

Tesis Doctoral

Diagnóstico ecográfico de las roturas aisladas de las poleas anulares A2 o A4

Facultad de Educación y Salud

Autor

Xeber Iruretagoiena Urbieta

Directores

Dra. Elena Sonsoles Rodríguez López

Dr. Ángel Oliva Pascual Vaca

Tutor

Dr. Juan Pablo Hervás Pérez



FACULTAD DE EDUCACIÓN Y SALUD

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

DIAGNÓSTICO ECOGRÁFICO DE LAS ROTURAS AISLADAS DE LAS POLEAS ANULARES A2 O A4

AUTOR

XEBER IRURETAGOIENA URBIETA

DIRECTORES

Dra. ELENA SONSOLES RODRÍGUEZ LÓPEZ

Dr. ÁNGEL OLIVA PASCUAL VACA

TUTOR

Dr. JUAN PABLO HERVÁS PÉREZ

Madrid 2021

A Javier De la Fuente, Marc Blasi y Fernando Dávila por abrirme las puertas
de la investigación y compartir vuestra pasión por la ciencia.

A Elena Sonsolos Rodríguez por guiarme y cuidarme en todo el proceso.

A Leire, mi familia, Asier y mis amigos por vuestro apoyo incondicional.

Eskerrik asko.

"El conocimiento y la habilidad suman, pero la actitud multiplica".

Victor Küppers

Índice

Listado de abreviaturas y siglas	10
Listado de tablas y figuras	12
Resumen	19
Abstract	23

1 Introducción

1.1 La escalada	29
1.2 Lesiones en la escalada	31
1.3 Anatomía del sistema de poleas flexoras	33
1.4 Biomecánica del sistema de poleas flexoras	37
1.5 Patomecánica del sistema de poleas flexoras	41
1.6 Tipos de rotura de polea anular	43
1.7 Adaptación de los tejidos digitales	45
1.8 Mecanismo lesional de poleas anulares A2 y A4	46
1.9 Sintomatología clínica de roturas de polea	46
1.10 Medición de fuerza flexora de los dedos	47
1.11 Diagnóstico ecográfico de rotura de poleas	51

2 Hipótesis

61

3 Objetivos

65

4 Metodología

69

4.1 Planteamiento del estudio	71
4.2 Diseño	72
4.3 Participantes	73
4.4 Grupos de estudio	75
4.5 Variables del estudio	76
4.6 Instrumentos de medida	88
4.7 Procedimiento de obtención de datos	90
4.8 Análisis estadístico	91

5 Resultados 93

5.1 Resultados del objetivo principal 95

6 Discusión 101

6.1 El déficit de fuerza en la rotura de las poleas flexoras 103

7 Conclusiones 107

8 Referencias 111

9 Anexos 121

Anexo I Declaración de la Asociación Médica Mundial 123

Anexo II Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos 131

Anexo III Aprobación del Comité Ético de la Investigación 135

Anexo IV Hoja de información del estudio 139

Anexo V Consentimiento Informado 143

Anexo VI Hoja de recoogida de datos 147

Anexo VII Publicación "Ultrasonographic Diagnosis of A2 or A4 Flexor Tendon Pulley Injury: A Systematic Review" 151

Anexo VIII Publicación "Grip Force Measurement as a Complement to High-Resolution Ultrasound in the Diagnosis and Follow-Up of A2 and A4 Finger Pulley Injuries" 155

Anexo IX Base de datos experimentales 159

Anexo X Gráficas de la muestra total y por grupos 165

Listado de abreviaturas y siglas

1. **TH:** Tendón (tendón flexor) - Hueso (falange)
2. **FDS:** Flexor digital superficial
3. **FDP:** Flexor digital profundo
4. **CSD:** Consejo Superior de Deportes
5. **FEDME:** Federación Española de Montañismo y Escalada
6. **UIAA:** Federación Internacional de Montañismo y Escalada
7. **TF:** Tendón flexor común
8. **FM:** Falange medial
9. **FD:** Falange distal
10. **MCF:** Articulación Metacarpo-falángica
11. **IFF:** Articulación Interfalángica proximal
12. **IFD:** Articulación Interfalángica distal
13. **FP:** Falange proximal
14. **AP:** Aponeurosis palmar
15. **A2:** Polea anular 2
16. **A4:** Polea anular 4
17. **Polea A:** Polea anular
18. **Polea C:** Polea cruciforme
19. **N:** Newton
20. **Mm:** Milímetro
21. **Cm:** Centímetro
22. **Kg:** Kilogramo
23. **MHz:** Megahercio
24. **US:** Ecoografía
25. **RMN:** Resonancia magnética
26. **TC:** Tomografía computarizada
27. **FA:** Flexión activa forzada contrarresistida
28. **Flex:** Flexión
29. **Ext:** Extensión
30. **TP:** Tercio proximal
31. **TD:** Tercio distal
32. **PM:** Punto medio
33. **RP:** Rotura parcial
34. **RQ:** Rotura completa.
35. **SPSS:** Statistical Package for the Social Sciences
36. **IC:** Intervalo de confianza
37. **DS:** Desviación estándar
38. **DTH:** Distancia tendón (tendón flexor) -hueso (falange)
39. **Min:** Mínimo
40. **Max:** Máximo

Listado de tablas y figuras

Índice de tablas

Tabla 1. Escala métrica internacional de la UIAA.

Tabla 2. Longitud de poleas anulares.

Tabla 3. Metodología de valoración y mediciones ecográficas de los estudios revisados.

Tabla 4. Distancia tendón-hueso de cada polea en cada tipo de rotura con su respectivo valor de sensibilidad y especificidad.

