

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

Facultad de Ciencias de la Salud

Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Curso 2024-2025

El papel del tratamiento fisioterapéutico para las rupturas de las poleas flexoras de los dedos en los escaladores.



Autores/as

Maylis ARHETS

Marie BEUCHER

Tutor/a

Antonio REJAS FERNANDEZ

Valencia, 2025

**El papel del tratamiento fisioterapéutico para las rupturas
de las poleas flexoras de los dedos en los escaladores.**

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR:

Mailys ARHETS y Marie BEUCHER

TUTOR/A DEL TRABAJO:

Antonio REJAS FERNANDEZ

FACULTAD DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

VALENCIA

CURSO 2024-2025

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a todas las personas que nos han apoyado y ayudado durante todo nuestro trabajo; Antonio Rejas, que se ha tomado el tiempo para respondernos y guiarnos en la buena dirección durante todo este proceso; También nos gustaría darnos las gracias mutuamente por todo el trabajo que hemos realizado.

En términos más generales, nos gustaría tomarnos un momento para dar las gracias a todos los que nos han dado la oportunidad de llegar hasta aquí.

En primer lugar, gracias a nuestros padres por darnos la oportunidad de realizar estos estudios. A pesar de la distancia, siempre nos han apoyado, incluso en los momentos de dificultad y dudas.

En segundo lugar, nuestro agradecimiento se lleva a todos los profesores de la Universidad Europea de Valencia, que desde el principio fueron verdaderos pilares, guiándonos y apoyándonos, tomándose el tiempo de explicarnos todo a pesar de nuestras dificultades iniciales con este nuevo idioma. Fueron pacientes y comprensivos, proporcionándonos una experiencia de aprendizaje completa y apasionante.

A continuación, nos gustaría dar las gracias a personas ajenas a la universidad, nuestros tutores de prácticas, principalmente los fisioterapeutas de la Clínica Aston y Miquel Simon, que fueron un verdadero apoyo y una fuente de conocimientos. Al proporcionarnos un aprendizaje completo, nos permitieron ganar confianza en nosotros mismos y en nuestras habilidades como fisioterapeutas.

Gracias a todas estas personas, nos sentimos preparados para cerrar este capítulo de nuestras vidas y volar con nuestras propias alas, con la esperanza de hacer que se sientan orgullosos.

ÍNDICE

1. ÍNDICE DE ABREVIATURAS.	
2. ÍNDICE DE TABLAS.	
3. ÍNDICE DE FIGURAS.	
4. ÍNDICE DE ANEXOS.	
5. RESUMEN Y PALABRAS CLAVES	1
6. ABSTRACT Y KEYWORDS	2
7. INTRODUCCIÓN.	3
7.1. Definición	3
7.2. Recuerdo Anatómico	3
7.3. Epidemiología	5
7.4 Mecanismo lesional	5
7.5 Factores de riesgo	6
7.6 Signos y síntomas	7
7.7 Clasificación	7
7.8 Diagnóstico	7
7.9 Tratamiento	8
8. OBJETIVOS.	10
9. HIPÓTESIS.	10
10. MATERIAL Y MÉTODOS.	11
10.1. Tipo y diseño general del estudio	11
10.2. Pregunta de investigación y estructura PICO	11
10.3 Criterios de inclusión y criterios de exclusión	12
10.4. Ecuación de búsqueda	12
10.5. Selección de artículos y extracción de datos	13
11. RESULTADOS.	15
11.1. Descripción de los diferentes estudios y tratamientos empleados	15
11.2. Objetivo específico 1: Eficiencia de los tratamientos en la recuperación del nivel de escalada previo.	16
11.3. Objetivo específico 2: Eficiencia de los tratamientos en la recuperación de la fuerza del dedo lesionado.	18
11.4. Objetivo específico 3: Eficiencia de los tratamientos en la recuperación del ROM del dedo lesionado.	20
11.5. Objetivo específico 4: Eficiencia de los tratamientos en la disminución de la distancia tendón-falange.	22
12. DISCUSIÓN.	23
13. LIMITACIONES	26
14. FUTURAS INVESTIGACIONES	27
15. CONCLUSIONES.	28
16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	29
17. ANEXOS.	31

1. ÍNDICE DE ABREVIATURAS.

DE: Desviación estándar

DIP: Interfalángica distal

EVA: Escala Visual Analógica

FPD: Flexor profundo de los dedos

FSD: Flexor superficial de los dedos

MCF: Metacarpofalángica

PIP: Interfalángica proximal

PPS: Férula de protección de polea (Pulley protection splint)

ROM: Rango de movimiento

TPD: Distancia tendón-falange

UIAA: Unión Internacional de la Asociación de Alpinismo

2. ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Criterios de inclusión y exclusión	12
Tabla 2: Estrategia de búsqueda bibliográfica	13

3. ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Anatomía normal del sistema de polea del flexor del dedo.....	4
Figura 2: Componentes de la pregunta de investigación tipo PICO.....	11
Figura 3: Diagrama de flujo PRISMA de la revisión bibliográfica.....	14

4. ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo 1: Posiciones de manos y dedos estudiadas para evaluar la fuerza: posición del agarre en gripado (A) y en pendiente (B).....	31
Anexo 2: Clasificación de lesiones de poleas (lesiones cerradas) según Schöffl et al.	32
Anexo 3: Tabla de resumen de los artículos	33
Anexo 4: Férula de protección de poleas (PPS) con acolchado en las zonas de contacto para proporcionar un ajuste cómodo.....	35
Anexo 5: Zona de colocación de la PPS.....	36
Anexo 6: UIAA Grado de dificultad en escalada de roca.....	37
Anexo 7: Biomecánica de las poleas A2 y A4 durante la flexión de los dedos.....	38
Anexo 8: Vendaje diseñado por Schöffl (dedo medio) y Schweizer (dedo anular)	39
Anexo 9: Patrón del nuevo vendaje "H-tape" (a) y "H-tape" aplicado en el dedo anular de la mano derecha (b).....	40
Anexo 10: Escala de Buck-Gramcko.....	41
Anexo 11: Dispositivo de medición normalizado (balanza de resorte) para determinar la distancia tendón-hueso de cada sujeto.....	42
Anexo 12: Medias de las mediciones ecográficas de los tres ensayos (n = 8) sin cinta y con cinta aplicada según los tres métodos de vendaje.....	43

5. RESUMEN Y PALABRAS CLAVES

Introducción: La rotura de las poleas de los dedos es la lesión más frecuente que sufren los escaladores, sobre todo cuando utilizan el agarre en gripado, que ejerce una tensión extrema sobre las poleas, en particular la A2. Estas poleas, que unen los tendones flexores a las falanges, pueden romperse parcial o totalmente, limitando la función del dedo y causando dolor, edema y deformidad visible. El objetivo de esta revisión es analizar la eficacia de los tratamientos conservadores y en menor medida, quirúrgicos, a partir de la evolución de variables específicas en deportistas afectados.

Metodología: La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos PubMed, Web of Science y Google Scholar. Las palabras claves utilizadas incluyeron “pulley rupture”; “a2 pulley rupture”; “flexor tendon pulley injury”; “flexor pulley”; “rock climbers”; “rock climbing”; “injury”; “treatment”; “physiotherapy” y los operadores booleanos “AND” y “OR”.

Objetivo: El estudio tiene como objetivo investigar la eficacia de los tratamientos conservadores y quirúrgicos, como el uso de férula de protección, las intervenciones mediante ejercicios o los vendajes funcionales en las rupturas de las poleas del sistema flexor de los dedos. Busca demostrar el impacto de estos tratamientos sobre cuatro variables, la recuperación de la fuerza en el dedo, el nivel de escalada alcanzado después de la rehabilitación, la distancia tendón-hueso supervisado bajo imágenes y la recuperación del rango de movimiento (ROM) en estos dedos.

Resultados: La mayoría de los estudios incluidos informaron resultados favorables tras el tratamiento conservador, incluso para algunas roturas completas, sobre todo en escaladores de pasatiempo o intermedios. Demostraron la recuperación progresiva de la fuerza de prensión, con una vuelta a niveles de escalada casi normales entre 6 a 12 semanas. El ROM está poco afectado a largo plazo; los casos tratados de forma conservadora muestran un restablecimiento completo de la amplitud articular en la mayoría de los casos. Los estudios basados en la medición de la distancia tendón-hueso observan que puede persistir un ligero aumento tras la rotura, pero no siempre compromete la función. Las ecografías muestran una distancia estabilizada en los casos tratados sin cirugía. Con un protocolo de rehabilitación adecuado los sujetos suelen volver al nivel de escalada anterior a la lesión a menudo entre 8 y 16 semanas. El tratamiento quirúrgico se reserva a los casos de rotura múltiple o a los escaladores profesionales. Los resultados indican una recuperación más lenta, pero a menudo completa, aunque la cirugía conlleva mayores riesgos y requiere un seguimiento postoperatorio estricto.

Conclusión: El tratamiento conservador parece ser una opción eficaz y segura para la gran mayoría de los casos de rotura de polea, permitiendo una recuperación funcional satisfactoria de las variables clave: fuerza, ROM, distancia tendón-hueso y nivel de escalada. La cirugía sólo está indicada en situaciones específicas, como roturas múltiples o fracaso del tratamiento conservador. El tratamiento individualizado y la reeducación progresiva son esenciales para favorecer un retorno óptimo a la práctica deportiva.

Palabras claves: Ruptura de poleas; Sistemas flexores; Escalada de roca; Tratamientos

6. ABSTRACT Y KEYWORDS

Introduction: Broken finger pulleys are the most common injury suffered by climbers, especially when using the crimped grip, which places extreme stress on the pulleys, particularly the A2. These pulleys, which attach the flexor tendons to the phalanges, can break partially or completely, limiting finger function and causing pain, edema and visible deformity. The aim of this review is to analyze the efficacy of conservative treatments and to a lesser extent, surgical treatments, based on the evolution of specific variables in affected athletes.

Methods: The bibliographic search was carried out in the databases PubMed, Web of Science and Google Scholar. The keywords used included “pulley rupture”; “a2 pulley rupture”; “flexor tendon pulley injury”; “flexor pulley”; “rock climbers”; “rock climbing”; “injury”; “treatment”; “physiotherapy” and the Boolean operators ‘AND’ and “OR”.

Objective: The study aims to investigate the efficacy of conservative and surgical treatments, such as splinting, exercise interventions or functional bandaging in ruptures of the finger flexor pulley system. It seeks to demonstrate the impact of these treatments on four variables, the recovery of finger strength, the level of climbing achieved after rehabilitation, the tendon-bone distance monitored under imaging and the recovery of range of motion (ROM) in these fingers.

Results: Most of the included studies reported favorable results after conservative treatment, even for some complete breaks, especially in hobby or intermediate climbers. They demonstrated progressive recovery of grip strength, with a return to near normal climbing levels between 6 to 12 weeks. ROM is little affected in the long term; conservatively treated cases show complete restoration of joint amplitude in most cases. Studies based on measurement of tendon-bone distance note that a slight increase may persist after rupture, but does not always compromise function. Ultrasound scans show a stabilized distance in cases treated without surgery. With proper rehabilitation protocol subjects usually return to pre-injury level of climbing often within 8 to 16 weeks. Surgical treatment is reserved for multiple rupture cases or professional climbers. Results indicate a slower, but often complete recovery, although surgery carries greater risks and requires strict postoperative follow-up.

Conclusion: Conservative treatment appears to be an effective and safe option for the vast majority of cases of pulley rupture, allowing satisfactory functional recovery of the key variables: strength, ROM, tendon-bone distance and climbing level. Surgery is only indicated in specific situations, such as multiple ruptures or failure of conservative treatment. Individualized treatment and progressive re-education are essential to favor an optimal return to sports practice.

Keywords: Pulley rupture; Flexor systems; Rock climbing; Treatments.

7. INTRODUCCIÓN.

7.1. Definición

Los sistemas flexores de poleas son una envoltura fibrosa que permiten a los tendones flexores de los dedos evitar las desviaciones de sus ubicaciones anatómicas. Proporcionan la conversión de las acciones de tracción en un movimiento angular que da lugar a la flexión de las articulaciones interfalángicas. Las lesiones de poleas no son muy frecuentes, se encuentran principalmente en los escaladores de roca. Este trastorno se debe a la posición de la mano durante la actividad, que se conoce como el “agarre de presión” o “agarre en gripado”, con una hiperflexión entre 90° y 100° de la articulación interfalángica proximal (PIP) y una hiperextensión de la articulación interfalángica distal (DIP) (Ver Anexo 1). En este movimiento, los tendones flexores aplican una fuerza muy intensa a los sistemas de poleas. Esta carga repetitiva puede provocar lesiones agudas de poleas o lesiones de sobreuso (1).

7.2. Recuerdo Anatómico

Las poleas forman parte del sistema de los tendones flexores del dedo, una estructura compleja que facilita el funcionamiento normal y eficaz del aparato flexor de la mano. Es un sistema de vaina fibro-ósea que envuelve los tendones del flexor superficial de los dedos (FSD) y del flexor profundo de los dedos (FPD). La vaina se divide en dos componentes tisulares, que tienen funciones distintas. Por un lado, su componente sinovial profundo permite el deslizamiento y movimiento de los tendones respecto a las estructuras adyacentes no deformables y lubrica el cartílago circundante. Por otro lado, tiene un componente retinacular superficial o poleas. Se definen como condensaciones o engrosamientos de la vaina, conformadas por tejido fibroso y que envuelven los tendones flexores. Forman cadenas fibro-óseas que los mantienen cerca de la cara palmar de las falanges. Ofrecen estabilidad durante los movimientos de flexión y extensión del dedo. Además, permite trasladar la fuerza traslacional generada por el aparato flexor en un momento rotacional sobre las falanges. Así, permite evitar el desplazamiento anteroposterior y lateral del tendón (2–5).

