicios excéntricos, se introduce un programa pliométrico, que incluye saltos verticales/horizontales y saltos en caída de 30 cm. La carga se ajusta en función del dolor. Las puntuaciones VISA-P de los pacientes mejoraron considerablemente (de 45 a 85 puntos de media). La introducción de la pliometría al final de la rehabilitación coincide aquí con las observaciones realizadas anteriormente, ya que el entrenamiento pliométrico requiere una fuerza y una capacidad mayores de las que tendría un paciente que inicia un protocolo de rehabilitación. Por tanto, la eficacia del entrenamiento pliométrico depende de una cierta preparación previa, lo que justifica su inclusión en la fase terminal. El ajuste de la carga en función del dolor en el estudio pone de relieve la noción de evaluación funcional individualizada. Es importante señalar aquí que la ausencia de evaluación cuantitativa de los saltos verticales y horizontales representa una limitación metodológica directa, lo que hace imposible evaluar si la mejora funcional se debe a adaptaciones o simplemente está vinculada a una reducción del dolor. Además, en este estudio fue difícil extraer efectos específicos de la fase pliométrica, ya que la mejora de la puntuación VISA-P de 45 a 85 fue el resultado de la combinación de las dos fases de entrenamiento. La ausencia de resultados aislados para la pliometría en la literatura sugiere que no es realmente eficaz por sí sola en un protocolo de rehabilitación, sino que es más eficaz como complemento de una base de fortalecimiento previa.

Por último, Breda et al.(28) introdujeron una rehabilitación en tres fases (isométrica, concéntrica/excéntrica, pliométrica) a lo largo de 12 semanas. El grupo pliométrico progresó significativamente más en la puntuación VISA-P y permitió al 63% de los pacientes volver a practicar deporte sin dolor (frente al 36% en el grupo de control, $p = 0,006$). Estos resultados pueden explicarse por la capacidad de los ejercicios pliométricos para reproducir las tensiones dinámicas

específicas del deporte. Este estudio de Breda et al.(28) puede ayudar a justificar el hecho de que la incorporación de la pliometría a un protocolo de rehabilitación da lugar a un mejor retorno a la práctica deportiva que un grupo de control que no lo hace. Inicialmente, es posible explicar una mejora en la puntuación VISA-P y un mejor retorno al deporte estableciendo un vínculo directo con la parte 5.1 y las adaptaciones biomecánicas favorables descritas. Adaptaciones como la mejora moderada de la rigidez tendinosa y la hipertrofia estructural destacadas en particular por Kubo et al.(29) y Houghton et al.(24), permiten una mejor adaptación al estrés mecánico. Esto podría explicar en parte la reducción del dolor y la reincorporación más eficaz al deporte observada en los pacientes del grupo pliométrico. Sin embargo, aunque esta revisión se refiere a las tendinopatías en general, es necesario señalar que estos estudios se centran en el tendón de Aquiles, mientras que los resultados clínicos analizados aquí se refieren al tendón rotuliano. Por lo tanto, estas comparaciones deben interpretarse con cautela. La falta de información sobre las adaptaciones biomecánicas específicas del tendón rotuliano limita la extrapolación directa de los resultados, que parecen coherentes. En segundo lugar, también es posible establecer un vínculo con las ganancias funcionales observadas en la sección 5.2. En efecto, la mejora de la coordinación muscular, la mejora de la restitución de la energía elástica y la mejora de la potencia provocadas por la aplicación de un programa pliométrico parecen haber permitido a los pacientes recuperar más rápidamente una capacidad funcional compatible con la práctica deportiva. Estos vínculos entre los aspectos biomecánicos y funcionales y los resultados observados aquí en la clínica en el estudio de Breda et al.(28), pueden aumentar la idea de que la integración de la pliometría en un protocolo de rehabilitación es una herramienta pertinente para los pacientes con tendinopatía de los miembros inferiores. Este enfoque comparativo hace que este estudio sea una referencia más fiable que otros para orientar un posible tratamiento clínico. Sin embargo, aunque estos resultados son interesantes de tener en cuenta, deben ser analizados con cautela debido a la ausencia de criterios precisos que definan la recuperación deportiva. Además, es importante matizar los resultados porque están influenciados por la estructura en tres etapas (isométrica, concéntrica/excéntrica, pliométrica) y no solo por la pliometría, Esto subraya una vez más la pertinencia del enfoque multimodal y no aislado de la pliometría.

Es posible concluir esta parte diciendo que la integración de la pliometría en un programa de rehabilitación es pertinente, siempre y cuando se realice a través de un enfoque progresivo, individualizado y multimodal. Combinando los resultados obtenidos en cada una de las partes del desarrollo, es posible afirmar que el entrenamiento pliométrico es recomendable ya que permite reproducir las tensiones específicas ejercidas sobre el tendón cuando se reanuda la actividad física o deportiva. Sin embargo, no existe, hasta el día de hoy, ningún estudio que demuestre que la pliometría sola es eficaz, pero es posible demostrar que su integración en la fase final de rehabilitación permite reducir el dolor durante la reanudación de la actividad. Estas observaciones permiten sentar las bases de un modelo terapéutico prometedor, incluso si es necesario que se realicen estudios más concretos y rigurosos desde el punto de vista metodológico.