Tabla 5. Clasificación de patología de poleas.

Tabla 6. Parámetros epidemiológicos basales y morfológicos generales.

Tabla 7. Distancia tendón-hueso y porcentajes de déficit de fuerza de agarre de los dedos.

Tabla 8. Datos demográficos de escaladores y no escaladores.

Tabla 9. Grupo de escaladores de alto nivel experimentados por encima de 2 mm de distancia tendón-hueso.

Tabla 10. Mediciones ecográficas en mano dominante y no dominante de escaladores y no escaladores.

Índice de figuras

Figura 1. Número de licencias de la FEDME según datos oficiales del CSD.

Figura 2. Anatomía de sistema de poleas flexoras.

Figura 3. Longitud y posicionamiento de poleas.

Figura 4. Biomecánica del sistema de poleas flexoras.

Figura 5. Tipos de agarre: a) Extensión; b) Semi arqueo; c) Arqueo.

Figura 6. Posición de las articulaciones MCP, IFP y IFD en agarre en arqueo.

Figura 7. Orden cronológico de roturas de polea en agarre concéntrico.

Figura 8. Rotura completa aislada de la polea A2.

Figura 9. Rotura intrasustancial de una polea anular con la entesis completamente íntegra.

Figura 10. Rotura completa de A2, A3 y A4, cuerda de arco.

Figura 11. Comparación de manos de un sujeto no escalador con manos de un escalador experimentado.

Figura 12. Fuerza máxima en agarre en extensión, semi arqueo y arqueo en presas de distinto tamaño.

Figura 13. Posición del brazo para obtener la fuerza máxima de flexores de dedos.

Figura 14. El medidor de fuerza Fingerboard y el posicionamiento del escalador durante la medición.

Figura 15. Comparación de hallazgos anatómicos y ecográficos del sistema digital de poleas anulares. a,b Poleas anulares cadavéricas (flechas negras) en la cara palmar y lateral. c Imagen ecográfica en eje largo en cara palmar de una polea A4 sin rotura, distancia TH de 11mm (flechas blancas) en posición de flexión activa del dedo. d Imagen ecográfica en eje largo en cara palmar de una rotura completa de una polea A4, distancia TH de 2.3mm (flechas blancas) en posición de flexión activa del dedo.

Figura 16. Grupos de estudio para el estudio del déficit de fuerza.

Figura 17. Grupos de estudio para el estudio de las poleas de escaladores experimentados.

Figura 18. Localización y palpación de la polea A2.

Figura 19. Localización y palpación de la polea A4.

Figura 20. Posición del evaluador y del escalador durante la medición ecográfica.

Figura 21. Medición de la distancia tendón-hueso de la polea A2 en posición neutra de la MCF. 40° de flexión de la articulación IFP y 10° flexión de la articulación IFD.

Figura 22. Imagen ecográfica de alta resolución de una rotura completa de la polea A2. La flecha indica la distancia tendón-hueso en el punto medio de la falange proximal.

Figura 23. Dispositivo Bindar.

Figura 24. Protocolo de calentamiento con Bindar.

Figura 25. Posición del cuerpo en la medición de fuerza con Bindar.

Figura 26. Tipos de agarre en Bindar. (a) Monodedo arqueado. (b) Arqueo abierto de la mano. (c) Arqueo cerrado de la mano.

Figura 27. Protocolo de medición con Bindar.

Figura 28. Protocolo de medición de los tres tipos de agarre con Bindar.

Figura 29. Ecógrafo Toshiba Aplio i800.

Figura 30. Representación del procedimiento de obtención de datos.

Figura 31. Diagrama de la muestra final para el estudio del déficit de fuerza en la rotura de las poleas flexoras.

Figura 32. Gráfica de la edad de la muestra total.

Figura 33. Distancia tendón-hueso del dedo (3/4) y polea (A2/A4) afectados en eje longitudinal por grupos.

Figura 34. Correlación significativa entre la distancia tendón-hueso y el porcentaje de déficit de fuerza de agarre de los dedos al realizar el agarre de monodedo arqueado.

Eje X: porcentaje de déficit de fuerza del dedo lesionado medido con un Bindar en Newton. Eje Y: distancia TH del dedo lesionado medido en el eje longitudinal en milímetros.

Figura 35. Diagrama de la muestra final para el estudio de las adaptaciones de las poleas en escaladores experimentados.

Figura 36. Masa corporal (kg) de la muestra total.

Figura 37. Estatura (cm) de la muestra total.

Figura 38. Distancia tendón hueso (mm) del dedo (3/4) y polea (A2/A4) afectados en eje longitudinal de la muestra total.

Figura 39. Porcentaje (%) del aumento de la distancia tendón hueso (mm) del lado afecto sobre el contralateral no afectado de la muestra total.

Figura 40. Bindar, porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del dedo afectado (anular/medio) de la muestra total.

Figura 41. Bindar, porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arqueo cerrado de la muestra total.

Figura 42. Bindar, porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arqueo abierto de la muestra total.

Figura 43. Edad (años) de la muestra por grupos.

Figura 44. Masa corporal (kg) de la muestra por grupos.

Figura 45. Estatura (cm) de la muestra por grupos.

Figura 46. Porcentaje (%) del aumento de la distancia tendón hueso (mm) del lado afecto sobre el contralateral no afectado por grupos.

Figura 47. Porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del dedo afectado (anular/medio) por grupos.