Cada dedo trifalángico está compuesto por 8 poleas. Se dividen en 5 poleas anulares (A1-A5) y 3 poleas cruciformes (C1-C3). Las poleas anulares se diferencian entre dos subtipos. A2 y A4 son consideradas como verdaderas poleas fibro-óseas ya que se insertan directamente en las falanges proximal y medial respectivamente. Son las más anchas y fuertes. Por consecuencia, se consideran más importantes para prevenir el desplazamiento palmar del tendón, es decir para prevenir el fenómeno de cuerda de arco o “bowstringing”. En un dedo sano, existe ya un bowstringing fisiológico, por la tensión generada por los tendones en la flexión del dedo. Esta distancia entre los tendones y las falanges puede aumentar anormalmente cuando se rompen las poleas (2). Además, las investigaciones han sugerido que la segunda polea anular (A2) es la polea más fuerte, seguida de la

A1 y la A4 (4). La polea A2 del dedo anular es la más débil, mientras que la A4 del dedo índice es más fuerte (2).

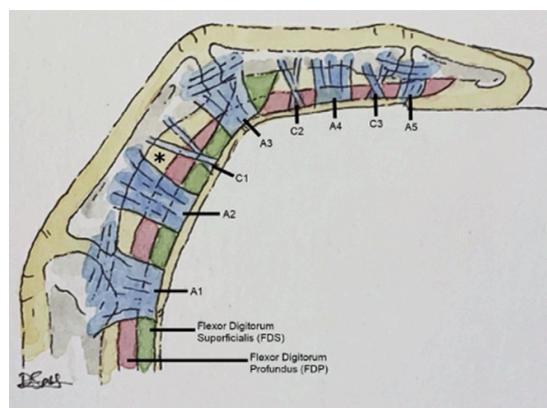
En cuanto a las poleas A1, A3 y A5, son más flexibles y estrechas. No se caracterizan como verdaderas poleas fibrosas. En efecto, no se insertan directamente en el hueso sino en estructuras ligamentosas: las placas volares, actuando en la prevención de la hiperextensión del dedo. Aseguran la función de compresión sin pinzamiento y expansión durante la flexo extensión. Están ubicadas en la parte palmar de las articulaciones metacarpofalángica (MCF), PIP y DIP, respectivamente. Su morfología y ubicación favorecen su buena adaptación a los movimientos de flexión y extensión de los dedos (2,3).

Las poleas cruciformes se componen de fibras oblicuas más finas y cada una se localiza entre dos poleas anulares: la polea C1 se sitúa distalmente a A2, C2 se ubica entre A3 y A4 y C3 está insertada entre A4 y A5. El sistema de poleas cruzadas facilita la acomodación de la vaina fibrosa a la flexión del dedo ya que garantiza la aproximación de las poleas anulares entre sí (2,3).

Las poleas anulares y cruciformes de los dedos trifalángicos son representados en la figura 1.

- Primera polea anular (A1): surge cerca de la placa palmar del metatarso. Se extiende hasta el nivel de la base del metatarso.
- Segunda polea anular (A2): surge de la cara volar de la parte proximal de la falange proximal. Se extiende hasta la unión de los 2/3 proximales y el 1/3 distal de las falanges proximales.
- Tercera Polea Anular (A3): Se extiende sobre la región de la articulación PIP y es pequeña.
- Cuarta Polea Anular (A4): Se encuentra en la porción media de la falange media.
- Quinta Polea Anular (A5): Se encuentra en la región de las articulaciones DIP (6).

Figura 1. Anatomía normal del sistema de polea del flexor del dedo.



Leyenda: Tendones flexores (FPD y FSD) y poleas anulares (A1-A5) y cruciformes (C1-C3) asociadas. Distancia intacta entre el tendón y el hueso (*).

Fuente: (2).

El pulgar tiene solamente 3 poleas. La polea A1 se sitúa en la articulación MCF, y la polea A2 sobre la interfalángica. Entre las dos, se ubica la polea más importante funcionalmente: la polea oblicua (Ao). Recorre la diáfisis de la falange proximal, desde su parte proximal medial hacia su parte distal lateral, insertándose cerca del tendón del aductor del pulgar (2–4).

7.3. Epidemiología

Las lesiones de poleas de los dedos es una alteración poco común en la población. No obstante, es la lesión de sobreuso más prevalente en los escaladores. En los últimos años, la popularidad de este deporte ha incrementado. En 2019, la Federación Internacional de Escalada Deportiva (International Federation of Sport Climbing) había notificado un número de 44 500 000 escaladores en el mundo. Consiguientemente, las lesiones de escalada han aumentado más de 50% desde 1990, siendo las lesiones del miembro inferior las más prevalentes (2). Asimismo, se observó que las lesiones del sistema de polea flexora del dedo se han vuelto más frecuentes. Hoy en día, las alteraciones de los tendones flexores o de las poleas representan 33% de todas las patologías de los escaladores (5).

A menudo, las lesiones ocurren en las poleas anulares fibrosas (A2 y A4), con mayor recurrencia en A2. Simultáneamente, pueden ser acompañadas de un daño de la polea A3. Igualmente, los dedos medio y anular son los que resultan más lesionados (5).

Se explica por la biomecánica de la lesión, abordado posteriormente.

7.4 Mecanismo lesional

Como visto anteriormente, las poleas anulares A2 y A4 son las más importantes para permitir la funcionalidad de los tendones flexores de los dedos. Son las poleas que se lesionan con mayor frecuencia, ya que son las más rígidas (menos deformables) y que soportan más estrés. Su ruptura ocurre cuando están sometidas a fuerzas externas que exceden la tolerancia de su tejido fibroso.

La lesión de las poleas puede suceder por dos mecanismos diferentes. Puede ocurrir por traumatismos directos, cuando se genera un exceso de fuerza en las poleas de manera repentina, al caerse. De otro modo, puede tener lugar por mecanismos de estrés continuo, es decir cuando las poleas están sometidas a cargas repetitivas supra fisiológicas (que superan su límite normal de tolerancia). Estas lesiones de sobreuso se producen mucho en los escaladores recreacionales (2,3).

Al contrario de la polea A4, la polea A2 sostiene los dos tendones flexores y está sometida a mayor estrés mecánico. Por tanto, es más propensa a sufrir lesiones, principalmente en la posición de agarre (3).

Existen dos factores importantes que determinan la cantidad de fuerza a la que la polea A2 está sometida. El primero es el ángulo de flexión de la articulación PIP. Según varios estudios biomecánicos, la polea tiene que soportar más fuerza a mayor flexión de la articulación. Por consecuencia, el agarre en pendiente (*slope gripe*) genera mucho menos estrés en la polea que el agarre en gripado (*crimp grip*). En esta posición, las articulaciones DIP están en hiperextensión mientras que las PIP se encuentran en flexión de 90°-100° (Ver Anexo 1) (3). Vigouroux et al. demostraron que la fuerza media que actúa sobre la polea A2 en esta posición es de 254,8N, lo que representa una cantidad de fuerza 36 veces mayor que en el agarre en pendiente. Del mismo modo, la polea A4 soporta una fuerza 4 veces mayor en el agarre en gripado (7). El otro factor principal es la cantidad de peso, es decir la carga externa situada en el extremo distal del dedo. Según un estudio de Schweizer et al, la carga externa es proporcional a la cantidad de fuerza a la que está sometida la polea (8).

Además, el estrés mecánico en las poleas incrementa con los movimientos excéntricos (2).

Ocasionalmente, las otras poleas (A1, A3 y A5) pueden lesionarse de manera concomitante con A2 y A4, generando un efecto de cuerda de arco aún más importante. Generalmente, aparece conjuntamente con una pérdida de fuerza y una reducción del rango de movimiento (ROM) (3).

7.5 Factores de riesgo

Según los estudios biomecánicos, el riesgo de sufrir lesiones es mayor en las poleas A2, A3 y A4, con el agarre en gripado o *crimp grip*. En esta posición, la tensión de los tendones ejerce una gran fuerza en el sistema de poleas, especialmente bajo contracciones excéntricas (2). El riesgo aumenta con un mayor ángulo de flexión de la articulación PIP y una mayor carga para la punta del dedo (3).

Además, la mala condición física o el sobre entrenamiento son factores de riesgo relevantes. Igualmente, factores como la ausencia de calentamiento previo o de estiramientos y enfriamiento después del entrenamiento suponen un mayor riesgo de lesión (5).

Según el estudio de cohorte prospectivo de van Middelkoop et al., el riesgo de sufrir una nueva lesión del miembro superior en escalada incrementa con la edad, hacer demasiado enfriamiento, entrenarse en la *tabla campus*, tener mayor fuerza en el dedo medio o tener antecedentes de lesión (9).

7.6 Signos y síntomas

Habitualmente, en caso de lesión aguda, la sintomatología incluye dolor y/o hinchazón alrededor de la polea dañada. Ocasionalmente, se observa hematoma y equimosis local. Puede ser acompañado de sensación de ceder en la articulación PIP o se puede oír un pop. Además, el paciente puede sufrir disminución de fuerza y de ROM durante la flexión del dedo. Igualmente, durante la flexión resistida es posible notar un efecto “cuerda de arco” o “bowstringing”, lo que aparece cuando el tendón flexor se separa del hueso. Está presente sólo en caso de ruptura de varias poleas. Ante lesiones crónicas, puede haber una contracción que aparece más tarde en la flexión de la articulación PIP (10,11).

7.7 Clasificación

Schöffl et al. diseñaron un sistema de clasificación de las lesiones de poleas y poder identificarlas con mayor facilidad y ofrecer un tratamiento adaptado a cada una (12).

En este mismo, una lesión de grado 1 se define como una distensión de la polea. Un grado 2 describe una ruptura completa de A4 o una rotura parcial de A2 o A3. Una ruptura completa de A2 o A3 representa un grado 3. La lesión se considera de grado 4 cuando hay roturas de múltiples poleas (A2/A3, A2/A3/A4), o una ruptura simple (A2 o A3) combinada con una lesión de otras estructuras como los músculos lumbricales o ligamentos colaterales (Ver Anexo 2).

Propusieron un plan de tratamiento a seguir adecuado a los diferentes grados (10,11).

7.8 Diagnóstico

Clínicamente, los desgarros de poleas pueden presentarse como agudos o crónicos, dependiendo de la gravedad puede variar entre un pequeño desgarró parcial hasta un gran desgarró completo. Las lesiones agudas de poleas se caracterizan por dolor repentino y agudo durante la actividad con un “pop” audible seguido de hinchazón al nivel de los dedos. Por su parte, los desgarros crónicos son causados por microtraumatismos repetitivos al nivel de las poleas, provocan síntomas de sensibilidad focal y dolor al agarre. Además, en estos desgarros, el encordado del arco está considerado como una indicación de lesión importante de poleas. El diagnóstico clínico del encordado del arco puede resultar comprometido porque el dolor y la hinchazón pueden ocultar el encordado del arco. Por lo tanto, los profesionales de salud deben basarse en imágenes avanzadas para obtener un diagnóstico preciso y poner en marcha un tratamiento adecuado. Las modalidades propuestas más comunes son la ecografía, la resonancia magnética y la tomografía computarizada. La ecografía presenta imágenes musculoesqueléticas de alta resolución, es accesible y poco costosa. Permite una

evaluación estática de las estructuras de los tejidos blandos de los dedos como las superficies óseas y es la única modalidad que ofrece la capacidad de evaluar dinámicamente el complejo polea-tendón.

La resonancia magnética, por su parte, proporciona una excelente visualización de las estructuras salvo que no permite una evaluación dinámica del complejo polea-tendón. Además, esta modalidad es más costosa y menos disponible que la ecografía. Sin embargo, actualmente es la técnica de diagnóstico más utilizada para las lesiones de poleas.

Como la resonancia magnética, la tomografía computarizada tiene un costo importante y una ausencia de capacidad de evaluación dinámica.

William Berrigan et al. han realizado un estudio sobre las imágenes de diagnóstico para las lesiones de poleas A2 y concluirán que la ecografía debe utilizarse como la modalidad de diagnóstico principal para evaluar los desgarros de poleas A2 (13).

7.9 Tratamiento

El sistema de clasificación de Schöffl et al. proporciona una buena ayuda para la elección de las diferentes estrategias de tratamiento en función de la gravedad de la lesión. Generalmente, aconseja manejar las lesiones de grado 1 a 3 mediante un tratamiento conservativo, mientras que se recomienda un tratamiento quirúrgico para las lesiones de grado 4 (1).