El siguiente apartado permitirá hacer un resumen más global teniendo en cuenta las limitaciones metodológicas y los enfoques experimentales futuros.

5.4 DISCUSIÓN DE LOS HALLAZGOS

El análisis de los resultados realizados en las partes anteriores permite establecer vínculos coherentes entre los efectos biomecánicos (5.1), funcionales (5.2) y clínicos (5.3) de la pliometría. Las adaptaciones biomecánicas como el aumento moderado de la rigidez tendinosa en el estudio de Kubo et al.(29) o la ampliación de la sección transversal del tendón en el estudio de Houghton et al.(24), permiten sentar las bases del razonamiento de esta revisión. Estas adaptaciones biomecánicas y funcionales permiten apoyar la importancia de integrar los ejercicios pliométricos en un contexto de rehabilitación si se aplican correctamente. En efecto, la pliometría es un tipo de ejercicio exigente para el cuerpo, por lo que debe integrarse de forma tardía y progresiva. Por último, la integración de la pliometría, además de estos beneficios sobre el rendimiento, permitirá ayudar a un retorno al deporte sin dolor así como prevenir las recaídas restaurando tensiones explosivas controladas.

Sin embargo, incluso si los resultados son correctos y utilizables, es importante evaluar su alcance científico a través de una lectura crítica que permita subrayar las diferentes limitaciones metodológicas.

En primer lugar, la variabilidad metodológica entre los estudios constituye un límite central de esta revisión. Si bien esta diversidad ha permitido, como se expone en 5.1, delimitar algunos parámetros influyentes (duración, tipo de saltos, intensidad), dificulta la comparación directa entre los resultados. Por ejemplo, Kubo et al.(29) utilizaron un protocolo de 12 semanas con 3 sesiones semanales que incluían saltos unilaterales y cargados, mientras que Fouré et al.(21) aplican un programa de 14 semanas sin sobrecarga externa, con una intensidad mucho menor. Asimismo, Houghton et al.(24) propusieron 15 sesiones repartidas en 8 semanas con saltos variados pero de intensidad moderada. Esta heterogeneidad dificulta la identificación de umbrales precisos de volumen o intensidad.

En segundo lugar, la diversidad de instrumentos de medición utilizados en los estudios constituye también una importante limitación metodológica. Por ejemplo, Laurent et al.(23) miden la rigidez tendinosa a través de una combinación de ultrasonido B-mode y plataforma de fuerza, mientras que Kubo et al.(29) utilizan un ultrasonido no combinado. Estas diferencias en la elección de los instrumentos pueden alterar la precisión de las mediciones obtenidas, lo que limita considerablemente la comparabilidad entre los dos estudios.

Además, la diferencia de las poblaciones estudiadas repercute directamente en el alcance de los resultados. Por ejemplo, Kubo et al.(22) y Laurent et al.(23) como la mayoría de los estudios se basan en sujetos sanos y activos mientras que otros estudios (Biernat et al.(27); Breda et al., (28)) incluyen una población con tendinopatía diagnosticada clínicamente. Aun cuando en esta revisión se decidió dividir las poblaciones en dos partes distintas, la diferencia metodológica entre las poblaciones sigue siendo importante ya que limita la generalización de los efectos observados entre estudios.

Después, es importante señalar que pocos estudios han aislado rigurosamente los efectos específicos de la pliometría. En la mayoría de los estudios la pliometría se combina con otra técnica, como por ejemplo el artículo de Breda et al.(28) que propone un programa de rehabilitación constituido por tres fases (isométrica, concéntrica/excéntrica y luego pliométrica). Del mismo modo, para Biernat et al.(27) que combinan 6 semanas de ejercicios excéntricos y 6 semanas de pliometría, sin la presencia de una evaluación intermedia entre los dos. El hecho de no disociar las diferentes fases impide atribuir todos los efectos obtenidos a la pliometría.

Por último, en esta revisión bibliográfica los resultados abarcan los tendones en general (Aquiles, rótulas) sin diferenciarlos entre ellos, lo que no es necesariamente limitativo en la parte funcional pero más limitante en la biomecánica. El tendón de Aquiles y el tendón rotuliano no presentan las mismas características biomecánicas en términos de rigidez y función en su cadena cinética, por lo que es importante interpretar las adaptaciones estructurales con precaución según el tendón afectado. Incluso si Moran et al.(26), que han realizado un meta-análisis sobre los tendones en general (rótula y aquiles) informa de una relación entre la adaptación mecánica y la mejora del rendimiento funcional, no es posible afirmar que el tendón rotuliano reacciona de la misma manera biomecánicamente que el tendón de Aquiles bajo el efecto de la pliometría.