- Figura 48.** Porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arqueo cerrado por grupos.
- Figura 49.** Porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arqueo abierto por grupos.
- Figura 50.** Máximo nivel en escalada deportiva (escala métrica de UIAA) de los escaladores veteranos.
- Figura 51.** Años escalando de los escaladores veteranos.
- Figura 52.** Años escalando por encima de 9,66 (escala métrica de UIAA) de los escaladores veteranos.
- Figura 53.** Edad (años) de la muestra por grupos.
- Figura 54.** Masa corporal (kg) de la muestra por grupos.
- Figura 55.** Estatura (cm) de la muestra por grupos.
- Figura 56.** Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la muestra por grupos.
- Figura 57.** Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A4 de la muestra por grupos.
- Figura 58.** Distancia tendón-hueso (mm) de la media de las poleas A2 y A4 de la muestra por grupos.
- Figura 59.** Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la mano no dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos.
- Figura 60.** Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A4 de la mano no dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos.
- Figura 61.** Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la mano dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos.
- Figura 62.** Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A4 de la mano dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos.

- Figura 63.** Distancia tendón-hueso (mm) de la diferencia de poleas A2 en eje longitudinal en ambas manos de la muestra por grupos.
- Figura 64.** Distancia tendón-hueso (mm) de la diferencia de poleas A4 en eje longitudinal en ambas manos de la muestra por grupos.
- Figura 65.** Porcentaje (%) de diferencia en la distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la muestra por grupos.
- Figura 66.** Porcentaje (%) de diferencia en la distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la muestra por grupos.

Resumen

Introducción. La escalada es un deporte que está en auge y el número de escaladores está aumentando exponencialmente a nivel internacional. La patología más habitual es la rotura de las poleas digitales A2 y A4 en el dedo medio y anular de la mano; como consecuencia aumenta la distancia entre el tendón flexor y el hueso (falange) (TH). La ecografía de alta frecuencia se considera la herramienta de referencia para el diagnóstico de este tipo de patología. Sin embargo, la disminución de la fuerza de prensión digital y su relación con las lesiones de las poleas anulares escasamente ha sido estudiada.

Objetivos. El objetivo principal de este estudio fue determinar si la lesión de una polea produce una disminución de la fuerza del complejo músculo tendinoso del flexor digital superficial (FDS) y profundo (FDP), así como su relación con los hallazgos ecográficos y la presencia de dolor. El objetivo secundario fue determinar si existe un aumento de la distancia TH de las poleas A2 y A4 en escaladores experimentados de alto nivel asintomáticos.

Metodología. Se realizó un estudio de corte transversal analítico en el que se reclutaron escaladores experimentados. Se incluyeron 39 escaladores para el estudio del objetivo principal, divididos en cuatro grupos según la distancia TH y la presencia de dolor. Fueron 21 escaladores con 21 años escalando por encima de 9,66 de la escala métrica y 21 participantes no escaladores; la muestra reclutada para el objetivo secundario. Las variables consideradas fueron: dolor a la palpación, distancia ecográfica TH a nivel de la polea anular afectada, y disminución de la fuerza del FSD y FDP medida con el dispositivo Bindar en tres tipos de agarre (monodedo arqueado, arqueado abierto y arqueado cerrado).

Resultados. Los escaladores con lesiones de las poleas A2 o A4 presentaron un déficit de fuerza en comparación con escaladores sanos especialmente en el agarre de monodedo arqueado ($p < 0,001$). Existe una correlación significativa del déficit de fuerza en el agarre en monodedo arqueado con la distancia TH a la altura de la polea lesionada ($p = 0,006$) y la presencia del dolor a la palpación. Respecto al objetivo secundario, los escaladores experimentados tienen una distancia TH significativamente mayor que los sujetos no escaladores en la polea A2 en un 25,2% y especialmente en la polea A4 en un 35,55%.

Conclusión. La lesión de la polea A2 o A4 genera una disminución de fuerza significativa en el agarre de monodedo arqueado respecto a la mano contralateral sana. Esta pérdida de fuerza se correlaciona con las mediciones ecográficas de

distancia TH y la presencia del dolor. Por lo tanto, la medición de la disminución de fuerza del FSD y FPD podría ser una herramienta útil y complementaria para el diagnóstico y control evolutivo de las roturas de poleas A2 y A4. Por otro lado, el aumento de la distancia TH en poleas A2 y A4 de escaladores experimentados asintomáticos puede tratarse de una adaptación de la polea por las cargas toleradas durante años escalando o también es posible que sea consecuencia de una rotura de la polea subclínica.

Abstract

Introduction. Climbing is a sport that is booming, and the number of climbers is increasing exponentially. The most common pathology is A2 and A4 digital pulley rupture in the middle and ring fingers of the hand; as a consequence, the distance between the tendon (flexor digitorum) and the bone (phalanx) (TB) increases. High-frequency ultrasound is considered the gold standard for the diagnosis of this pathology. However, the decrease in finger grip strength and its relationship with annular pulley injuries has scarcely been studied.

Objectives. The main objective of this study was to determine if a pulley injury produces a decrease in the strength of the flexor digitorum superficialis (FDS) and profundus (FDP), as well as its relationship with ultrasound findings and the presence of pain. The secondary objective was to determine if there is an increase in the TB distance of the A2 and A4 pulleys in asymptomatic high-level experienced climbers.

Methods. An analytical cross-sectional study was conducted in which experienced climbers were recruited: 39 climbers were included for the primary objective, divided into four groups based on TB distance and presence of pain. Whereas for the secondary objective, 21 climbers with 21 years climbing above 9000 on the metric scale and 21 non-climber participants were recruited. The variables considered were: pain on palpation, ultrasound TB distance at the level of the affected annular pulley, and decrease in the strength of the FSD and FPD measured with the Bindar device in three types of grip (one finger crimp, open and closed crimp).