El tratamiento conservativo incluye varias técnicas como la inmovilización, terapia funcional, protección de las poleas con vendajes y retorno progresivo a la escalada. El grado 1 no necesita inmovilización y se empieza directamente con terapia funcional, con la puesta de un vendaje durante 2 a 4 semanas. El protocolo de Schöffl et al. recomienda 10 días de inmovilización para el grado 2 y 14 días para el grado 3, mediante férulas (férula palmar o férula anular de polea externa). Luego, se sigue con la terapia funcional combinado con una protección (vendaje) e incorporación progresiva de ejercicios específicos a la escalada. El regreso completo a la escalada puede durar hasta 3 meses en función de la progresión de la lesión y usando vendajes hasta 6 meses después (1,10,11).

Ocasionalmente, el manejo conservador no es suficiente para tratar una lesión de grado 3, por lo cual se opta por un tratamiento quirúrgico. Asimismo, es aconsejable recurrir a cirugía para el grado 4 (rupturas de múltiples poleas). La intervención quirúrgica tiene como objetivo reposicionar los tendones cerca de las articulaciones interfalángicas y que esta intervención sea la más fuerte posible para permitir la movilización temprana de los dedos. Existen varias técnicas de cirugías de reparación o reconstrucción posibles. La elección de una o otra se basa en las características de la lesión y del tejido restante: tiene que ser suficientemente robusto para permitir una buena reparación. Para la reconstrucción de la polea, se suele usar un injerto, uniéndose a los bordes residuales (técnica no envolvente) o envolviendo lo alrededor de la falange (técnica envolvente). El injerto elegible comprende el palmar largo, el plantar, un deslizamiento del FSD (dedo anular), o una sección del retináculo dorsal de la muñeca. Por ejemplo, los métodos posibles comprenden las técnicas de

Kleinert y Bennett, del retináculo extensor de Lister, de Doyle y Blythe y la técnica de Karev. Sin embargo, la técnica más recomendada por los autores es la técnica del “triple lazada” de Okutsu, para la reconstrucción de la polea A2. Se suele usar un solo bucle para la reconstrucción de A4. Se sigue por una rehabilitación postquirúrgica gracias a un tratamiento conservador y con etapas similares a las lesiones anteriores (1,10,11).

8. OBJETIVOS.

- **Objetivo general:** Crear una revisión bibliográfica que aporte información sobre los métodos de tratamientos fisioterapéuticos existentes para las lesiones de poleas flexoras de los dedos en los escaladores, basado en la evidencia científica actual.

- **Objetivos específicos:**
 1. Determinar si los tratamientos permiten la recuperación del nivel de escalada previo.
 2. Determinar si los tratamientos permiten recuperar la fuerza en los dedos lesionados.
 3. Determinar si los tratamientos permiten recuperar el ROM completo en los dedos lesionados.
 4. Determinar si los tratamientos permiten la consolidación de la polea y la disminución de la distancia tendón hueso.

9. HIPÓTESIS.

La hipótesis primaria de este trabajo de fin de grado se basa en la existencia de varios tipos de tratamientos fisioterapéuticos que pueden ser beneficios para la ruptura de poleas en escaladores.

La hipótesis secundaria es que existen diferentes tipos de tratamientos en función del grado de lesión.

10. MATERIAL Y MÉTODOS.

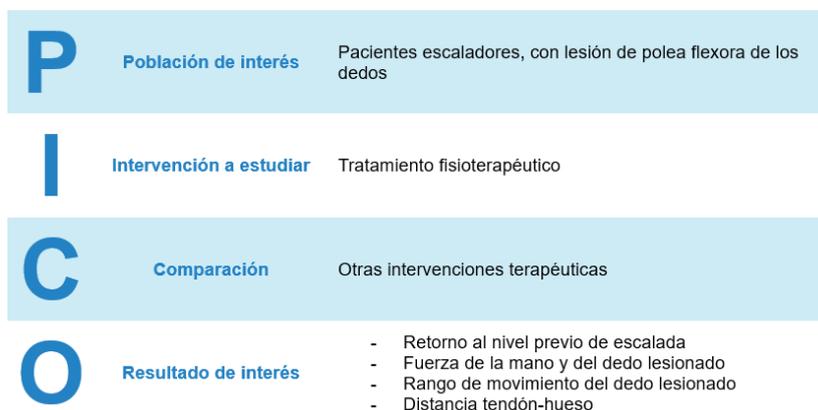
10.1. Tipo y diseño general del estudio

Se efectuó un análisis de la literatura científica mediante una búsqueda bibliográfica de noviembre de 2024 hasta febrero de 2025. Se realizó una revisión bibliográfica de acuerdo con la guía de revisión para la pautación de un diagrama de flujo mediante PRISMA (Ver Figura 3).

10.2. Pregunta de investigación y estructura PICO

Para guiar la elaboración de la búsqueda bibliográfica, se empezó por formular una pregunta de investigación. El uso del método PICO permitió definir claramente el problema, plantear los criterios de investigación y realizar una búsqueda precisa, eficiente y relevante. Para construir la pregunta tipo PICO, se identificaron los cuatro componentes del problema representados en la Figura 2. Comprenden la población de interés (P, *patient/population*), la intervención o exposición a estudiar (I, *intervention/exposure*), la comparación a otras alternativas (C, *comparison*) y los resultados de interés (O, *outcomes*).

Figura 2. Componentes de la pregunta de investigación tipo PICO.



Fuente: Elaboración propia

El establecimiento de los componentes PICO permitió formular la pregunta clínica siguiente: ¿Existe un tratamiento fisioterapéutico de elección para mejorar la movilidad de los dedos, fuerza de la mano y de los dedos, retorno al nivel previo de escalada, y distancia tendón-hueso en los pacientes escaladores con lesión de polea flexora de los dedos?

10.3 Criterios de inclusión y criterios de exclusión

Se buscaron artículos en diferentes bases de datos con el objetivo de simplificar y limitar el alcance de la búsqueda. Para eso, se han establecido los siguientes criterios inclusivos y exclusivos (Ver tabla 1).

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Fecha de publicación entre 2000 y 2025	Artículos que involucren pacientes con distintas enfermedades
Pacientes con ruptura del sistema de poleas flexoras de los dedos	Ensayo clínico sobre cadáver
Pacientes practicadores de escala de roca	Artículos que no se basan en los tratamientos.
Artículos enfocados en el tratamiento conservador o invasivo.	Fecha de publicación anterior a 2000
Artículos publicados de acceso completo	Artículos publicados sin acceso completo
Artículos publicados en idioma inglesa y española	Artículos no publicados en idioma inglesa y española

Fuente: Elaboración propia

10.4. Ecuación de búsqueda

Se realizó una búsqueda bibliográfica de noviembre de 2024 a febrero de 2025 utilizando los siguientes descriptores “pulley rupture”; “a2 pulley rupture”; “flexor tendon pulley injury”; “flexor pulley”; “rock climbers”; “rock climbing”; “injury”; “treatment”; “physiotherapy” y los operadores booleanos (“AND” y “OR”) en las bases de datos de PubMed, Scopus y Web of Science (Ver tabla 2). Se establece un límite de publicación de 25 años debido a la falta de información reciente.

De esta manera, se han encontrado 69 artículos en PubMed, 120 artículos en Scopus y 64 artículos en Web of Science. Al final, se obtuvieron 253 artículos en total.

Tabla 2. Estrategia de búsqueda bibliográfica.

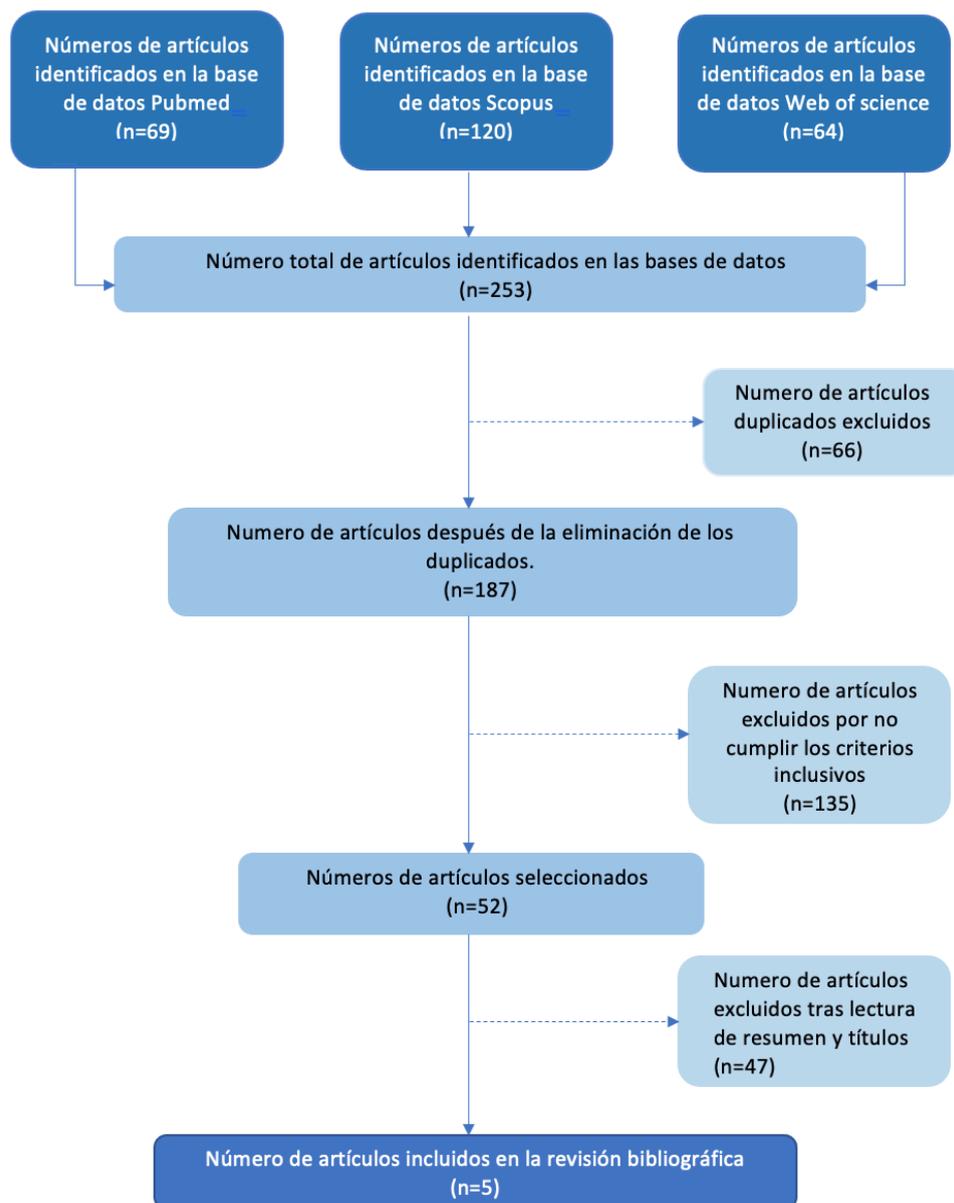
Bases de datos	Ecuación de búsqueda	Resultados
PubMed	(pulley injury) AND ((sport climbing) OR (rock climbing)) AND (flexor tendon)	69
Scopus	((pulley rupture) OR (a2 pulley rupture) OR (flexor tendon pulley injury) OR (flexor tendon pulley injuries))) AND ((rock climbers) OR (rock climbing)) AND (treatment)	120
Web of Science	(ALL=(pulley injury)) AND ALL=(conservative treatment))	26
Web of Science	(ALL=(pulley injury)) AND ALL=(physiotherapy)	15

Fuente: Elaboración propia

10.5. Selección de artículos y extracción de datos

La selección de los artículos y extracción de los datos se realizaron basándose en la metodología PRISMA. Según este método, la búsqueda y selección de artículos se llevó a cabo siguiendo 4 etapas, descritas en el diagrama de flujo de la figura 3: la identificación, la selección, la elegibilidad e inclusión de los artículos. Dentro de los 253 artículos resultantes, 66 se duplicaban. Se excluyeron 135 artículos que no coincidían con los criterios de inclusión. 47 fueron eliminados después de un análisis cuidadoso de los títulos y resúmenes. Los artículos que no cumplían los criterios de elegibilidad fueron excluidos. Al final, 5 artículos fueron incluidos en la revisión bibliográfica.

Figura 3. Diagrama de flujo PRISMA de la revisión bibliográfica.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los criterios de elegibilidad, se incluyeron 5 artículos dentro de la revisión bibliográfica. Comprenden 4 artículos de investigación y un ensayo clínico. Una tabla de resumen de las principales características de cada estudio está disponible en el Anexo 3.

11. RESULTADOS.

Para responder a los objetivos de la revisión, el apartado de resultados fue dividido en diferentes partes. En una primera parte, se describen los estudios encontrados con los procesos realizados. En segundo lugar, se analizó los resultados para cada variable de interés: la recuperación del nivel de escalada previo, la distancia tendón-hueso (TPD), la fuerza y el ROM del dedo lesionado.

11.1. Descripción de los diferentes estudios y tratamientos empleados

5 artículos científicos fueron incluidos para elaborar la revisión bibliográfica. A continuación, se presentan las principales características de cada uno. Se estableció una tabla de resumen de los estudios incluidos dentro del trabajo de fin de grado (Ver Anexo 3).