A la vista de las diferentes limitaciones metodológicas, se hace necesario que futuras investigaciones sobre pliometría refuerzan la relevancia de su integración clínica en el manejo de las tendinopatías del miembro inferior. A continuación se presentan varios ejes de investigación que pueden ser esenciales para confirmar lo observado en esta revisión:

- Una mejor homogeneización de los protocolos experimentales y metodológicos en términos de volumen, duración, frecuencia y tipo de ejercicios permitirá a futuros estudios confirmar los beneficios de la utilización de esta técnica.
- Las ventajas de los ensayos clínicos aleatorizados que incluyen directamente la población sintomática objetivo, permitirá a la pliometría pasar de un estado de tratamiento prometedor al de un tratamiento terapéutico con gran alcance científico.
- La observación espaciada en el tiempo también será esencial para mejorar su evidencia científica. Este tipo de estudio permitirá evaluar la durabilidad en el tiempo de las adaptaciones biomecánicas y funcionales inducidas por la pliometría, que actualmente se observan y evalúan a corto plazo.
- Estudios con un enfoque más individualizado según la edad, la gravedad de la patología y el nivel de actividad física permitirá que los estudios futuros mejoren la precisión de las prescripciones de atención, así como identificar los perfiles de pacientes que responden mejor al método.
- Adaptación biomecánica del tendón rotuliano aislado.

Aunque la pliometría parece prometedora en un contexto de rehabilitación, por sus efectos biomecánicos y funcionales sobre la estructura tendinosa, su integración en el tratamiento de los pacientes está aún por demostrar por investigaciones futuras, más rigurosas, focalizadas y específicas para cada tipo de tendón.

Tabla 3: Síntesis de los resultados de estudios sobre pliometría y tendinopatías de los miembros inferiores.

Artículos	Tipo de adaptación observada	Resultados principales	Limitaciones método	Implicación clínica/ Interpretación
Fouré et al. (29)	Estructural	Sin aumento significativo de la rigidez pasiva del tendón, pero aumento de rigidez muscular activa (+13%)	Sin sobrecarga externa, muestra pequeña, participantes jóvenes y sanos	Necesidad de intensificar los programas para obtener efectos marcados sobre el tendón.
Houghton et al.(24)	Estructural	Aumento significativo del área transversal del tendón (+12,8%) , sin cambio mecánico	Muestra pequeña, si grupo de control	El ensanchamiento del tendón podría ser una adaptación protectora a largo
Biernat et al.(27)	Funcional	Mejora del VISA-P de 45 a 85 puntos ; sin evaluación del rendimiento en salto	Sin medición cuantitativa, difícil atribución directa a la pliometría	Resultados interesantes, pero la relación directa entre la pliometría y la mejora no está demostrada
Kubo et al.(29)	Estructural	Aumento moderado de la rigidez tendinosa (+7,5%) con pliometría vs +16,5% con isometría	Muestra pequeña, duración limitada a 12 semanas	La pliometría favorece una rigidez funcional mas adaptada a gestos explosivos
Laurent et al.(23)	Mixta	Mejora en salto (CMj +12,8%) y ligera rigidez tendinosa (+10,8%)	Sin grupo de control, ejercicios heterogéneos	Confirma el interés de la pliometría para mejorar la eficacia biomecánica del gesto
Kubo et al.(22)	Funcional	Aumento significativo en altura de salto CMj (+47%) y Dj (+30%) ; mejora en restitución elástica	Población joven y sana, baja generalización a pacientes	Mejora la dinámica muscular y el rendimiento neuromuscular
Breda et al.(28)	Funcional	Retorno al deporte sin dolor en el 63% vs 36% ; mejora clara del VISA-P	Falta de criterios estrictos para el retorno, protocolo combinada en 3 fases	Muy prometedor, pero se deben aislar mejor los efectos específicos de la pliometría
Ramírez-de-la-Cruz et al.(25)	Funcional	Incrementos de 4 a 6 cm en saltos y aumento de fuerza (SMD = 0,57)	Gran variedad de protocolos, pocos datos sobre la duración de los efectos	Subraya la importancia de la sobrecarga progresiva en la eficacia del protocolo polimétrico
Moran et al.(26)	Funcional	Correlación positiva entre rigidez moderada y rendimiento (r=0,42, p<0,01)	Análisis secundario, grand heterogeneidad de estudios incluidos	Confirma el interés de una rigidez optimizada para salto y sprint

Fuente: Elaboración propia

Listado de símbolos y siglas de la tabla de resultados: VISA-P : Victorian Institute of Sport Assessment - Patellar / CMJ : Countermovement Jump / DJ : Drop Jump / SMD : Standardized Mean Difference.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

1. El entrenamiento pliométrico induce adaptaciones biomecánicas a nivel de la estructura tendinosa. Las adaptaciones como el aumento moderado de la rigidez o la hipertrofia de la sección transversal, permiten sostener el tendón frente a las tensiones mecánicas. Estas adaptaciones biomecánicas contribuyen a apoyar un proceso terapéutico eficaz. Sin embargo, los resultados deben interpretarse con precaución debido a la heterogeneidad de los protocolos y las medidas utilizadas.
2. Los resultados obtenidos indican que la pliometría permite mejorar las capacidades funcionales como la altura de salto, la coordinación neuromuscular y la restitución de energía, lo cual apoya su interés para favorecer un retorno progresivo a la actividad física.
3. La relevancia clínica de la pliometría en los programas de rehabilitación en pacientes con tendinopatía, aunque parece prometedora, sigue estando parcialmente demostrada debido a la ausencia de efectos aislados y a la gran heterogeneidad de los protocolos. En la actualidad no es posible generar parámetros de entrenamiento típicos, la necesidad de futuras investigaciones para arrojar más resultados se antoja fundamental.

CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFIA

1. Bobzin, L., Roberts, R. R., Chen, H., Crump, J. G., & Merrill, A. E. (2021). Development and maintenance of tendons and ligaments. *Development*, 148(8). <https://doi.org/10.1242/dev.186916>
2. Wang, J. H., Guo, Q., & Li, B. (2011). Tendon Biomechanics and Mechanobiology—A Minireview of Basic Concepts and Recent Advancements. *Journal Of Hand Therapy*, 25(2), 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2011.07.004>
3. Benjamin, M., Kaiser, E., & Milz, S. (2008). Structure-function relationships in tendons : a review. *Journal Of Anatomy*, 212(3), 211-228. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.00864.x>
4. Cook, J. L., & Purdam, C. R. (2008). Is tendon pathology a continuum ? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *British Journal Of Sports Medicine*, 43(6), 409-416. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.051193>
5. Darrietort-Laffite, C., Blanchard, F., Soslowsky, L. J., & Goff, B. L. (2024). Biology and physiology of tendon healing. *Joint Bone Spine*, 91(5), 105696. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2024.105696>
6. Voleti, P. B., Buckley, M. R., & Soslowsky, L. J. (2012). Tendon Healing : Repair and Regeneration. *Annual Review Of Biomedical Engineering*, 14(1), 47-71. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071811-150122>
7. Ahmad, Z., Parkar, A., Shepherd, J., & Rushton, N. (2019). Revolving doors of tendinopathy : definition, pathogenesis and treatment. *Postgraduate Medical Journal*, 96(1132), 94-101. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2019-136786>
8. Mousavi, S. H., Hijmans, J. M., Rajabi, R., Diercks, R., Zwerver, J., & Van Der Worp, H. (2019). Kinematic risk factors for lower limb tendinopathy in distance runners : A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*, 69, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.011>
9. De Vos, R., Van Der Vlist, A. C., Zwerver, J., Meuffels, D. E., Smithuis, F., Van Ingen, R., Van Der Giesen, F., Visser, E., Balemans, A., Pols, M., Veen, N., Ouden, M. D., & Weir, A. (2021). Dutch multidisciplinary guideline on Achilles tendinopathy. *British Journal Of Sports Medicine*, 55(20), 1125-1134. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103867>
10. Wang, Y., Zhou, H., Nie, Z., & Cui, S. (2022). Prevalence of Achilles tendinopathy in physical exercise : A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine And Health Science*, 4(3), 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2022.03.00>
11. Van Der Worp, H., Van Ark, M., Roerink, S., Pepping, G., Van Den Akker-Scheek, I., & Zwerver, J. (2011). Risk factors for patellar tendinopathy : a systematic review of the literature. *British Journal Of Sports Medicine*, 45(5), 446-452. <https://doi.org/10.1136/bjism.2011.084079>
12. Lian, Ø. B., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2005). Prevalence of Jumper's Knee among Elite Athletes from Different Sports : A Cross-sectional Study. *The American Journal Of Sports Medicine*, 33(4), 561-567. <https://doi.org/10.1177/036354650427045>
13. Zhi, X., Liu, X., Han, J., Xiang, Y., Wu, H., Wei, S., & Xu, F. (2021). Nonoperative treatment of insertional Achilles tendinopathy : a systematic review. *Journal Of Orthopaedic Surgery And Research*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02370-0>

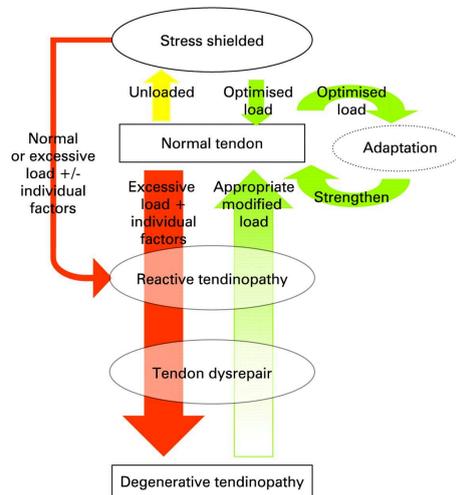
14. Longo, U. G., Ronga, M., & Maffulli, N. (2018). Achilles tendinopathy. *Sports Medicine And Arthroscopy Review*, 26(1), 16-30. <https://doi.org/10.1097/jsa.000000000000185>
15. *CURRENT CONCEPTS OF PLYOMETRIC EXERCISE*. (2015, 1 novembre). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26618058/>
16. Cooper, K., Alexander, L., Brandie, D., Brown, V. T., Greig, L., Harrison, I., MacLean, C., Mitchell, L., Morrissey, D., Moss, R. A., Parkinson, E., Pavlova, A. V., Shim, J., & Swinton, P. A. (2023). Exercise therapy for tendinopathy : a mixed-methods evidence synthesis exploring feasibility, acceptability and effectiveness. *Health Technology Assessment*, 1-389. <https://doi.org/10.3310/tfws2748>
17. Von Rickenbach, K. J., Borgstrom, H., Tenforde, A., Borg-Stein, J., & McInnis, K. C. (2021). Achilles Tendinopathy : Evaluation, Rehabilitation, and Prevention. *Current Sports Medicine Reports*, 20(6), 327-334. <https://doi.org/10.1249/jsr.0000000000000855>
18. Chu, D. A., & Myer, G. (2013). *Plyometrics*. Human kinetics. https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=Ce14AAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=plyometric&ots=B_DkB1OsNzq&sig=uS0ehevJY1QBOsJHEZCOSg26WII#v=onepage&q=plyometric&f=false
19. Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., & Stewart, L. A. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
20. Nishikawa-Pacher, A. (2022). Research Questions with PICO: A Universal Mnemonic. *Publications*, 10(3), 21. <https://doi.org/10.3390/publications10030021>
21. Fouré, A., Nordez, A., & Cornu, C. (2012). Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii muscles and Achilles tendon. *European Journal Of Applied Physiology*, 112(8), 2849-2857. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2256-x>
22. Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2021). Effects of plyometric training on muscle–tendon mechanical properties and behavior of fascicles during jumping. *Physiological Reports*, 9(21). <https://doi.org/10.14814/phy2.15073>
23. Laurent, C., Baudry, S., & Duchateau, J. (2020). Comparison of Plyometric Training With Two Different Jumping Techniques on Achilles Tendon Properties and Jump Performances. *The Journal Of Strength And Conditioning Research*, 34(6), 1503-1510. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003604>
24. Houghton, L. A., Dawson, B. T., & Rubenson, J. (2013). Effects of Plyometric Training on Achilles Tendon Properties and Shuttle Running During a Simulated Cricket Batting Innings. *The Journal Of Strength And Conditioning Research*, 27(4), 1036-1046. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3182651e7a>
25. Ramírez-delaCruz, M., Bravo-Sánchez, A., Esteban-García, P., Jiménez, F., & Abián-Vicén, J. (2022). Effects of Plyometric Training on Lower Body Muscle Architecture, Tendon Structure, Stiffness and Physical Performance : A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00431-0>
26. Moran, J., Liew, B., Ramirez-Campillo, R., Granacher, U., Negra, Y., & Chaabene, H. (2023). The effects of plyometric jump training on lower-limb stiffness in healthy individuals : A meta-analytical