Results. Climbers with injuries of the A2 or A4 pulleys presented a strength deficit compared to healthy climbers, especially in the one finger crimp grip ($p < 0.001$). There is a significant correlation of the force deficit with the ultrasound TB distance at the height of the injured pulley in one finger crimp grip ($p = 0.006$) and the presence of pain on palpation. Regarding the secondary objective, experienced climbers have a significantly greater TB distance than non-climber subjects on pulley A2 by 25.2% and especially on pulley A4 by 35.55%.

Conclusion. Injury to the A2 or A4 pulley results in a decreased finger grip strength in one finger crimp. Thereby, the diagnosis of pulley rupture is more reliable if the presence of pain, ultrasound examination and grip strength are included. Bowstringing of A2 and A4 pulleys occur in asymptomatic experienced high-level climbers which could be interpreted as either an adaptive mechanism to workloads endured over years of climbing, or as a consequence of non-diagnosed pulley ruptures.

Capítulo 1

Introducción

1.1

La escalada

La escalada ha evolucionado desde exploradores inmersos en descubrir y ascender montes vírgenes a un deporte atlético de alto rendimiento [1,2]. La escalada ha sido incluida como deporte oficial de los Juegos Olímpicos de 2020 [3] y en los últimos años, el número de escaladores ha aumentado exponencialmente. En España, según datos del Consejo Superior de Deportes (CSD), la federación española de montañismo y escalada (FEDME) ha pasado a ser el quinto deporte con mayor número de federados, aumentando de 65,285 mil federados en el año 2001 a 248,406 federados en el año 2019 (Figura 1) [4].

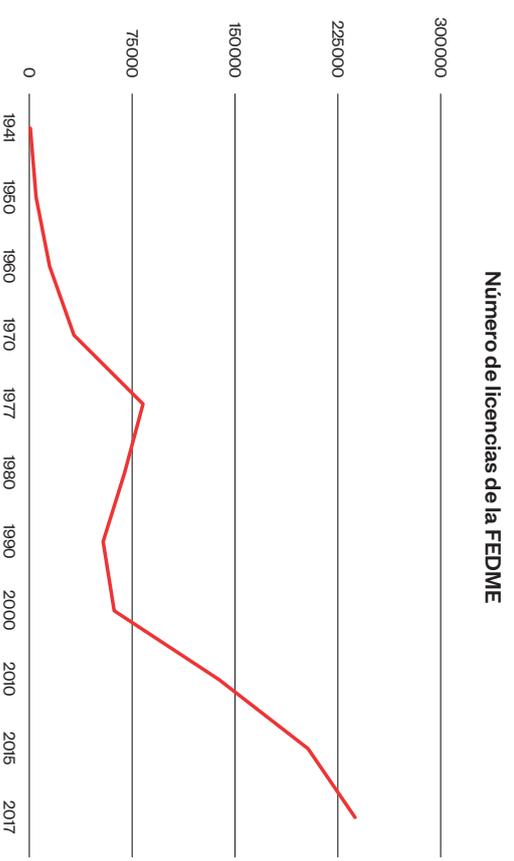


Figura 1. Número de licencias de la FEDME según datos oficiales del CSD

1.1.1. Nivel de dificultad en la escalada

El nivel de dificultad al que se enfrentan hoy en día los escaladores ha superado los límites históricos y se incrementa año tras año [5]. Actualmente, el grado máximo en la modalidad de escalada deportiva es de 9c de dificultad en la escala francesa, lo cual equivale a 12,33 en la escala métrica internacional de la Federación Internacional de Montañismo y Escalada (UIAA) (Tabla 1) [6] y en gran parte se debe al desarrollo y conocimientos de la metodología del entrenamiento.

Tabla 1. Escala métrica internacional de la UIAA. Fuente: Schöffl V, Morrison AB, Hefti U, Ulrich S, Kupper T. The UIAA Medical Commission injury classification for mountaineering and climbing sports. Wilderness Environ Med. 2011;22(1):46–51

Metric Scale	UIAA	French (Fr.)	US-American (YDS)
5.66	6-	5b/c	5.8
6	6	5c/6a	5.9
6.33	6+	6a/6a+	5.10a
6.66	7-	6a+/b	5.10b/c
7	7	6b/b+	5.10d
7.33	7+	6b+/6c	5.11a/b
7.66	8-	6c+	5.11c
8	8	7a	5.11c/d
8.33	8+	7a+/7b	5.12a/b
8.66	9-	7b/7b+	5.12b/c
9	9	7c/7c+	5.12d
9.33	9+	7c+/8a	5.13a
9.66	10-	8a/8a+	5.13b/c
10	10	8b	5.13d
10.33	10+	8b+/8c	5.14a/b
10.66	11-	8c/8c+	5.14b/c
11	11	9a	5.14d
11.33	11+	9a+	5.15a
11.66	12-	9b	5.15b

Cada vez se empieza a entrenar antes y la tendencia actual es que los escaladores de élite sean mucho más jóvenes, lo cual se traduce en más demanda y mayor carga de trabajo, especialmente a nivel de los dedos [7,8]. Así mismo, la tipología de las lesiones más frecuentes también ha cambiado y la distribución de lesiones es diferente en escaladores adolescentes que adultos [9].