Primero, **Schöffl et al. (2003)** realizaron un estudio con el fin de ampliar los conocimientos sobre las rupturas de los dedos en los escaladores y proporcionar una guía ayudando al diagnóstico y tratamiento. Para facilitar el proceso, propusieron una clasificación de las lesiones de poleas en función de su gravedad (Ver Anexo 2). Para esto, evaluaron las lesiones de poleas de 87 pacientes escaladores, apoyándose sobre cuestionarios, exámenes estándares y diagnóstico por ultrasonidos. Luego, sugirieron un plan de tratamiento a seguir según el grado de lesión. Posteriormente, esta clasificación fue utilizada por varias investigaciones científicas (12).

El estudio de **Schöffl et al. (2006)** es una investigación retrospectiva que tenía como objetivo evaluar la eficiencia de un tratamiento conservativo en la recuperación de la fuerza de los dedos, tras una ruptura simple de las poleas (14).

La investigación de **Schöffl et al. (2007)** pretende determinar la eficiencia del vendaje tipo H (“H-tape”) frente a otros tipos de vendaje o sin vendaje, en la curación de lesiones de poleas en los escaladores (15).

Schneeberger y Schweizer (2016) realizaron un estudio de cohorte retrospectivo para investigar sobre los efectos de la férula de protección de polea (pulley-protection splint) (PPS) usada en el tratamiento conservador de las roturas de poleas. Tiene como finalidad evaluar su eficiencia en la reducción de la TPD, así como los resultados funcionales y específicos del deporte (16).

Finalmente, **Bouyer et al. (2016)** hicieron un estudio retrospectivo, buscando determinar si la una reconstrucción quirúrgica de las poleas favorece la recuperación del nivel de escalada y los factores que influyen en esta misma. Otro propósito de la investigación fue la evaluación de sus efectos en la corrección del bowstringing y sus resultados funcionales. Se enfocaron en pacientes escaladores de alto nivel con rupturas cerradas de poleas (17).

11.2. Objetivo específico 1: Eficiencia de los tratamientos en la recuperación del nivel de escalada previo.

Considerando que el nivel de escalada se analiza en 4 artículos (Schneeberger y Schweizer, 2016; Schöffl et al., 2003; Schöffl et al., 2006; Bouyer M et al., 2016). En la mayoría de los participantes de las investigaciones, se encuentran una recuperación significativa del nivel previo de escalada para.

En el artículo de **Schneeberger M et al. (2016)**, 45 pacientes con en total 47 rupturas del sistema de poleas (28 con rupturas de A2 y 19 con rupturas de A4) participaron en el estudio. Fueron tratados de manera conservadora con una férula de protección de poleas (PPS) en termoplástico personalizadas (Ver Anexo 4), que usaron de forma continua hasta el primer seguimiento a los 2 meses. Las PPS se colocarán cerca de la articulación PIP sin comprimir los vasos o nervios, permitiendo la retracción de los tendones flexores de los dedos en posición anatómica (Ver Anexo 5). La PPS permite a los escaladores la realización de ejercicios fáciles de escalada en 3 a 4 meses. El nivel de escalada se evalúa según la escala métrica de Schöffl et al. (2003) (p. ej., UIAA 9- = métrica 8,7, UIAA 9 = métrica 9,0, UIAA 9+ = métrica 9,7). Se consideró como nivel inicial de escalada de los pacientes la vía más difícil alcanzada en los últimos 4 años. De los 45 pacientes, 43 cumplieron enteramente la evaluación. Dentro de los 43 pacientes, 38 recuperaron los niveles de escalada anteriores en una media de 8,8 meses (rango 2-36 meses) y 3 han comentado escalar menos que antes de la lesión, pero todos por razones no relacionadas con estas lesiones (16).

En el artículo de **Schöffl et al. (2003)**, se diagnostican 122 rupturas de poleas en 4 años, caracterizada según la clasificación de Schöffl et al. (Ver Anexo 2) donde se identifican 48 pacientes con grado I, 31 con grado II, 36 con grado III y 7 con grado IV. Para los grados I, II y III se pone en marcha un tratamiento conservador. El grupo de los pacientes con ruptura de grado I no estaban inmovilizados, realizaban una terapia funcional temprana bajo la protección de un tape durante 2 a 4 semanas donde se añade una gimnasia para los dedos y un ejercitador de mano Thera Band (Thera-Band, Akron, OH), retomaran una escalada fácil en 4 semanas y el retorno completo a la escalada en 6 semanas siguiendo vendarse durante 3 meses. En el grupo con ruptura de grado II, se realizaba el mismo tratamiento donde se añade un tiempo de inmovilización de 10 días y una vuelta a la escalada entre 6 a 8 semanas. En el grupo de grado III, se inmovilizaban durante 10 a 14 días combinada de antiinflamatorios y una elevación, realizaban una terapia funcional temprana bajo la protección de una férula en termoplástico durante 4 semanas, retomaran una escalada fácil en 6 a 8 semanas y una vuelta completa a la escalada en 3 meses siguiendo vendarse durante 6 meses. El nivel de escalada se evalúa según la escala métrica de Schöffl et al. (2003) y además según la escala Unión Internacional de la Asociación de Alpinismo (UIAA) (Ver Anexo 6). El grupo de grado IV, se tratará con una intervención quirúrgica llamada técnica de asa y media, llevando una férula en termoplástico como inmovilización postoperatoria durante 14 días y se realiza el mismo tratamiento con terapia funcional durante 4 semanas. De los 80 escaladores tratando con conservador, que

cumplieron el estudio por completo, 73 volvieron al nivel de escalada previo donde 6 informaron la necesidad de vendar los dedos durante 12 meses después de la lesión y 7 se quejaron con dolor persistente al escalar que se resuelve en 3 meses con injerto de corticoides y descanso prolongado. De los 7 pacientes con una ruptura de grado IV tratado con cirugía, 1 presentaba un resultado específico del deporte muy satisfecho alcanzado un nivel de escalada de dificultad superior (UIAA 10, US 5.13d), 3 informaron buenos resultados específicos a la escalada y 1 presentaba un resultado específico del deporte deficiente. Pero todos los pacientes tenían que vendar los dedos durante la actividad de escalada (12).

En el artículo de **Bouyer et al. (2016)**, se analiza 38 escaladores con rotura de poleas, se presentan 16 profesionales de escalada y 22 que informaron haber escalado como pasatiempo. En los 38 pacientes, según Schöffl et al. (2003) (Ver Anexo 2) 2 tenían una ruptura de poleas de grado II, 30 una ruptura de grado III y 6 con un grado IV. Poniendo en marcha un tratamiento quirúrgico seguido de una rehabilitación fisioterapéutica, los pacientes recibían un injerto del retináculo extensor de la muñeca en una media de 169 días después de la lesión (3-622). Este estudio realiza un seguimiento de 6 meses después de la intervención donde se incluye justo después de la quirúrgica la colocación de un anillo en termoplástico en la polea lesionada durante 90 días más una inmovilización con férula de la articulación MCF a 80° y de la muñeca a 30° por un periodo de 45 días. La rehabilitación empieza a los 3 días después de la operación con masaje drenante, presoterapia, ultrasonidos pulsados en polea, una movilización pasiva y activa del dedo y de los dedos adyacentes manteniendo la férula y el anillo. Al sobrepasar los 45 días, se añade un trabajo de resistencia gradual y una incorporación gradual a la escalada a los 3 meses. La vuelta a la escalada se evalúa según la escala métrica de Schöffl et al. (2003). De los 38 pacientes al inicio, 30 recuperaron su nivel de escalada previo donde 15 lo mejoran. En los 30 pacientes se encuentran 43% de profesionales y 63% de escaladores de pasatiempo, volviendo a un nivel medio de escalada de 9,2 (Desviación Estándar (DE): 0,9) en un periodo medio de 6,4 meses (DE: 2,8). 7 escaladores no recuperaron su nivel de escalada previo (17).

En el artículo de **Schöffl et al. (2006)**, 21 escaladores con rupturas antiguas de poleas fueron reevaluados en una media de 3,46 años (rango 0,25-18). El rendimiento deportivo (nivel de escalada a punto rojo y a vista) se evalúa según el sistema métrico de Schöffl et al. (2003). El nivel medio a punto rojo (hacer una ruta conocida por el escalador sin descanso) es de 8,53 (DE 1,11) y a vista (hacer una ruta desconocida por el escalador sin descanso) es de 7,85 (DE 1,05) según la UIAA. La mitad de los pacientes fueron tratados con una terapia adecuada y todos volvieron a escalar 6 semanas posteriores a la lesión usando un vendaje durante 26 semanas. En un año, todos los pacientes se habían recuperado el nivel de escalada inicial salvo 2 pacientes con lesiones “jóvenes” volvieron al nivel de escalada previo en 4 a 6 meses. Ciertos pacientes siguen utilizando el vendaje durante la escalada (14).

11.3. Objetivo específico 2: Eficiencia de los tratamientos en la recuperación de la fuerza del dedo lesionado.

Todos los estudios incluidos en la revisión evaluaron la evolución de la fuerza de los dedos con un tratamiento conservador.

Schöffl et al. (2003) propusieron una guía para diagnosticar y tratar las lesiones de poleas en escaladores. Indican que el tratamiento conservador propuesto para las lesiones de grado 1 a 3 resuelve el déficit de fuerza inicialmente observado, después de 3 a 6 meses. Sin embargo, no informaron sobre el método utilizado para valorar la fuerza, ni los hallazgos encontrados (12).

En el estudio de **Schöffl et al. (2006)**, se reevalúa 21 pacientes escaladores con una media de 3,46 años después de las lesiones de poleas. Comprende 27 rupturas de grado 2 a 4 según la clasificación de Schöffl et al. (2003). Las 5 rupturas de grado 4 se consideraban “no complicadas”. Recogieron información sobre datos personales y el tratamiento seguido mediante un cuestionario. Valoraron el nivel de escalada medio de los escaladores, conforme a la escala UIAA. La mitad de los pacientes fueron tratados con una terapia adecuada y todos volvieron a escalar con un vendaje 6 semanas posteriores a la lesión. En promedio, el vendaje fue utilizado durante 26 semanas y ciertos pacientes siguen usándolo. Se basaron en el protocolo de Köstermeyer y Weineck para valorar la recuperación de la fuerza gracias al manejo conservativo (18). Midió la fuerza ejercida por el dedo lesionado tras el tratamiento y lo compararon con la fuerza del lado contralateral sano, en las posiciones de agarre en gripado y en pendiente (Ver Anexo 1). Se evaluó la fuerza ejercida por los dedos índice, medio y anular aisladamente y los tres juntos, en ambas manos. La prueba se pudo realizar sobre 17 pares de dedos. Se utilizó una plataforma de fuerza y, gracias al grafo obtenido, se tomó el valor de la fuerza máxima mantenida durante 2 segundos. Fue convertida en porcentaje del peso corporal total para permitir una comparación entre los individuos. Calcularon la diferencia de fuerza media entre la mano lesionada y la sana. Si la fuerza era mayor en la mano sana, el valor obtenido era positivo y si era mayor en la mano lesionada, el valor era negativo. Hicieron lo mismo para calcular la diferencia de la fuerza media de los dedos. Además, pudieron comparar la diferencia entre la mano dominante y no dominante con la diferencia entre el dedo lesionado y no lesionado, para evaluar el impacto de la preferencia manual en la fuerza. Para los análisis estadísticos, se consideró que un nivel de probabilidad de 5 % era significativo. En los hallazgos, no se encontró diferencia significativa entre el lado lesionado y el lado sano en ambas posiciones (dedo sano vs dedo lesionado en pendiente: $P = 0,29$; dedo sano vs dedo lesionado en gripado: $P = 0,95$). Por consecuencia, no hubo déficit de fuerza en el dedo alterado. Igualmente, la fuerza de la mano y dedo lesionado fue generalmente mayor que la otra, ya que las medias de todas las diferencias fueron negativas. Sin embargo, los valores quedan muy pequeñas y se encontró también valores positivos, por lo cual no se consideraron significativas. Por otra parte, evaluaron la influencia eventual del tiempo pasado desde la lesión sobre la diferencia de fuerza entre el lado lesionado con el sano. Para

ello, dividieron los pacientes en dos grupos, comparando la fuerza media de los pacientes que tenían un intervalo de tiempo entre la ruptura de polea y la primera consulta inferior a un año con los superiores a un año. No pudieron establecer conclusiones sobre la influencia del tiempo en la recuperación de fuerza porque no observaron diferencia significativa entre los grupos en ambas posiciones (agarre en gripado: $P=1.0$; agarre en pendiente: $P=0.4$) (14).