- comparison. *Journal Of Sport And Health Science/Journal Of Sport And Health Science*, 12(2), 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.05.005>
27. Biernat, R., Trzaskoma, Z., Trzaskoma, Ł., & Czaprowski, D. (2014). Rehabilitation Protocol for Patellar Tendinopathy Applied Among 16- to 19-Year Old Volleyball Players. *The Journal Of Strength And Conditioning Research*, 28(1), 43-52. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31829797b4>
28. Breda, S. J., Oei, E. H. G., Zwerver, J., Visser, E., Waarsing, E., Krestin, G. P., & De Vos, R. (2021). Effectiveness of progressive tendon-loading exercise therapy in patients with patellar tendinopathy : a randomised clinical trial. *British Journal Of Sports Medicine*, 55(9), 501-509. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103403>
29. Kubo, K., Ishigaki, T., & Ikebukuro, T. (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiological Reports*, 5(15), e13374. <https://doi.org/10.14814/phy2.13374>
30. Chmielewski, T. L., George, S. Z., Tillman, S. M., Moser, M. W., Lentz, T. A., Indelicato, P. A., Trumble, T. N., Shuster, J. J., Cicuttini, F. M., & Leeuwenburgh, C. (2016). Low- versus High-Intensity Plyometric Exercise during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal Of Sports Medicine*, 44(3), 609-617. <https://doi.org/10.1177/0363546515620583>

CAPÍTULO 8. ANEXOS

Anexo 1: Modelo continuo de la tendinopatía (Cook y Purdam):

Para explicar las tendinopatías inducidas por cargas, existe un modelo patológico continuo con varias etapas (3):



Figuras : MODELO DE PATOLOGÍA TENDINOSA (31)

-La primera etapa 1 es una fase de reacción con inflamación celular y producción de proteoglicanos acumulados, pero se trata de una remodelación precoz del tendón.

-La segunda etapa es de desestructuración del tendón, con alteraciones más marcadas del colágeno, que se observan en la alineación de las fibras, que ya no están alineadas.

-El estadio 3 es una fase degenerativa avanzada caracterizada por la desorganización tisular y una importante infiltración vascular y nerviosa, que provoca dolor crónico (4). Entre las propiedades mecánicas fundamentales del tendón, la rigidez, que es esencial para la transmisión de la fuerza y la función biomecánica general, puede verse alterada tras una lesión, por lo que su restablecimiento es un objetivo importante en el proceso de curación (6).

Este modelo continuo, propuesto por Cook y Purdam, destaca el hecho de que la tendinopatía no es un estado fijo, sino un proceso evolutivo. Destaca la necesidad de adaptar el tratamiento en cada fase, dando prioridad a los enfoques mecánicamente modulados específicos de la fase clínica identificada (4).

Etapas	Características principales	Aspectos clínicos y fisiopatológicos.
Etapa 1: Reacción tendinosa	Respuesta inicial al exceso de carga	-Inflamación celular -Aumento de proteoglicanos

		-Remodelación precoz sin daño estructural severo
Etapa 2: Desorganización tendinosa	Daño estructural progresivo	-Alteración del colágeno -Fibras desalineadas -Pérdida de la integridad fibrilar
Etapa 3: Degeneración tendinosa	Daño crónico y avanzado	-Desorganización completa del tejido -Infiltración vascular y nerviosa -Dolor persistente y crónico

Anexo 2:Fases de la pliometría.