1.2

Lesiones en la escalada

1.2.1. Incidencia, prevalencia y riesgo de lesión

La escalada se ha asociado clásicamente con fracturas y esguinces en el miembro inferior por caídas traumáticas [10]. Sin embargo, hoy en día las lesiones del miembro superior (57,6%) son más frecuentes que los del miembro inferior (27,6%) [11] y esto se debe a la mejora en el material de equipamiento y protección, disminuyendo el número de accidentes [12]. Es más, según diversos estudios las sobrecargas repetitivas (33-44%), y los traumatismos agudos sin impacto (28-81%) son igual o incluso más habituales que las lesiones de impacto (10-50%) [11,12].

Existe controversia en el número de lesiones entre la escalada en roca y en roca, algunos autores han encontrado mayor incidencia en la escalada outdoor con 19,03/1000h que la escalada indoor con 2,83/1000h [3], mientras que otros autores han encontrado que la escalada indoor es el entorno más lesivo (57%) seguido por la escalada outdoor de boulder (18,8%), deportiva (14,8%) y tradicional (9,4%) [13]. El riesgo de lesiones es relativamente bajo, se contabilizan 4,2 lesiones por mil horas de escalada, comparando con 15,7 y 9,8 lesiones en fútbol americano o en baloncesto [10].

1.2.2. Epidemiología

Los estudios epidemiológicos muestran que las lesiones más habituales del miembro superior son las lesiones en los dedos, constituyendo el 33-52% de todas las lesiones de la escalada. Las patologías más destacadas son las roturas de polea anular A2 y A4, seguido por esguinces de ligamento colateral, capsulitis, tendinopatías, afectaciones lumbrales, rotura de placa volar (PV), etc [14,15]. El hombro es la segunda articulación más lesiva (17%), seguido por el codo (8%) [11,53].

Según otro estudio, el 75% de escaladores, tanto de élite como aficionados tienen lesiones agudas o crónicas, con el 60% padeciendo dolores en mano y muñeca y el 40% con patologías de codo y hombro. Más detalladamente, el 40% de las lesiones ocurren en los dedos y dentro de este porcentaje, el 50% se refieren a las poleas y el 40% a ligamentos colaterales de articulaciones interfalángicas (IF) [17].

12.3. Incidencia de patología de poleas

El 33% de todas las lesiones en la escalada se concentran en las poleas y este porcentaje se ve levemente disminuido en competidores de alto nivel, ya que disponen de una probabilidad entre 19 y 26% de ruptura de poleas. Por lo tanto, indiscutiblemente los tejidos más involucrados son las poleas, seguidos por los ligamentos colaterales de los dedos. No diagnosticar una rotura de polea puede dar lugar a pérdida crónica de flexión de articulaciones IF y osteoartritis [18].

1.3

Anatomía del sistema de poleas flexoras

La vaina del tendón flexor común (TF) o digital es una estructura compleja por la cual transcurre el tendón flexor digital superficial (FDS) que se inserta en las caras laterales del falange medial (FM) y el tendón flexor digital profundo (FDP) de los dedos que se inserta en la falange distal (FD). La vaina es esencial para el funcionamiento correcto de los tendones flexores de los dedos, ya que sujeta el tendón al hueso, permitiendo que la fuerza ejercitada por la unidad musculotendinosa se convierta en un movimiento correcto de las falanges y no haya ninguna pérdida de movilidad y fuerza [19].

La vaina está compuesta por dos componentes tisulares distintos, un componente sinovial o membranoso, identificado como la vaina del tendón y un componente retinacular, conocido como polea. La porción membranosa lo componen el revestimiento sinovial que cubre la cara dorsal que cruza el ligamento transverso del metacarpo y la superficie palmar de la articulación metacarpo-falángica (MCF), interfalángica proximal (IFP), interfalángica distal (IFD) y la cara palmar del falange proximal (FP) y FM. Esta parte membranosa es visible entre las poleas flexoras donde se forman los pliegues cutáneos que permiten extender y flexionar los dedos [20].

La porción retinacular de la vaina conocido como polea, consiste en un tejido fibroso que rodea el TF de los dedos. El sistema flexor de poleas digitales de los dedos trifalángicos de la mano están constituidas de 5 poleas anulares (A1-A5) y 3 cruciformes (C1-C3) (Figura 2) [21].

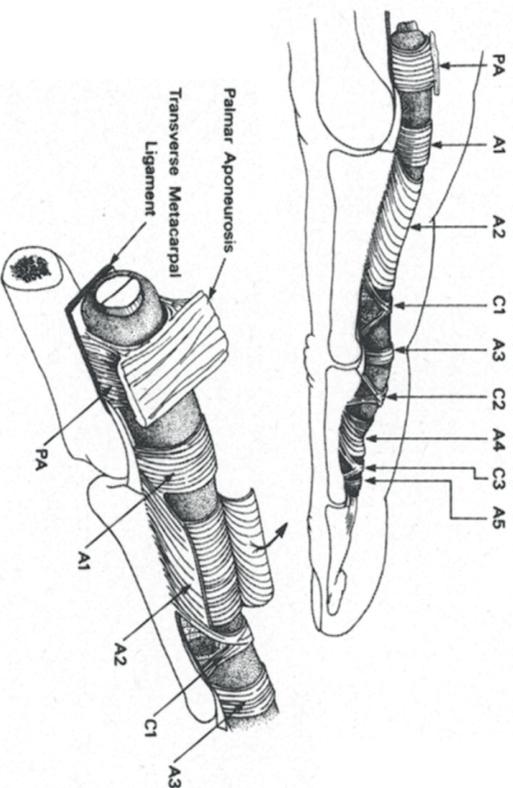


Figura 2. Anatomía de sistema de poleas flexoras. Fuente: Doyle JR. Anatomy of the finger flexor tendon sheath and pulley system. The Journal of Hand Surgery. 1988;13(4):473-84

1.3.1. Posicionamiento y longitud de poleas

En cuanto a la localización de las poleas anulares, se dividen en dos grupos. Las poleas A1, A3 y A5 se encuentran sobre las articulaciones del dedo de proximal a distal, la A1 sobre la MCF, la A3 sobre la IFP y la A5 sobre la IFD. Debido a su inserción en la PV de las articulaciones y no en la cortical del hueso, se consideran poleas flexibles. Estas poleas impares junto a las poleas cruciformes permiten la compresión sin atrapamiento del TF en flexión del dedo y la expansión del TF en extensión del dedo.