En la investigación de **Schöffl et al. (2007)**, en primer lugar, se examinó 8 pacientes con rupturas de poleas por ultrasonidos para determinar la TPD con diferentes tipos de vendajes y sin vendaje. En segundo lugar, se evaluó los efectos de un nuevo vendaje sobre la fuerza en 12 pacientes con rupturas de grado 1 a 3, mayores de un año, que habían recibido un tratamiento conservador funcional. Se aplicaron los 3 vendajes y se hicieron mediciones para valorar los efectos de los vendajes en la TPD y la fuerza de los dedos. Antiguamente, los vendajes se usaban por sus efectos preventivos y terapéuticos, pero nunca se analizaron sus efectos tras rupturas de poleas. Este estudio busca profundizar la evidencia científica sobre los efectos de los vendajes y proponer un nuevo método de vendaje, "H-tape". Intentó proponer un vendaje más efectivo que los antiguos, ya que se basaba en el estudio biomecánico. La meta de los vendajes es favorecer el sostén de las poleas. Tratan de reducir las fuerzas generadas en la polea gracias al incremento del ángulo (Beta) formado entre la polea y los tendones flexores. En efecto, reduce la extensión del bowstringing (Ver Anexo 7). Tras el estudio de los efectos biomecánicos de los vendajes en 8 pacientes, se compararon sus efectos en la fuerza del dedo en 12 pacientes escaladores, con diferentes tipos de roturas de poleas (A2, A4, A2/3, A3/4). El vendaje propuesto por Schweizer (2000) se coloca circularmente alrededor de la falange proximal (Ver Anexo 8). En estudios anteriores, no permitía transmitir fuerzas de sostén a la polea por la presencia de una amplia masa de tejido blando, y actuaba solo en la polea A2. Para el vendaje de Schöffl & Hochholzer (2004), se aplicó con una figura ocho con un cruce de las tiras de cinta sobre la articulación PIP en la parte palmar (Ver Anexo 7). Por último, para colocar este vendaje tipo "H", se divide una cinta de 10 cm en dos tiras distintas longitudinalmente de los dos lados y se deja un puente de 1cm en el medio. Primero, se coloca la parte proximal en la falange proximal. Luego, se flexiona la PIP y se envuelven las dos tiras restantes alrededor de la parte proximal de la falange media (Ver Anexo 9). El "H-tape" es aplicado sobre el centro de rotación de la articulación PIP, es decir el punto donde la distancia entre el tendón y el hueso es mayor. Así, permite una mayor efectividad de la deflexión que el vendaje circular. Para valorar la fuerza, se siguió el protocolo de Köstermeyer y Weineck usando una plataforma de fuerza (18). Evaluaron la fuerza máxima ejercida por el dedo lesionado durante 2s y lo compararon con su lado contralateral sano con y sin vendaje tipo H, en distintas posiciones. Para los análisis estadísticos, se consideró que un nivel de probabilidad de 5 % ($p<0.05$) era significativo. Se observó una fuerza significativamente mayor de 13% en el dedo alterado en la posición de agarre gripado con vendaje que sin vendaje. No hubo diferencia significativa de la fuerza entre el uso de tape y sin vendaje, en la posición de agarre pendiente para el dedo lesionado. Tampoco se destacó efecto del vendaje sobre la fuerza del dedo sano (15).

En el ensayo de **Schneeberger y Schweizer (2016)**, los pacientes efectuaron una automedición de la fuerza de los dedos, 2 meses después de la lesión. Tenían como instrucción traccionar al máximo sobre un marco de puerta con la falange distal de los dedos. Se efectuó el proceso con los dedos índice, medio y anular, de manera combinada en ambas manos, y en las posiciones de gripado y pendiente. La medición de los dedos aislados se realizó solo con el agarre de pendiente, ya que el agarre gripado representa demasiado riesgo de lesión. Se usó una báscula de baño para medir el peso generado. El peso generado por la fuerza del lado lesionado fue convertido en porcentaje del valor del lado sano. Si al menos 1 de las 3 valores obtenidas estaba inferior a 80%, se consideraba que había un déficit de fuerza del dedo tratado. En una media de 34,1 meses después de la lesión, 8 escaladores sobre 43 señalaron una ligera disminución de fuerza. En otras palabras, después de 2 meses de manejo conservador con la férula PPS, más de 4 casos sobre 5 tenían una fuerza normal del lado lesionado. Sin embargo, respecto al lado contralateral, se observó una fuerza del dedo afectado significativamente menor con el agarre en gripado. No hubo diferencia significativa con el agarre tipo pendiente (16).

Bouyer et al. (2016) investigaron sobre un tratamiento operativo seguido de rehabilitación postquirúrgica. El tiempo medio de seguimiento fue de 85 meses después del retorno a la escalada, con un mínimo de 6 meses después. Se midió la fuerza del agarre y de la pinza en posición de gripado 3 veces y se recogió la media de cada una. Los valores resultantes fueron convertidos en el porcentaje de la fuerza de la mano contralateral sana. Considerando que un valor $p < 0.05$ fue estadísticamente significativo, no se observó diferencia significativa entre las dos manos en ambas posiciones (t-test; $P=0,97$ para el agarre en gripado y $P=0,12$ para el agarre en pendiente). De media, la fuerza del agarre en gripado postoperatorio fue de 100% (DE 12) del lado opuesto y de 94% (DE 20) para la fuerza del agarre en pendiente. No informaron de los métodos empleados para esas mediciones (17).

11.4. Objetivo específico 3: Eficiencia de los tratamientos en la recuperación del ROM del dedo lesionado.

Aunque **Schöffl et al (2003)** reportaron obtener muy buenos resultados funcionales, sin mencionar los métodos específicos para medir la recuperación del ROM con el tratamiento conservador propuesto (12).

Posteriormente, en otro estudio, **Schöffl et al (2006)** incluyeron la evaluación de la eficiencia del tratamiento conservador en la recuperación del ROM. Para valorar el ROM de los dedos, se basaron en un protocolo de examinación estándar, comprendiendo la escala de Buck-Gramcko (Ver Anexo 10). Usaron un goniómetro para medir la flexión y extensión de las articulaciones PIP, DIP y MCF de los dedos lesionados y lo compararon con los dedos sanos contralaterales. Se realizaron 3 medidas y se recogió la media. Sobre 27 dedos tratados, 16 (59%) presentaron un ROM completo. Se constató un déficit de ROM de la articulación PIP en 11 sobre 27 de los dedos lesionados (41%). En efecto, se midió una disminución de la extensión de la PIP de 5-10° en 10 dedos y una reducción de

la flexión de PIP de 20° en un caso. Por otra parte, para valorar los resultados funcionales, se refirieron a la escala Buck-Gramcko. Toma en cuenta la distancia punta de dedo-pliegue palmar (o flexión completa), el déficit de extensión y el ROM activo total. Cada medida obtenida está representada por un número de puntos más o menos elevados. La suma de los puntos permite clasificar y atribuir el estado funcional del dedo. Una puntuación de 14-15 significa una función excelente. En este ensayo, todos los dedos lesionados obtuvieron resultados excelentes (distancia punta de dedo-pliegue palmar de 0-2,5 cm, déficit de extensión <30° y ROM activo total >160°) (14).

La investigación de **Schöffl et al. (2007)** no valoró la eficacia del vendaje en la recuperación del ROM (15).

Mediante instrucciones enviadas con el cuestionario, los pacientes estudiados por **Schneeberger y Schweizer (2016)** pudieron realizar automediciones de sus ROM de dedos para poder determinar la eficacia del tratamiento con PPS. Fueron instruidos realizar 3 medidas de los movimientos máximos de flexión y extensión en los dedos tratados y contralaterales. Mediante el uso de un papel y un lápiz, dibujaron los contornos y la posición las articulaciones PIP y DIP de cada dedo en ambas posiciones. Así, pudieron medir los ángulos máximos de cada articulación y compararlos con el lado contralateral. Establecieron una serie de criterios para valorar el ROM del dedo tratado. Si se cumplía al menos 1 de los 7 criterios, el ROM de los dedos se consideraba limitado. En promedio 34,1 meses tras la ruptura de polea, se encontró un déficit de ROM en 7 dedos sobre 42. Además, 6 pacientes reportaron una ligera perturbación del patrón de movimiento. Sin embargo, no hubo diferencia significativa con el lado contralateral en ninguna articulación (16).

Finalmente, **Bouyer et al. (2016)** valoraron el impacto del manejo quirúrgico seguido de tratamiento conservador en el ROM del dedo lesionado. Por medio de un goniómetro, midieron el ROM de todas las articulaciones del dedo tratado, de la muñeca y lo compararon con sus lados contralaterales. Se consideró como anormal la hiperextensión, y como patológico la presencia de un déficit de 10° de extensión y de 20° de flexión respecto al lado sano. 7 pacientes sobre 38 tenían una disminución media de 16° (DE 4) de extensión de la articulación PIP y 1 paciente padecía un déficit de extensión de 14° en la articulación MCF. No obstante, todas las otras articulaciones disponían de un ROM completo en los otros movimientos. Además, la media del ROM activo total fue de 96% (DE 4) respecto al lado opuesto. 3 pacientes perdieron 17° de extensión de muñeca de media y el ROM total activo promedio de la muñeca tratada fue de 99% del lado contralateral. Al igual que en el estudio de Schöffl et al (2006), se basaron en la escala de Buck-Gramcko para evaluar los resultados funcionales de los dedos. Todos los pacientes obtuvieron resultados excelentes (17).

11.5. Objetivo específico 4: Eficiencia de los tratamientos en la disminución de la distancia tendón-falange.

Aunque **Schöffl et al (2003)** reportaron obtener muy buenos resultados funcionales, no mencionaron métodos específicos para medir la TPD (12).

Considerando todavía sólo 3 artículos que evalúan la TPD tras la ruptura del sistema de poleas.

En el artículo de **Schneenberger et al. (2016)**, se realiza en la primera consulta una medición de la TPD en los 39 escaladores con rotura de poleas en un intervalo medio de 18 días (rango 1-83) después de la lesión mediante una ecografía. La TPD se midió en el medio de la falange correspondiente en el plano longitudinal con la palma de la mano hacia arriba y el dedo flexionado contra resistencia (articulación DIP a 10°, articulación PIP a 40°, articulación MCF extendida), realizando captura de pantalla para el análisis posteriormente. En una media de 66,9 días tras la primera consulta, se evaluaron la TPD de los 39 pacientes. Los 24 escaladores con rotura de poleas A2 pasaron de una TPD de 4,4mm en el diagnóstico a 2,3mm tras el tratamiento con PPS. En el caso de las rupturas de poleas A4, los 15 pacientes se encontraron con un TPD de 2,9mm durante la primera consulta y pasaron a 2,1 mm tras el seguimiento, siguiendo un valor p de 0,01. Se observa una disminución significativa de la TPD de las poleas A2 y A4 en los 39 escaladores tras el tratamiento con PPS (16).

En el artículo de **Bouyer et al. (2016)**, se diagnostica la ruptura según la TPD de los pacientes mediante una ecografía. Una TPD superior a 2mm por las poleas A2 y A4 significa una ruptura completa de estas poleas. En la metodología se tomaron como factor significativo $p < 0,05$. Tras 45 días, se realizaba el control del TPD, realizando una ecografía en supinación, en posición de agarre en gripado dinámico con las adquisiciones del plano sagital tanto del dedo lesionado como del dedo contralateral, llamando espacio E la TPD. En los 30 escaladores que recuperaron sus niveles de escalada, el espacio E inferior a 2mm en porcentaje de pacientes fue de 70% ($p = 0,04$) (17).

En el artículo de **Schöffl et al. (2007)**, se evalúa la eficacia sobre la disminución de la TPD mediante la utilización de tres tipos de vendajes diferentes. Un grupo de control sin tape, un grupo experimental con el tape de Schweizer (2000), un grupo con el vendaje de Schöffl & Hochholzer (2004) y el último con el vendaje tipo "H". En todos los grupos se incluyeron los mismos sujetos, 8 en total. Mediante una ecografía se midieron la TPD de todos los sujetos con cada uno de los vendajes, colocando la mano en supinación en una plataforma de madera de manera que solo podían mover el dedo, permitiendo un grado de libertad en flexión y extensión. La TPD se evaluó en flexión forzada utilizando un muelle de tracción (Ver Anexo 11). La TPD de cada sujeto se presenta en la Tabla 3 (Ver Anexo 12). Realizando una media de los TDP por cada tipo de vendaje, se observa una media de 3,77 mm en el grupo sin tape, 3,59 mm en el grupo del tape de Schweizer (2000), 3,7 mm por el

vendaje de Schöffl & Hochholzer (2004) y 3,19 mm por el vendaje tipo "H" ($p < 0,5$). Con el método de la cinta en H, la distancia tendón-hueso fue significativamente menor en un 16% en comparación con el método sin cinta. Los otros dos métodos de cinta no influyeron significativamente en la TPD. En cuanto a la diferencia entre los tres métodos de cinta, sólo la diferencia entre el método de cinta H y los otros dos métodos fue significativa, mientras que el método de Schweizer (2000) no fue significativamente diferente del método propuesto por Schöffl & Hochholzer (2004) (15).

12. DISCUSIÓN.

En esta parte, se analizó los resultados de los estudios incluidos en la revisión bibliográfica. A continuación, se discuten estos resultados para responder a los objetivos pautados. El propósito principal es aportar informaciones sobre las técnicas actuales utilizadas para tratar las lesiones de poleas en escaladores. Específicamente, se analiza la eficacia de los tratamientos conservadores sobre las siguientes variables: la recuperación del nivel de escalada, de la fuerza, del ROM del dedo lesionado y de la TPD.

Los resultados de las investigaciones demuestran la eficacia de los diferentes métodos conservativos como quirúrgicos en el tratamiento de las lesiones de poleas en los escaladores de roca. Se elige el protocolo adecuado en función del grado de la lesión, basado en la clasificación de Schöffl et al. (2003). Según su opinión, los tratamientos conservadores tienen que aplicarse a todos los escaladores lesionados y principalmente de grado I a III. Además, según su diagnóstico, recomienda el uso de la cirugía en las rupturas de grado IV.