Fase	Descripción
Fase Excéntrica	-Es la fase en la que la unidad músculo-tendón (UMT) se alarga bajo carga. Se genera energía cinética que se almacena en el sistema elástico en serie. El músculo se activa con una contracción isométrica inicial para reforzar el tendón, seguido de un estiramiento excéntrico progresivo según varía el ángulo articular.
Amortiguación	-Etapa de transición entre el estiramiento excéntrico y la contracción concéntrica. Una amortiguación breve y eficaz permite recuperar la energía elástica acumulada. Si esta fase se alarga, se pierde energía en forma de calor, disminuyendo la eficacia del movimiento. El objetivo es minimizar esta fase.
Fase Concéntrica	-Es la fase en la que la energía potencial acumulada se transforma en energía cinética, combinándose con las contracciones musculares voluntarias y reflejas para generar el movimiento explosivo.

Anexo 3: Pregunta PICO.

P (Población)	Deportistas sanos o pacientes con tendinopatía del miembro inferior
I (Intervención)	Ejercicios pliométricos
C (Comparación)	Rehabilitación convencionales (isométricos, excéntricos, entrenamiento funcional tradicional) o comparaciones pre/post en sujetos sin grupo control.
O (Resultado)	Funcionalidad, rigidez tendinosa, dolor, rendimiento físico, recaída.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Tabla Google Sheets que resume los artículos analizados.

Autores	Año	Tipo de estudio	Protocolo de ejercicio	Población	Duración	Variables medidas	Principales resultados
Kubo et al.	2017	Estudio experimental comparativo	Isométrico vs Pliométrico: drop/rebound jumps	22 estudiantes no deportistas	12 semanas, 3/semana	Rigidez tendón de Aquiles (ecografía, dinamómetro)	↑ rigidez en ambos grupos; isométrico +16,5%, pliométrico +7,5%
Fouré et al.	2011	Intervención longitudinal con grupo control	Pliométrico: drop jumps, hops	19 hombres activos	14 semanas, 3/semana	Rigidez pasiva (ecografía), rigidez activa (dinamómetro)	↑ rigidez muscular activa (+13%), sin cambio tendón (p=0,48)
Houghton et al.	2013	Estudio controlado	Pliométrico variado: CMJ, bounding, hurdle, DJ	15 jugadores de críquet	8 semanas, 15 sesiones	Área, rigidez, deformación, módulo Young	↑ área tendón (+12,8%), sin cambio en rigidez/módulo
Kubo et al.	2021	Estudio experimental	Pliométrico progresivo: CMJ y DJ	18 adultos activos	12 semanas, 3/semana	Altura salto, fascículos, velocidad (ecografía, sensores)	↑ funcionalidad: CMJ +47%, DJ +30%, velocidad ↑ (p<0,01)
Laurent et al.	2020	Ensayo clínico aleatorizado	Pliométrico bilateral: CMJ, DJ, desplazamientos, hops	32 estudiantes activos	10 semanas, 2/semana	Altura salto, rigidez (plataforma y ecografía)	↑ salto CMJ +12,8%, DJ +15,8%, rigidez +10,8%
Ramírez-de-la-Cruz et al.	2022	Revisión sistemática y metaanálisis	Pliométrico ≥100 saltos/sesión	>500 participantes activos	8–14 semanas, 2–3/semana	Rigidez, RSI, fuerza, salto	↑ rigidez (DME=0,45), ↑ rendimiento
Moran et al.	2023	Revisión sistemática y metaanálisis	Pliométrico ≥100 saltos/sesión	>700 participantes activos	6–14 semanas	Rigidez, RSI, salto	Correlación rigidez-rendimiento (r=0,42, p<0,01)
Biernat et al.	2014	Estudio prospectivo de intervención	Fase 1: excéntrico, Fase 2: pliométrico progresivo	22 jugadores voleibol con tendinopatía rotuliana	12 semanas, 3/semana	VISA-P, observación clínica	↑ VISA-P (45→85), mejora funcional tras pliometría
Breda et al.	2021	Ensayo clínico controlado aleatorizado	Fase 1: isométrico, Fase 2: excéntrico/concéntrico, Fase 3: pliométrico	76 pacientes con tendinopatía rotuliana (2 grupos)	12 semanas, 2–3/semana	VISA-P, retorno sin dolor	Mejoría mayor en grupo pliométrico (p=0,006), retorno sin dolor 63% vs 36%

Fuente: Elaboración propia

Listado de símbolos y siglas de la tabla de resultados: **VISA-P:** cuestionario de evaluación funcional y del dolor en tendinopatía rotuliana / **CMJ:** salto con contramovimiento / **DJ:** Drop Jump / **RSI** : Reactive Strength Index / **DME** : Diferencia de Medias Estandarizadas

Anexo 5: Modelo de cuestionario VISA-P

VISA-P QUESTIONNAIRE



Patient Name: _____
Date: _____

Instructions: In this questionnaire, the term "pain" refers specifically to pain in the knee cap region

1. For how many minutes can you sit pain free?

0 minutes 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 100 minutes

2. Do you have pain walking downstairs with a normal gait cycle?

Strong severe pain 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 No pain

3. Do you have pain at the knee with full active non-weightbearing knee extension?

Strong severe pain 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 No pain

4. Do you have pain when doing a full weight bearing lunge?

Strong severe pain 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 No pain

5. Do you have problems squatting?

Unable to do 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 No problems

6. Do you have pain during or immediately after doing 10 single leg hops?

Strong severe pain 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 No pain

7. Are you currently undertaking sport or other physical activity?

0	Not at all	
4	Modified training ± modified competition	
7	Full training ± competition but not at same level as when symptoms began	
10	Competing at the same or higher level as when symptoms began	

8. Please complete EITHER A, B or C in this question.

- If you have **no pain** while undertaking sport please complete **Q8a only**.
- If you have **pain while undertaking sport but it does not stop you** from completing the activity, please complete **Q8b only**.
- If you have **pain that stops you from completing sporting activities**, please complete **Q8c only**.