Las poleas A2 y A4 en cambio se insertan directamente en el hueso, el primero en la FP y el segundo en la FM, por lo tanto, son las poleas más fuertes y resistentes en posiciones de agarres extremos [17]. La A2 es considerada la más importante debido a su longitud y consistencia, frente a la A4 [20]. Los valores de las medias de longitud de cada polea están resumidos en la Tabla 2 y representados en la Figura 3. De todas formas, ambas poleas tienen características biomecánicas muy parecidas y sin cambios aparentes entre géneros [22].

Tabla 2. Longitud de poleas anulares

DEDOS (LONG.)	AP	A1	A1-A2	A2	A3	A4	A5
Medias de longitud de los cuatro dedos trífalángicos	9,3mm (21)	7,9mm (21)	0,4-4,1mm (21)	16,8mm (21) 15,15mm (24) 20mm (23)	2,8mm (21) 2,7mm (24) 3mm (23)	6,7mm (21) 6,65mm (24) 12mm (23)	4,1mm (21) MRI:3,7mm (22)
				US: 16,3mm (22)	US: 2,8mm (24) MRI: 2,6mm (22)	US: 8,2mm (24) MRI: 6,4mm (22)	US: 5,8mm (22)
INDICE	7,4mm (21)	Depende (21)		15,9mm (21) 12,8mm (24)	2,8mm (21) 2,9mm (24)	6,1mm (21) 6,3mm (24)	3,9mm (21)
				MRI: 13,9mm (25) US: 8,9mm (24)	MRI: 2,9mm (25) US: 2,1mm (24)	MRI: 6,6mm (25) US: 5,5mm (24)	
LARGO	10,3mm (21)			20,5mm (21) 16,4mm (24)	2,7mm (21) 2,2mm (24)	7,7mm (21) 6,6mm (24)	4,3mm (21)
				MRI: 16,4mm (25) US: 11,8mm (24)	MRI: 2,2mm (25) US: 1,9mm (24)	MRI: 6,6mm (25) US: 5,7mm (24)	
ANULAR	11,4mm (21)			18,9mm (21) 15,1mm (24)	2,9mm (21) 2,3mm (24)	7mm (21) 7,1mm (24)	3,9mm (21)
				MRI: 15,1mm (25) US: 12,2mm (24)	MRI: 2,8mm (25) US: 3,3mm (24)	MRI: 7,1mm (25) US: 6,7mm (24)	
MEÑIQUE	8,1mm (21)			11,7mm (21)	2,7mm (21)	5,9mm (21)	4,3mm (21)

En cuanto a las poleas cruciformes, existen tres en cada dedo trifalángico. La C1 se ubica entre A2-A3, la C2 entre A3-A4 y la C3 entre A4-A5. Proximal a la polea A1 se encuentra la polea denominada aponeurrosis palmar (AP), la cual está compuesta por el ligamento transverso de la AP que se inserta en el septo subyacente de Leguen & Juvara, formando un arco sobre el tendón del FDS [26].

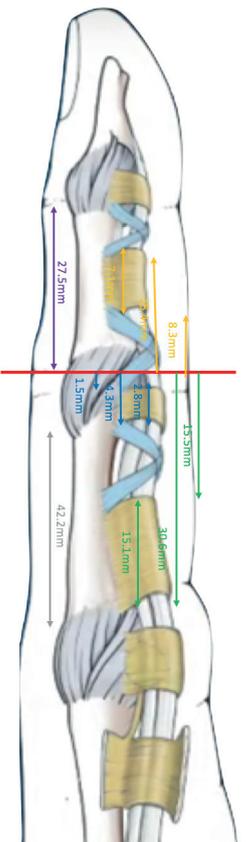


Figura 3. Longitud y posicionamiento de poleas (línea roja: base de la falange medial). Fuente: Schöffl I, Opelel, K, Jünger T, Schweize, A, Bayer T, Neuhuber W, et al. The influence of concentric and eccentric loading on the finger pulley system. J Biomech. 2009;42(13),2124–2128

1.4

Biomecánica del sistema de poleas flexoras

1.4.1. Función de poleas

La función principal de las poleas es sujetar y estabilizar el TF en todo el recorrido del dedo junto a las falanges, especialmente en movimientos de flexión y en desplazamiento radial del tendón. En términos biomecánicos, el sistema de poleas permite una conversión de la fuerza de la excursión del tendón en un patrón de movilidad adecuada del dedo [18].

No obstante, la biomecánica de las poleas de los escaladores requiere contemplar un campo más amplio donde se incluye la biomecánica del dedo y la biomecánica de diferentes tipos de agarre.