En primer lugar, la información más importante de esta revisión fue la alta tasa de vuelta al **nivel previo de escalada** utilizado como referencia en todos los artículos. El uso único de la PPS por Schneeberger et al. (2016) ha permitido una recuperación del nivel de escalada más complejo alcanzado en los últimos cuatro años por el sujeto en una media de 8,8 meses. En el caso de Schöffl et al. (2006), la utilización de su terapia adecuada mediante vendaje no específico proporcionó a los sujetos una vuelta al nivel previo de escalada en 1 año. El plan de tratamiento propuesto por Schöffl et al. (2003) varía en función del grado de la lesión con métodos conservativos y tiempo de aplicación diferentes. La intervención conservativa incluye: inmovilización inicial, antiinflamatorios, elevación, terapia funcional temprana, protección con vendaje o férula. De manera general, una mayor gravedad de la lesión requiere un tiempo de recuperación más prolongado. El tiempo de retorno a la actividad previa varía entre 6 semanas a 3 meses en función del grado de la lesión con una necesidad de mantener el dedo vendado durante 3 a 6 meses. En cuanto a los sujetos con lesiones de grado 4 tratados con cirugía, se observa una heterogeneidad más importante entre los tiempos de recuperación con una media de 6 meses. Además, los escaladores han requerido el uso de vendaje durante más de 12 meses para la práctica de la escalada. Profundizado en el tema de la cirugía, Bouyer et al. (2016) han destacado un protocolo que incluye: una intervención cirugía, una

inmovilización con férula, una rehabilitación física y la colocación de vendaje. En una media de 6,4 meses, 79% de los sujetos han conseguido practicar el mismo nivel de escalada. Esta recuperación fue más frecuente en los escaladores de pasatiempo (63%) que entre los escaladores profesionales (43%) (12,14,16,17).

En cuanto a la recuperación de la **fuerza del dedo lesionado**, todas las investigaciones tuvieron buenos resultados. El tratamiento propuesto por Schöffl et al. garantizó el restablecimiento de la fuerza, después de 3 a 6 meses de tratamiento (12,14). Así, demostraron la eficacia de los métodos conservativos en caso de lesiones de poleas simples. A continuación, en su artículo de 2007, demuestra que el uso de vendaje, especialmente el de tipo H, favoreció el incremento de fuerza del dedo afectado en la posición de agarre gripado (15). Además, Brynne Dykes et al. (2019) pone en evidencia que el uso del H-tape aumenta la activación muscular del FDP y FDS en escaladores no lesionados (19). El uso de PPS permitió conseguir una fuerza normal en 80% de los casos, pero mostró un déficit de fuerza del dedo afectado en comparación con el lado contralateral con el agarre en gripado (16). Igualmente, Bouyer et al. (2016) han observado que el tratamiento quirúrgico no impacta de manera significativa la recuperación de la fuerza normal (17).

Respecto al restablecimiento del **ROM del dedo lesionado**, se ha puesto en evidencia que todos los tipos de tratamiento podrían conllevar a un ligero déficit del ROM en las articulaciones interfalángicas. Sin embargo, estas limitaciones se encontraron en poca cantidad de individuos no pareció impedir una recuperación funcional excelente del dedo. En efecto, Schöffl et al. (2006) describieron una recuperación del ROM completo en 59% de los dedos tratados con métodos conservativos. Aunque, han observado un déficit de ROM de la PIP en 41 % de los sujetos. Sin embargo, los resultados funcionales permanecieron excelentes en la escala de Buck-Gramcko (Ver Anexo 10) (14). Además, el tratamiento conservativo con uso de PPS demostró proporcionar un ROM completo del dedo en 80% de los sujetos y no hubo diferencia significativa entre lados (16). Además, Bouyer et al. (2016) encontraron un ROM total postoperatorio del dedo tratado correspondiendo al 99% del contralateral. En algunos casos, observaron un déficit de ROM en las articulaciones PIP, DIP o muñeca. Explican estas limitaciones por la presencia de cicatrices y la hinchazón del tejido blando provocado por la operación. Todos los pacientes alcanzaron excelentes resultados en la escala de Buck-Gramcko. Estos resultados subrayan la importancia de llevar a cabo una terapia funcional activa temprana, tras una inmovilización o cirugía en función del grado de lesión (17).

Finalmente, la **TPD** es un marcador biomecánico clave para evaluar la integridad del sistema de poleas. En caso de lesión de polea, su disminución puede facilitar la recuperación funcional y la reintegración deportiva. El análisis anatómico por ultrasonidos ha permitido objetivar que una reducción de la TPD por debajo de 2mm era un factor predictivo en el retorno al nivel previo de escalada (17). No todos los tipos de tratamientos resultaron eficientes para asegurar esta disminución. Con el tratamiento conservador propuesto por Schöffl et al. (2003), la TPD se mantuvo constante (12). Sin embargo, un manejo conservativo con el uso de PPS o vendajes mostró ser eficaz para producir esta reducción, indicando un mejor alineamiento y soporte del tendón (15,16). En efecto, la PPS ha reducido significativamente la TPD en todos los dedos tras dos meses de

aplicación, aunque la TDP se quedaba superior a 2mm. Igualmente, todos los tipos de vendajes disminuyeron la media de la TPD, pero solo el método H-taping resultó efectivo para favorecer una reducción significativa (de 16%) comparado a los dos otros tipos. En cuanto al método operativo de Bouyer et al., proporcionó una disminución significativa de la TPD (2 mm de reducción en promedio). Estimando que una TPD < 2mm representaba la corrección del bowstringing, la cirugía podría conferir una corrección importante pero inconsistente. Efectivamente, lo corrigió en el 70% de los sujetos que recuperan sus niveles de escalada previo. Justifican las ausencias de corrección por un error en la posición del injerto (17).

Aunque no forma parte de nuestros objetivos, el dolor y la satisfacción del paciente frente al tratamiento es también importante. Se ha visto que las estrategias conservativas permitieron una remisión del dolor pocos meses después del tratamiento, en la mayoría de los pacientes. En los estudios de Schöffl et al. (2003), 8% de los pacientes tratados conservativamente tuvieron un dolor persistente 3 meses después por tenosinovitis. Pero, se resolvió por inyecciones locales de cortisona y reposo adicional, y no impidió retornar al nivel previo de escalada (12). En su investigación posterior, 8 pacientes sobre 27 reportaron problemas ocasionales al escalar y solo 2 durante la vida diaria (14). Igualmente, con el uso de PPS, tres cuartos de los pacientes reportaron una liberación completa del dolor durante o después de escalar (16). Respecto al método quirúrgico, Bouyer et al. notaron un dolor persistente después del tratamiento en 10 pacientes sobre 38 (17). Aunque en ambos tipos de tratamiento, el **nivel de satisfacción** de los pacientes es muy alto en general, la reparación quirúrgica expone a los pacientes a mayor riesgo de padecer **efectos secundarios o complicaciones**. Las observaciones de Bouyer et al. (15 casos sobre 38 padecen efectos adversos y complicaciones) prueba este aspecto y corresponden a otras investigaciones con el manejo operativo (17,21). Las intervenciones quirúrgicas se asocian a riesgos de alteraciones neurovasculares, infecciones, formación de cicatrices, adherencias, y fallo del injerto o dolor en la zona donante.

En términos generales, la evidencia científica destacó la eficiencia del tratamiento conservativo en cuanto a la recuperación funcional, biomecánica y deportiva. Aunque los protocolos fisioterapéuticos con terapia funcional solo permitieron mantener la TPD estable sin disminuirla, no repercutió de manera negativa sobre la recuperación de la funcionalidad y del nivel previo a la escalada (12,14). Sin embargo, la utilización de PPS dentro del tratamiento conservador ha ofrecido excelentes resultados para reducir la TDP, aportando una fuerte compresión del dedo. Por consecuencia, facilita el proceso de reparación de la polea. A la vez, su forma previene las alteraciones neurológicas y obstrucción de la circulación del dedo. En cuanto a los vendajes, la reducción de la TPD es el principal objetivo. Ayudan a disminuir las fuerzas ejercidas sobre las poleas restantes. Así, limitan la fricción generada entre el tendón y la polea y previene el desarrollo de otras alteraciones (ej: tendinitis). También, confieren estabilidad y seguridad a los escaladores y pueden tener una implicación tanto terapéutica como preventiva. Los vendajes tipo H alcanzaron los resultados más eficientes (15). Este efecto terapéutico puede explicarse, en parte, por la relación biomecánica entre la TPD y la generación de fuerza. Cuanto menor es esta distancia, mayor es la fuerza que se puede generar, ya que el tendón actúa más cerca del eje articular, optimizando así la

transmisión de la fuerza muscular en forma de movimiento. Por tanto, en la planificación de un tratamiento conservador, no es suficiente enfocarse exclusivamente en la recuperación de la fuerza muscular. Es igualmente crucial abordar la restauración funcional de la TPD mediante intervenciones que promuevan el deslizamiento tendinoso, prevengan adherencias y mantengan la alineación biomecánica del aparato flexor. Trabajar ambos aspectos (fuerza y TDP) resulta esencial para optimizar la recuperación funcional y prevenir el déficit de flexión a largo plazo. Ehiogu et al. propusieron un comentario clínico, con el fin de establecer un protocolo de rehabilitación de las lesiones anulares de los dedos en los escaladores, desde una perspectiva de fuerza y acondicionamiento. El proceso de recuperación se basa en una aumentación progresiva de la carga en función de la fase de recuperación. Dividen la rehabilitación en 5 fases que se extienden durante 16 semanas. La primera fase se centra en la activación muscular, aliviando el dolor durante 3 semanas. Empieza por ejercicios isométricos a 70% de la contracción voluntaria máxima según la tolerancia del paciente al dolor. A veces, implica una inmovilización parcial. Entre la cuarta y sexta semanas, se introducen ejercicios isotónicos con baja carga, trabajando primero todos los dedos y luego enfocándose sobre el lesionado. Las cargas aumentan progresivamente a lo largo del proceso, integrando ejercicios específicos a la escalada fuera de la pared (6-10 semanas), seguido por ejercicios balísticos (6-14 semanas). Al inicio, se evita el agarre en gripado. Sugieren un retorno progresivo a la escalada a partir de la 7ª semana, con un trabajo técnico adaptado (20).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, la literatura actual pone de relieve la posibilidad de recuperar la funcionalidad normal del dedo, así como el nivel de escalada previo a la lesión, sin necesidad de recurrir a una intervención quirúrgica, incluso en caso de ruptura completa de las poleas. Los fallos del tratamiento conservativo parecen limitarse a casos particulares. Por otra parte, presenta la ventaja de evitar los riesgos notables relacionados al tratamiento quirúrgico. Por tanto, este último sólo debería considerarse en caso de fracaso del tratamiento conservador, en presencia de síntomas persistentes o de lesiones complejas múltiples con bowstringing clínico.

13. LIMITACIONES

El crecimiento reciente de la escalada deportiva, especialmente tras su inclusión en el programa olímpico de Tokio 2020, ha conllevado un notable aumento en la incidencia de lesiones específicas de la práctica, entre ellas las rupturas de las poleas del sistema flexor de los dedos. A pesar de su actual prevalencia, se trata de una patología donde la descripción en la literatura médica es relativamente reciente. La primera identificación formal de estas lesiones fue realizada por Bollen y Tropet et al. en 1990, y su sistematización clínica y terapéutica fue posteriormente desarrollada por Schöffl et al. en 2003.

Este contexto de descubrimiento relativamente tardío implica que gran parte de la bibliografía existente sobre las rupturas de poleas se basa en estudios antiguos, que pueden no reflejar los cambios contemporáneos en las cargas de entrenamiento, las técnicas de escalada ni los avances en

fisioterapia deportiva. Así, la extrapolación de sus resultados a la realidad actual de los escaladores debe hacerse con precaución.

Asimismo, se observa una falta considerable de investigaciones específicas en este ámbito. La mayoría de los estudios disponibles se basan en muestras reducidas, diseños retrospectivos o series de casos, careciendo de ensayos clínicos aleatorizados y de alto nivel de evidencia. Esta limitación metodológica compromete la posibilidad de establecer protocolos de tratamiento estandarizados adaptados a las grandes poblaciones de escaladores.

Consecuencia directa de esta falta de evidencia sólida es la predominancia actual del tratamiento quirúrgico frente al tratamiento conservador. La ausencia de comparaciones directas y sistemáticas entre tratamientos conservadores y quirúrgicos ha limitado su implementación clínica, a pesar de los resultados prometedores observados en algunos estudios recientes. Detallan la necesidad urgente de promover nuevos trabajos de investigación que validen terapias menos invasivas y permitan optimizar el manejo de estas lesiones en el contexto de la escalada moderna.

14. FUTURAS INVESTIGACIONES

A continuación, se detallan posibles áreas de investigación futura derivadas de esta revisión bibliográfica:

- Ampliar las investigaciones sobre el tratamiento conservador en este campo mediante el aumento del tamaño de la muestra.
- Realizar estudios que se enfocan en una única modalidad terapéutica específica en un grupo experimental en comparación a un grupo de control.
- Ampliar las investigaciones que comparan los métodos conservativos e invasivos para optimizar el manejo de estas lesiones en la escalada actual.

Por nuestra propia parte, después de la obtención de nuestro título, estaremos interesadas para especializarnos en la fisioterapia enfocada en el tratamiento de la mano. Gracias a la realización de este TFG, hemos observado una falta de investigación sobre nuestro tema y queremos participar en la amplificación de los conocimientos sobre esta patología. Nuestro futuro proyecto, será la realización de un protocolo conservador y su experimentación sobre la ruptura de poleas como trabajo final del máster.