A. If you have no pain while undertaking sport, for how long can you train/practise?

NIL	1-5 minutes	6-10 minutes	7-15 minutes	>15 minutes
0	7	14	21	30

B. If you have some pain while undertaking sport, but it does not stop you from completing your training/practice for how long can you train/practise?

NIL	1-5 minutes	6-10 minutes	7-15 minutes	>15 minutes
0	4	10	14	20

C. If you have pain which stops you from completing your training/practice for how long can you train/practise?

NIL	1-5 minutes	6-10 minutes	7-15 minutes	>15 minutes
0	2	5	7	10

TOTAL SCORE (_____/100) = ____%



MORE INFORMATION



Fuente: PHYSIOTUTORS. "VISA-P." Disponible en

<https://www.physiotutors.com/es/questionnaires/visa-p-questionnaire/> (Consultado el 4 de mayo de 2025)

Leyenda: El VISA-P (nombre completo Victorian Institute of Sport Assessment - Patella) es un cuestionario de evaluación clínica utilizado en fisioterapia para medir la gravedad de los síntomas en pacientes que sufren patología del tendón rotuliano. El VISA-P contiene un conjunto de 8 preguntas que evalúan el dolor durante la actividad, la capacidad para hacer deporte, la capacidad para llevar a cabo la actividad diaria y el impacto del dolor en el rendimiento deportivo. Resulta de interés en los estudios de investigación porque puede utilizarse tanto para evaluar la gravedad de la tendinopatía como para realizar un seguimiento riguroso a medida que avanza el tratamiento.

Anexo 6: Variables clínicas medidas en los estudios seleccionados.

Artículos	Funcionalidad	Rendimiento físico	Dolor	Rigidez tendinosa	Recaída
Fouré et al., (2011)	NO	NO	NO	SI (B-modo + dinamo)	NO
Biernat et al., (2014)	SI (VISA-P)	SI (Isocinetica)	SI (VISA-P)	NO	Parcialmente (retorno al deporte)
Kubo et al., (2017)	NO	SI (CMj, Dj)	NO	SI (B-modo + dinamo)	NO
Laurent et al., (2020)	SI (CMj x5)	SI (CMj, Dj)	NO	SI (Plataforma de fuerza + ecografía)	NO
Kubo et al., (2021)	NO	SI (CMj, Dj)	NO	SI (ecografía fascículos)	NO
Breda et al., (2021)	SI (VISA-P)	SI (CMj, VISA-P)	SI (VISA-P)	Parcialmente (No especificado)	SI (retorno sin dolor)
Ramírez-de-la-Cruz et al., (2022)	Parcialmente (datos globales)	SI (CMj, Sj, Dj, Fuerza)	Parcialmente (VISA)	SI (SMD)	Parcialmente (retorno al deporte)
Moran et al., (2023)	SI	NO	NO	NO	NO
Houghton et al., (2023)	Parcialmente (test campo)	SI (Sprint, COD)	NO	SI (Modelización)	NO

Fuente: Elaboración propia

Listado de símbolos y siglas de la tabla de resultados: **VISA-P:** cuestionario de evaluación funcional y del dolor en tendinopatía rotuliana / **VAS / EVA:** escala visual analógica del dolor / **CMJ:** salto con contramovimiento / **DJ:** salto en caída / **SJ:** salto desde posición en cuclillas / **Isocinética:** prueba de fuerza a velocidad constante / **B-modo:** ecografía bidimensional / **Dinamo:** dinamómetro / **SMD, SES:** tamaño del efecto estandarizado / **Sprint, COD:** esprint, cambio de dirección (*Change of Direction*) / **Ecografía fascículos:** ecografía de fascículos musculares / **Modelización:** modelado biomecánico

AGRADECIMIENTOS

PIERRICK:

Quisiera comenzar expresando mi profundo agradecimiento a la mayor parte del personal de la Universidad Europea de Valencia. A lo largo de estos años, me han brindado no sólo sus conocimientos y experiencia, sino también una actitud de apoyo constante, llena de paciencia y dedicación. Es gracias a sus enseñanzas y apoyo que este trabajo ha podido tomar forma, y cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi trayectoria académica y personal.

No puedo continuar sin dedicar unas palabras a mi familia, pilar fundamental sin el cual nada de esto hubiera sido posible.

À mes parents:

Merci pour votre soutien inconditionnel, votre patience et votre amour constants au fil des années. Votre confiance en moi a été ma plus grande force dans les moments difficiles et ma plus grande fierté dans les réussites. Ce travail est aussi le vôtre.