1.4.2. Biomecánica del dedo

La biomecánica del dedo esta constituido por el concepto del torque (torque: brazo de palanca x fuerza). La capacidad de flexionar el dedo es proporcional al transcurso longitudinal del tendón y el brazo de palanca (capacidad de flexión del dedo = transcurso longitudinal o fuerza del TF / Brazo de palanca entre la falange y el TF a la altura de la polea). Las poleas intactas mantienen el TF cerca del eje de rotación de las articulaciones de los dedos, de esta manera la capacidad de flexión es máxima [27]. Anatómicamente, cuanto más proximal sea la articulación del dedo, mayor es el brazo de palanca (Figura 4) [28].

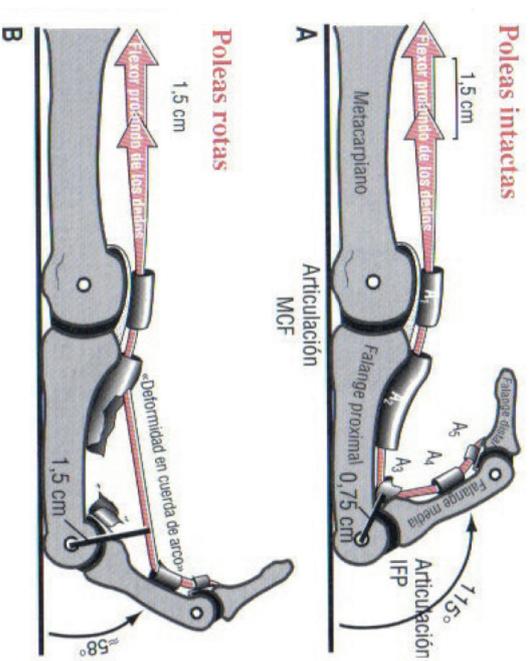


Figura 4. Biomecánica de sistema de poleas flexoras. Fuente: Neumann DA. Kinesiology of the Musculoskeletal System. Second Edition. Mosby Elsevier. 2010



Figura 5. Tipos de agarre: a) Extensión; b) Semi arqueado; c) Arqueado. Fuente: Balás J, Michaëla P, Jan K, Cochrane DJ, Martin A. The role of arm position during flexor strength measurement in sport climbers. Int. J Perform Anal. Sport 2014; 14:345-354

1.4.3. Biomecánica de agarre

En cuanto a la biomecánica de agarre, la escalada es una actividad única. Desafía el hecho anatómico de que el cuerpo humano esté evolucionado para moverse sobre los miembros inferiores. En algunas ocasiones, todo el peso del cuerpo se sostiene con la falange distal de los dedos, incluso en ciertas ocasiones sobre un solo dedo [29]. La capacidad de generar fuerza flexora a nivel de los dedos varía con los diferentes agarres usados por los escaladores. Existen varios tipos de agarre pero tres son los principales: el arqueado, el semiarqueado y la extensión (Figura 5).

El tipo de agarre que genera más fuerza de flexión es el arqueado cerrado, se realiza con 90-100° de flexión de la articulación IFP y 10-15° de extensión de la articulación MCF (Figura 6) [10].

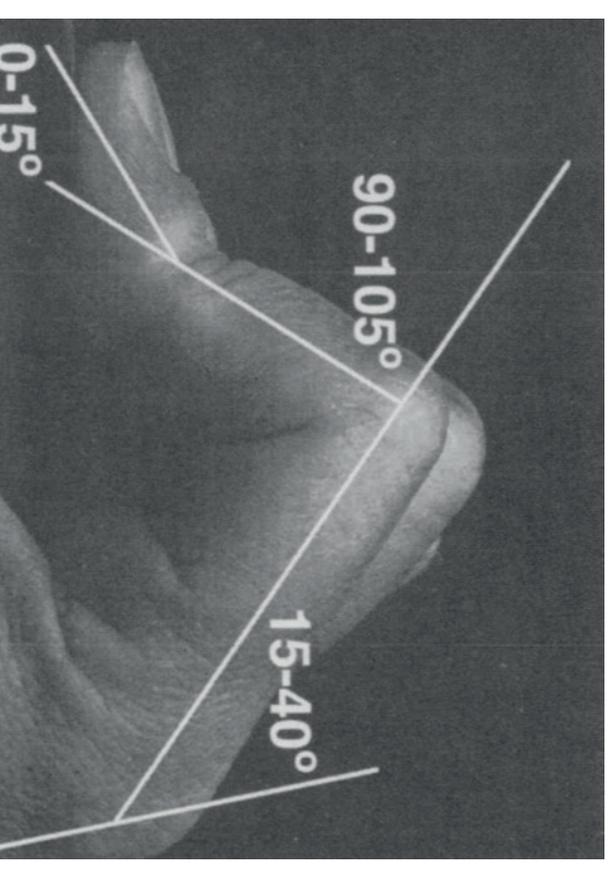


Figura 6. Posición de las articulaciones MCP, IFP y IFD en agarre en arqueado. Fuente: Schweizer A. Sport climbing from a medical point of view. Swiss Med Wkly. 2012 Oct 11;142:w13688

El arqueo puede ser abierto o cerrado, este segundo es cuando el dedo gordo se coloca sobre el dedo índice, inclusive hasta encima del dedo medio. Esta posición del dedo gordo permite aumentar el perímetro de contacto entre dedos y presa y un apoyo extra que permite ejercer mayor fuerza sobre la presa, es muy común en agarres muy pequeños. Más del 90% de los escaladores utiliza el agarre en arqueo en cada vía y la frecuencia de su uso aumenta a medida que la vía tenga mayor dificultad y lógicamente, agarres extremadamente pequeños. En esta posición el brazo de palanca del FDP es mayor, consecuentemente la capacidad de fuerza se aumenta. De esta manera, si se combina la fuerza de tensión de los TF con la flexión de las articulaciones digitales, la carga que soportan las poleas anulares y en especial, la A2 y A4 también se ve proporcionalmente aumentada.