15. CONCLUSIONES.

A través de esta revisión bibliográfica ha puesto de manifiesto la importancia del tratamiento fisioterapéutico en la recuperación funcional de los escaladores con rotura de la polea flexora de los dedos. Los resultados de los estudios analizados muestran que tanto los tratamientos conservadores como los quirúrgicos son eficaces para restablecer el nivel previo de escalada, recuperar la fuerza y la amplitud de movimiento (ROM) de los dedos lesionados y reducir la distancia tendón-hueso (TPD).

El tratamiento conservador, que combina la inmovilización inicial, la terapia funcional precoz, la protección mediante órtesis o vendajes y el retorno gradual a la actividad, ha demostrado una especial eficacia en las lesiones de grado I a III según la clasificación de Schöffl et al. (2003). Además, el uso de herramientas como la férula de protección de la polea (PPS) y el vendaje en «H» ha demostrado un impacto positivo en la biomecánica digital, favoreciendo una reducción significativa de la TPD y contribuyendo así a una recuperación más segura.

Por otra parte, para las lesiones más graves (grado IV), la cirugía seguida de reeducación fisioterapéutica sigue siendo la estrategia terapéutica de elección, con buenos resultados funcionales, aunque con una variabilidad mayor en la recuperación completa de la biomecánica del dedo.

Sin embargo, este estudio también ha puesto de relieve una serie de limitaciones actuales en la literatura científica: la escasez de estudios de alta calidad metodológica, las muestras de tamaño reducidos y la predominancia histórica de los tratamientos quirúrgicos sobre los tratamientos conservadores claramente protocolizados. Esta falta de evidencia sólida sigue limitando el desarrollo de recomendaciones clínicas eficaces para el manejo de estas lesiones en escaladores.

En conclusión, el tratamiento fisioterapéutico, especialmente cuando incorpora medidas de protección biomecánica adecuadas y protocolos de rehabilitación progresiva, representa una herramienta fundamental para la recuperación funcional y deportiva de los escaladores con rotura de polea. Son necesarios más estudios prospectivos y controlados para consolidar la evidencia existente, optimizar los programas de rehabilitación y permitir una práctica basada en la evidencia que favorezca la recuperación integral de estos deportistas.

16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

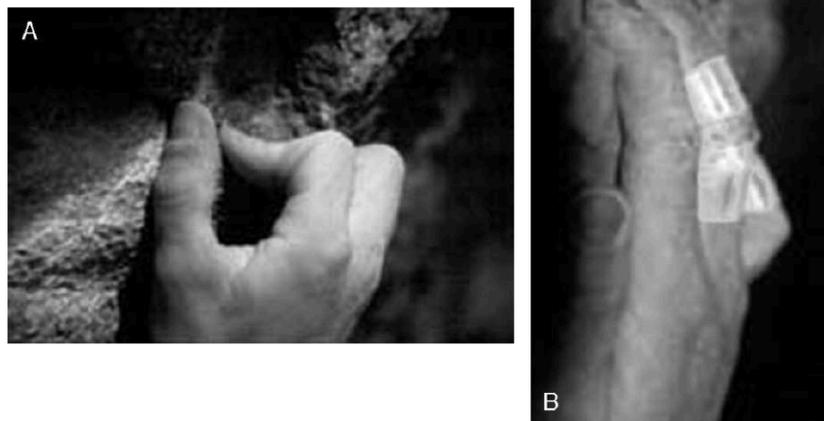
1. Artiaco S, Bosco F, Lusso A, Cioffi LL, Battiston B, Massè A. Flexor Tendon Pulley Injuries: A Systematic Review of the Literature and Current Treatment Options. *J Hand Microsurg.* 2023;15(4):247-52.
2. Miro PH, vanSonnenberg E, Sabb DM, Schöffl V. Finger Flexor Pulley Injuries in Rock Climbers. *Wilderness Environ Med.* 2021;32(2):247-58.
3. Mosquera Matta MC, Ocampo-Loaiza JJ, Vélez-Cano D, Montoya Cobo E. Descripción anatómica del sistema de poleas digitales de la mano. Impacto funcional ante la lesión. *Salutem Scientia Spiritus.* 2023;9(1):88-96.
4. Zafonte B, Rendulic D, Szabo RM. Flexor pulley system: anatomy, injury, and management. *J Hand Surg.* 2014;39(12):2525-32; quiz 2533.
5. Bosco F, Giustra F, Lusso A, Faccenda C, Artiaco S, Massè A. Closed flexor pulley injuries: A literature review and current practice. *J Orthop.* 2022;34:246-9.
6. Theumann N, Meunier M. Hand and Fingers. En: Pedowitz RA, Chung CB, Resnick D, editores. *Magnetic Resonance Imaging in Orthopedic Sports Medicine* [Internet]. New York, NY: Springer; 2008 [citado 1 de febrero de 2025]. p. 241-72. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-0-387-48898-1_8
7. Vigouroux L, Quaine F, Labarre-Vila A, Moutet F. Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. *J Biomech.* 2006;39(14):2583-92.
8. Schweizer A. Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *J Biomech.* 2001;34(2):217-23.
9. Van Middelkoop M, Bruens M, Coert J, Selles R, Verhagen E, Bierma-Zeinstra SM, et al. Incidence and Risk Factors for Upper Extremity Climbing Injuries in Indoor Climbers. *Int J Sports Med.* 2015;36(10):837-42.
10. King EA, Lien JR. Flexor Tendon Pulley Injuries in Rock Climbers. *Hand Clin.* 2017;33(1):141-8.
11. Shapiro LM, Kamal RN. Evaluation and Treatment of Flexor Tendon and Pulley Injuries in Athletes. *Clin Sports Med.* 2020;39(2):279-97.
12. Schöffl V, Hochholzer T, Winkelmann HP, Strecker W. Pulley Injuries in Rock Climbers. *Wilderness Environ Med.* 2003;14(2):94-100.

13. Berrigan W, White W, Cipriano K, Wickstrom J, Smith J, Hager N. Diagnostic Imaging of A2 Pulley Injuries: A Review of the Literature. *J Ultrasound Med.* 2022;41(5):1047-59.
14. Schöffl VR, Einwag F, Strecker W, Schöffl I. Strength Measurement and Clinical Outcome after Pulley Ruptures in Climbers. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(4):637.
15. Schöffl I, Einwag F, Strecker W, Hennig F, Schöffl V. Impact of taping after finger flexor tendon pulley ruptures in rock climbers. *J Appl Biomech.* 2007;23(1):52-62.
16. Schneeberger M, Schweizer A. Pulley Ruptures in Rock Climbers: Outcome of Conservative Treatment With the Pulley-Protection Splint—A Series of 47 Cases. *Wilderness Environ Med.* 2016;27(2):211-8.
17. Bouyer M, Forli A, Semere A, Chedal Bornu BJ, Corcella D, Moutet F. Recovery of rock climbing performance after surgical reconstruction of finger pulleys. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016;41(4):406-12.
18. Köstermeyer G. Necessity of one-finger-training for the increase of performance in climbing. Comparison of force development between one- and four-finger maximum voluntary contraction. *Dtsch Z Für Sportmed.* 1995;46(7/8):S. 356-362.
19. Dykes B, Johnson J, San Juan JG. Effects of finger taping on forearm muscle activation in rock climbers. *J Electromyogr Kinesiol.* 2019;45:11-7.
20. Ehiogu UD, Schöffl V, Jones G. Rehabilitation of Annular Pulley Injuries of the Fingers in Climbers: A Clinical Commentary. *Curr Sports Med Rep.* 2023;22(10):345.
21. Arora R, Lutz M, Haug L, Struve P, Deml C, Gabl M. [Secondary reconstruction of the digital A2-flexor pulley]. *Oper Orthopadie Traumatol.* 2013;25(5):499-504.
22. Rock Climbing - UIAA [Internet]. 2023 [citado 22 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.theuiaa.org/grades-standards/rock-climbing/>

17. ANEXOS.

Anexo 1:

Figura 4. Posiciones de manos y dedos estudiadas para evaluar la fuerza: posición del agarre en gripado (A) y en pendiente (B).



Fuente : (14)

Anexo 2:

Tabla 3. Clasificación de lesiones de poleas (lesiones cerradas) según Schöffl et al.

Grado	Lesión
1	Distensión de la polea
2	Rotura completa de A4 o parcial de A2 o A3
3	Rotura completa de A2 o A3
4	Rotura múltiple (como A2/A3, A2/A3/A4) o única (como A2 o A3) combinada con traumatismo del músculo lumbricalis o del ligamento colateral

Leyenda : Clasificación de lesiones de poleas de grado 1 a 4

Fuente : Elaboración propia.

Anexo 3:

Tabla 4. Tabla de resumen de los artículos incluidos en el trabajo de fin de grado.

TÍTULO	AUTORES	AÑO DE PUBLICACIÓN	TIPO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	INTERVENCIÓN	VARIABLES DE INTERÉS	RESULTADOS
Pulley Injuries in Rock Climbers	Schöfl et al.	2003	Artículo de investigación	N=604 escaladores con lesiones agudas o síndromes de sobreuso N=87 escaladores con lesiones de polea 122 rupturas de poleas	<u>Grado I:</u> terapia funcional temprana + tape (2-4 semanas) + retorno progresivo al deporte tras 4 semanas (retorno completo en 6 semanas) con tape hasta 3 meses. <u>Grado II:</u> mismo que anteriormente con inmovilización inicial (10 días). <u>Grado III:</u> mismo que anteriormente con antiinflamatorios + elevación + inmovilización inicial (10-14 días) con férula en termoplástico (4 semanas) + retorno progresivo al deporte tras 6-8 semanas (retorno completo en 3 meses) con vendaje hasta 6 meses. <u>Grado IV:</u> Reparación quirúrgica + Rehabilitación postquirúrgica (mismo tratamiento conservativo que anteriormente con mayor tiempo de retorno al deporte)	<u>Recuperación del nivel de escalada:</u> UIAA, convertida en escala métrica <u>Dolor y resultados funcionales:</u> Cuestionario estandarizado, protocolo de examen clínico <u>TPD:</u> Ultrasonidos o IRM	<u>Tratamiento conservativo:</u> - 73 sobre 80 recuperaron el nivel previo de escalada. 6 siguiendo vendarse hasta 12 meses después. 7 con dolor persistente al escalar (resuelto en 3 meses). - Corrección del déficit de fuerza inicial tras 3-6 meses. - Buenos resultados funcionales <u>Tratamiento quirúrgico:</u> - 1 sobre 7 pacientes recuperó el nivel de escalada previo con resultados muy satisfechos, 3 pacientes con buenos resultados y 1 con resultados deficientes. Todos siguiendo vendarse.
Strength Measurement and Clinical Outcome after Pulley Ruptures in Climbers	Schöfl et al.	2006	Artículo de investigación	N=21 escaladores 27 rupturas de poleas de grado 2-4	Tratamiento conservativo (propuesto en el estudio anterior)	<u>Nivel de rendimiento específico del deporte:</u> escala UIAA <u>ROM del dedo:</u> goniómetro (con escala de Buck-Gramcko) <u>TPD:</u> examen por ultrasonidos <u>Fuerza del dedo:</u> protocolo de Köstermeyer y Weineck con plataforma de fuerza	- Recuperación del nivel de escalada previo en 1 año. - No diferencia significativa entre la fuerza relativa del dedo lesionado y el respectivo sano. - Recuperación del ROM completo de la articulación PIP en 59% de los pacientes. - No diferencia en la TPD después el tratamiento. - Resultado clínico de bueno a excelente. ➔ Se recomienda el tratamiento no quirúrgico para las roturas simples de polea.