À mes grands-parents:

Vous avez été un exemple d'humilité, de persévérance et de sagesse. Votre présence dans ma vie a toujours été un pilier discret mais essentiel, et je vous suis profondément reconnaissant pour tout ce que vous m'avez transmis, je vous remercie énormément.

À ma soeur:

Merci d'avoir toujours été là, pour tes encouragements, tes mots réconfortants et ton humour qui m'ont aidé à garder le cap. Ton soutien m'a apporté à la fois motivation et sérénité, je suis également fier de toi.

À ma tante:

Merci pour ton affection constante et ton intérêt sincère pour mes études. Je ne te remercierai jamais assez pour tout ce que tu as fait pour moi. Ton soutien, ta générosité m'ont profondément marqué. Tu as toujours été présente aux moments clés, et ta bienveillance a été pour moi un véritable refuge.

Chaque sacrifice que vous avez fait, chaque geste de soutien, a été pour moi une immense source de force. Au-delà de l'effort académique, vous m'avez appris le vrai sens de la persévérance et la valeur de l'humilité. Cette réussite est autant la vôtre que la mienne.

También me gustaría dar las gracias a mis amigos que han estado a mi lado durante estos 4 maravillosos años en Valencia: Thibaut, Etienne, Capucine, Orane, Noa, Mathilde y Martin, Foucaud, Marie, Agathe, Baptiste, Clement, Hugo, Paul, Matthias, Nora, Claudia, Marina, Neus, Helie, Thomas, Pierre

À mes amis de France:

Merci à vous: Simon, Sulli, Corentin, Lilou x2, Océane, Maeva, Thomas, Romain, Théo, Adrien, Alexis, Amir, Hugo, Andy, Achille, je tiens à vous remercier du fond du cœur pour votre amitié, votre présence et tous les moments partagés. Vous êtes venus me voir à plusieurs reprises, et ces visites ont été précieuses pour moi. Elles m'ont offert des bouffées d'oxygène, du réconfort et une énergie nouvelle dans les périodes les plus intenses. Votre soutien, même à distance, a incontestablement contribué à ma réussite. Je vous en suis profondément reconnaissant.

À toi Etienne:

Mon camarade de mémoire mais surtout un ami précieux. Merci pour ton engagement, ta rigueur et ta bonne humeur tout au long de ce travail partagé. On a traversé ensemble les moments de doute comme les phases de motivation, et c'est aussi grâce à toi que ce mémoire a pu aboutir.

Au fil de ces mois, on a construit une vraie complicité, une belle amitié qui, je l'espère, durera bien au-delà de ce travail. Et bien sûr, une pensée spéciale pour Coulonges-sur-l'Autize, ton village du 79, qui t'a vu grandir et qui sans lui tu ne serais rien...

Gracias por los momentos de risa, desahogo, reflexión y simple camaradería. Cada uno estaba ahí a su manera, escuchando, apoyando y haciendo que los momentos difíciles fueran un poco menos duros. Vuestra amistad me ha ayudado a no perder de vista mis objetivos y a seguir adelante en los momentos difíciles.

ETIENNE:

Quiero dar las gracias a todo el personal de la Universidad Europea de Valencia por estos buenos años. Gracias a José por acompañarnos con mucha sinceridad en este trabajo.

À vous, mes parents,

Je tiens à commencer par vous, car tout cela n'aurait jamais été possible sans votre aide au quotidien. Vous m'avez toujours soutenu dans mes choix, et je peux le dire aujourd'hui : grâce à vous, je viens de réaliser un rêve, celui d'exercer en tant que kinésithérapeute. Je vous aime.

À toi, mon frère,

Tellement de choses à dire, mais je vais faire court : tu as toujours été un exemple pour moi. Tu sais ce que tu veux dans la vie, et pour l'obtenir, tu t'en donnes toujours les moyens. C'est en suivant cette philosophie que j'ai réussi. Merci d'être le grand frère que tu es.

À mes meilleurs amis : Nora, Hugo, Paul, Matthias,

Je voulais que vous sachiez que ces quatre années passées à vos côtés figurent sans doute parmi les plus belles de ma vie. Du premier jour à Valence jusqu'au dernier, vous m'avez soutenu, et je vous en serai toujours reconnaissant. Des personnes comme vous, il en existe très peu, et je suis heureux de pouvoir vous compter dans ma famille. Je vous aime.

À vous, mes amis de France : Juan, Quentin, Pierre, Tim, Léon, Charly,

Cela fait maintenant quatre ans que je suis en Espagne, et forcément, on se voit moins. Mais malgré tout, rien n'a jamais changé entre nous. Je vous aime, les gars. Merci.

À vous, Machine à laver,

Un groupe d'amis que j'espère ne jamais perdre de vue. Vous êtes toutes des personnes formidables. Je vous souhaite le meilleur dans votre vie. Merci pour tout, à plus tard au bar.

À toi, Pierrick,

Merci, mon Niortais. J'ai été heureux de partager cette aventure avec toi.

Gracias por los momentos de risa, desahogo, reflexión y simple camaradería. Cada uno estaba ahí a su manera, escuchando, apoyando y haciendo que los momentos difíciles fueran un poco menos duros. Vuestra amistad me ha ayudado a no perder de vista mis objetivos y a seguir adelante en los momentos difíciles.