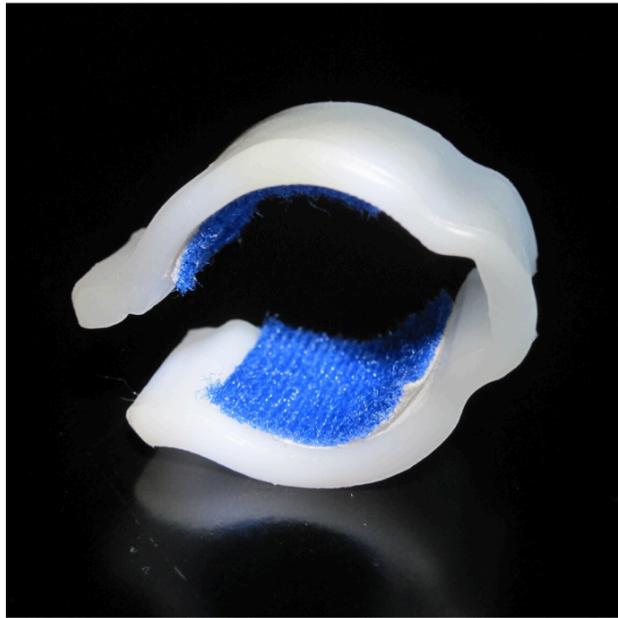
Impact of Taping After Finger Flexor Tendon Pulley Ruptures	Schöfl et al.	2007	Ensayo clínico	<u>Examinación por ultrasonidos</u> : N=8 escaladores con rupturas de poleas (simples de A2 o múltiples A2/A3) <u>Medición de la fuerza</u> : N=12 escaladores con diferentes lesiones de poleas ≥ 1 año	Comparación de 3 tipos de vendajes (circular, 8, y el nuevo "H-tape") y sin vendaje	TPD: examen por ultrasonidos <u>Fuerza del dedo</u> : protocolo de Köstermeyer y Weineck con plataforma de fuerza	- Aumento significativo de 13% de la fuerza con vendaje vs sin vendaje en agarre gripado. - H-tape reduce significativamente la TPD (-16%) vs los otros vendajes no.
Outcome of Conservative Treatment With the Pulley-Protection Splint	Schneberger y Schweizer	2016	Artículo de investigación	N= 45 escaladores con 47 rupturas de poleas, <6 meses antes del estudio	Tratamiento conservador con "pulley-protection splint" (PPS), llevada 2 meses	TPD: examen por ultrasonidos <u>ROM</u> : automedidas con papel <u>Fuerza del dedo</u> : automedida con báscula de baño <u>Recuperación del nivel de escalada</u> : UIAA, convertida en escala métrica <u>Evaluación subjetiva</u> (Dolor, efectos adversos, satisfacción): cuestionario	- 38 sobre 43 recuperaron su nivel de escalada 8,8 meses tras la ruptura en media. - No diferencia significativa del ROM y fuerza del dedo entre los lados. - 1 paciente reportó reducción de la destreza. - Terapia con PPS reduce significativamente la TPD. - 39 notaron sus resultados como buenos y 4 muy buenos.
Recovery of rock climbing performance after surgical reconstruction of finger pulleys	Bouyer et al.	2015	Artículo de investigación	N= 38 escaladores de alto nivel con lesiones cerradas de poleas	Tratamiento quirúrgico (injerto de retináculo extensor) + Rehabilitación postquirúrgica: inmovilización articulación MCP y muñeca con férula durante 45 días, anillo externo termoplástico durante 90 días, fisioterapia diaria	<u>Nivel de escalada</u> : escala UIAA TPD: examen por ultrasonidos, tomografía o IRM <u>ROM del dedo</u> : goniómetro (con escala de Buck-Gramcko) <u>Evaluación subjetiva</u> : cuestionario y examen	- 30 pacientes volvieron su nivel previo de escalada. - No diferencia significativa en la fuerza de agarre o de pinza entre los lados. - ROM total activo de 96% del lado opuesto → ligera limitación de la extensión del PIP y el MCP. - Corrección del bowstringing en 18 pacientes. - Remisión del dolor y alto nivel de satisfacción.

Leyenda: N: número de participantes; TPD: *Tendon Phalange Distance* (distancia tendón falange); UIAA: Unión Internacional de las Asociaciones de Alpinismo; ROM: *range of movement* (rango de movimiento); IRM: imagen por resonancia magnética, PIP: *proximal interphalangeal* (interfalange proximal); MCP: *metacarpophalangeal* (metacarpofalángica).

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4:

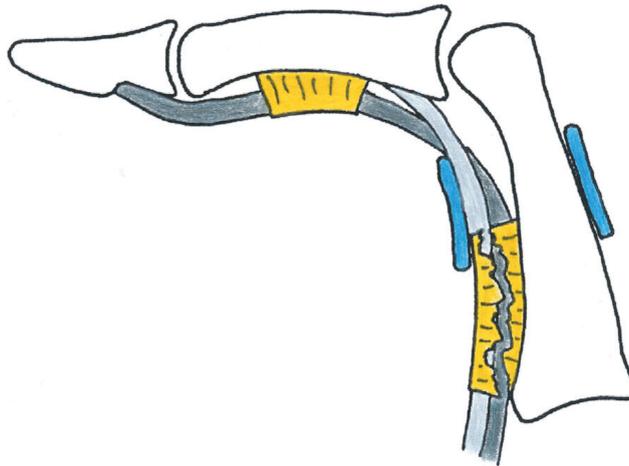
Figura 5. PPS con acolchado en las zonas de contacto para proporcionar un ajuste cómodo.



Fuente : (16)

Anexo 5:

Figura 6. Zona de colocación de la PPS.



Leyenda: La férula de protección de la polea obliga a los tendones flexores a volver a su posición habitual cerca de las falanges. La reducción de la flexión más eficaz se consigue cuando la férula se coloca justo al lado de la articulación interfalángica proximal, aquí en caso de rotura de la polea A2.

Fuente : (16)

Anexo 6:

Tabla 5: UIAA Grado de dificultad en escalada de roca.

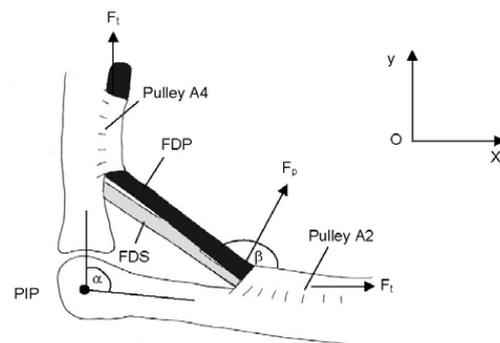
Grado de UIAA	Nivel (Superior/Inferior)	Descripción de los grados UIAA
I	(+ / -)	Es el tipo de escalada más fácil. Se requiere el uso frecuente de las manos para mantener el equilibrio y se debe confiar en los agarres de pies y manos
II	(+ / -)	Aquí comienza la verdadera escalada, que requiere el movimiento de una extremidad a la vez y una adecuada configuración de los movimientos. Los agarres y apoyos siguen siendo abundantes
III	(+ / -)	La estructura rocosa, ya más escarpada o incluso vertical, ofrece agarres y apoyos los más raros y ya puede requerir el uso de la fuerza. Típicamente los pasos no se resuelven todavía de manera obligada
IV	(+ / -)	Los agarres y apoyos se vuelven más raros y/o pequeños. Requiere una buena técnica de escalada aplicada a las distintas estructuras rocosas (chimeneas, grietas, rincones, etc.), así como un cierto grado de entrenamiento específico.
V	(+ / -)	Los agarres y apoyos son muy raros y pequeños. La escalada se vuelve delicada (losas, etc.) o dura (por oposición o enclavamiento en fisuras y chimeneas). Suele requerir el examen previo del paso
VI	(+ / -)	Los asideros y/o apoyos son pequeños y están dispuestos de forma que exigen una combinación particular de movimientos bien estudiada. La estructura rocosa puede obligar a escalar cada vez más delicado o muy duro donde sobresalga. Requiere un entrenamiento especial y una fuerza considerable en brazos y manos
VII	(+ / -)	Hay asideros y / o soportes muy pequeños y muy espaciados. Requiere un entrenamiento sofisticado con especial desarrollo de la fuerza de los dedos, habilidad en el equilibrio y técnicas de agarre
VIII	(+ / -)	A partir del VIII las dificultades aumentan hasta el nivel extremo actual (XI)

Leyenda : UIAA, International Union of Alpine Associations; Escala UIAA abierta.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7:

Figura 7. Biomecánica de las poleas A2 y A4 durante la flexión de los dedos.



Leyenda: Las dos poleas A2 y A4 deforman el recorrido de los dos tendones (FDP y FDS) con el ángulo de deflexión β y la tensión en los dos tendones F_t y la fuerza resultante que actúa sobre las dos poleas F_p en el plano sagital para la junta PIP.

Fuente : (15)

Anexo 8:

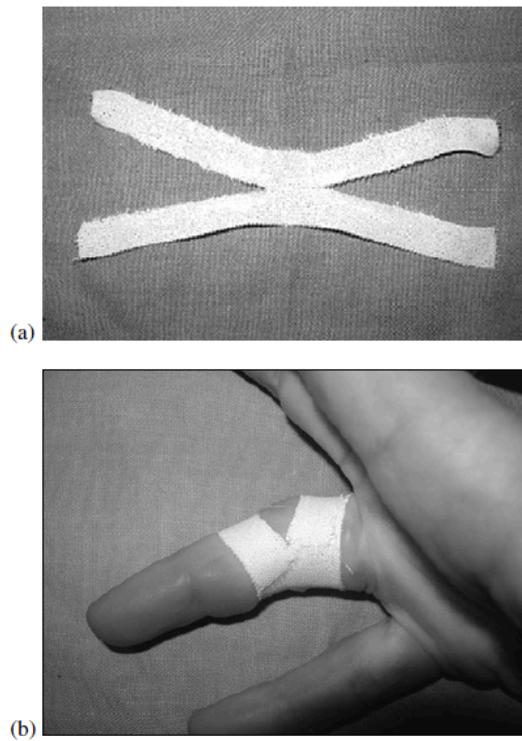
Figura 8. Vendaje diseñado por Schöffl (dedo medio) y Schweizer (dedo anular).



Fuente : (15)

Anexo 9:

Figura 9: Patrón del nuevo vendaje "H-tape" (a) y "H-tape" aplicado en el dedo anular de la mano derecha (b).



Fuente : (16)

Anexo 10:

Tabla 6. Escala de Buck-Gramcko.

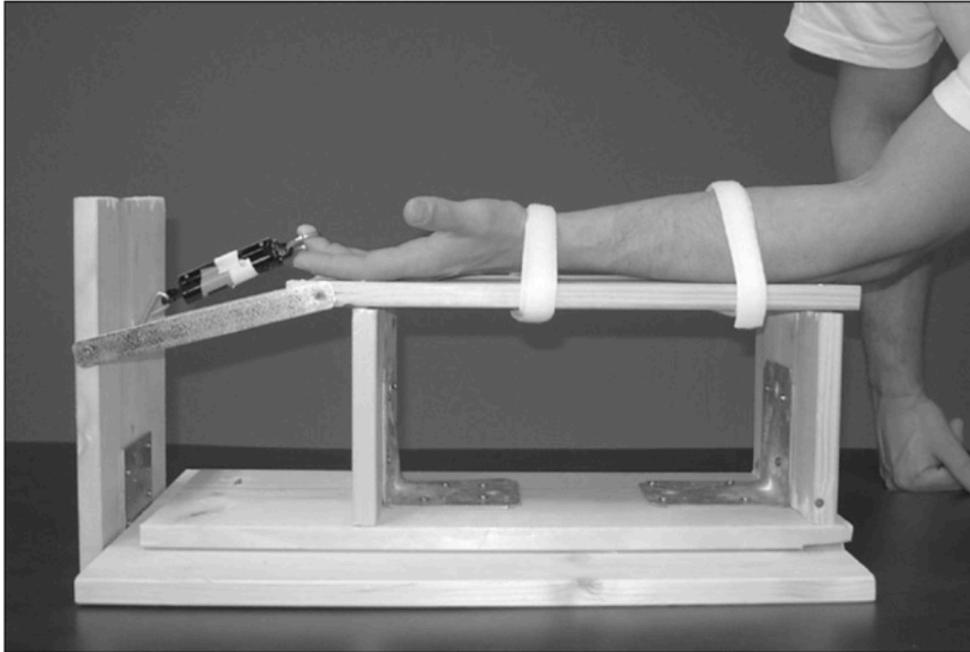
Medición de los dedos II-IV	Puntos
Distancia y flexión completa entre yema del dedo y pliegue palmar	
0–2,5 cm / $\geq 200^\circ$	6
2,5–4 cm / $\geq 180^\circ$	4
4–6 cm / $\geq 150^\circ$	2
>6 cm / $< 150^\circ$	0
Déficit de extensión	
0–30°	3
31–50°	2
51–70°	1
>70°	0
Rango de movimiento	
$\geq 160^\circ$	6
$\geq 140^\circ$	4
$\geq 120^\circ$	2
$< 120^\circ$	0

Legenda: Clasificación: 14-15 puntos, excelente; 11-13 puntos, bueno; 7-10 puntos, justo, 0-6 puntos, pobre.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11:

Figura 10. Dispositivo de medición normalizado (balanza de resorte) para determinar la distancia tendón-hueso de cada sujeto.



Fuente: (15)

Anexo 12:

Tabla 7. Medias de las mediciones ecográficas de los tres ensayos (n = 8) sin cinta y con cinta aplicada según los tres métodos de vendaje

Sujeto	TPD sin cinta (mm)	TPD con cinta Schweizer (mm)	TPD con cinta Schöffl (mm)	TPD con H-cinta (mm)
1	4,00 (0,10)	4,03 (0,06)	4,03 (0,06)	3,73 (0,21)
2	3,63 (0,06)	3,63 (0,06)	3,67 (0,06)	2,77 (0,35)
3	3,70 (0,00)	3,67 (0,10)	3,70 (0,12)	3,17 (0,21)
4	5,03 (0,06)	5,20 (0,17)	5,00 (0,10)	4,83 (0,12)
5	3,27 (0,12)	3,03 (0,06)	3,07 (0,12)	2,77 (0,06)
6	3,00 (0,36)	2,67 (0,23)	3,17 (0,21)	3,03 (0,25)
7	3,13 (0,15)	2,17 (0,33)	2,60 (0,23)	1,53 (0,23)
8	4,37 (0,05)	4,33 (0,06)	4,37 (0,15)	3,67 (0,06)
M	3,77	3,59	3,7	3,19*
DE	0,68	0,97	0,77	0,95

Legenda: TPD, Tendón Phalange Distance; DE, Desviación estándar; M, Media; *p < 0,05

Fuente: Elaboración propia.