La fuerza perpendicular que toleran las poleas en dirección volar, de la falange hacia el TF es tres veces mayor que la fuerza de agarre, es decir, la fuerza que aplica el dedo sobre la roca [29]. En un estudio cuantificaron la fuerza que soportan las poleas en posición de arqueo y los resultados demuestran que la polea que más carga soporta es la A2, 287 Newton (N), y la segunda polea fue la A4, con 226N [30]. Entre el agarre en arqueo y el agarre en extensión, en arqueo la polea A2 tolera hasta 36 veces mayor carga y cuatro veces mayor carga en la A4 que en el agarre en extensión [31]. El agarre en extensión genera mucha menos fuerza, siendo menos lesivo para las poleas anulares en comparación con el arqueo cerrado [8,9,18].

Si el arqueo anterior se realiza sólo con un dedo, pasa a denominarse monodedo arqueado. Sin embargo, en monodedo en extensión, la fuerza que se genera (97N) es parecida o incluso ligeramente superior al monodedo en arqueo (95N) [31].

1.5

Patomecánica del sistema de poleas flexoras

Biomecánicamente, cuando la polea se rompe aumenta el brazo de palanca, exigiendo un mayor trayecto longitudinal o fuerza del TF para realizar la flexión máxima del dedo [27].

1.5.1. Propiedades mecánicas de rotura de poleas

En un estudio disecaron las poleas anulares y metieron un lazo dentro de la polea aplicando una fuerza de tracción. La carga máxima que toleró la polea A2 fue 407N y la polea A4 209N, a partir de esas fuerzas se rompieron las poleas. Sin embargo, la polea A4 toleró mayor fuerza máxima que la A2 por cada milímetro de longitud de polea, ya que, la polea A4 esa más corta que la A2. La A4 tolera 34N/mm y la A2 27N/mm [32].

1.5.2. Patomecánica de agarre en concéntrico

En un estudio en cadáver concluyeron en una simulación de agarre concéntrico que la primera polea en romperse es la polea A4, seguido por la polea A2, A3, avulsión del FDS y finalmente, avulsión del FDP (Figura 7). La polea A2 (432N) tolera el doble de fuerza perpendicular que la A4 (202N), por eso la A4 se rompe mucho antes en agarres concéntricos [33].

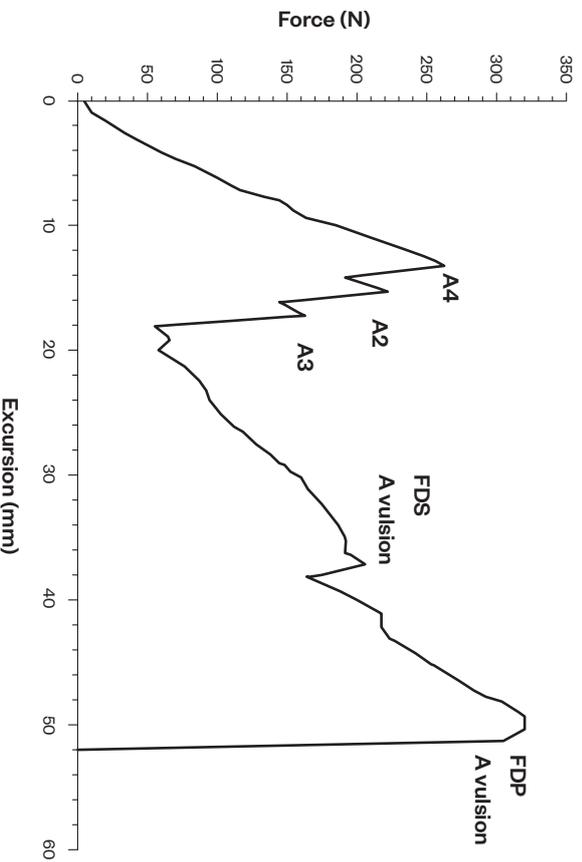


Figura 7. Orden cronológico de rotura de poleas en agarre concéntrico. Fuente: Marco RA, Sharky NA, Smith TS, Zissimos AG. Pathomechanics of closed rupture of the flexor tendon pulleys in rock climbers. *J Bone Joint Surg Am.* 1998;80(7):1012-9

1.5.2. Patomecánica de agarre en excéntrico

No obstante, la literatura describe que la rotura de la A2 es mas habitual que la A4 [18]. Dicho fenómeno ocurre por el componente de fricción del agarre en excéntrico y no por la carga. Es mas, en agarre en excéntrico se realiza menos fuerza del FDP que en concéntrico, incluso la polea A2 tolera menos carga que la A4. Sin embargo, la fricción entre el TF y la polea A2 es mayor, resultando en una rotura de la A2. Esta polea tiene un gran número de fibras transversas perpendiculares a la fuerza del tendón y en agarre en arqueo por la hiperextensión de la articulación F/D se aumenta la fricción [25,34,35].

1.6 Tipos de rotura de polea anular

Las poleas se pueden romper parcial o completamente y puede ocurrir una rotura aislada, de una sola polea, o una rotura múltiple, de varias poleas. La polea que más frecuentemente se lesiona es la A2, seguida por la A4 y el dedo anular es el más afectado, seguido por el dedo medio [25, 36]. Sin embargo, es más común que la A2 se lesione aisladamente (Figura 8) comparando con la A4 que tiende a lesionarse tanto aisladamente como en combinación con poleas vecinas. La A2 se rompe del borde distal hacia proximal, al contrario que la A4, de proximal a distal.

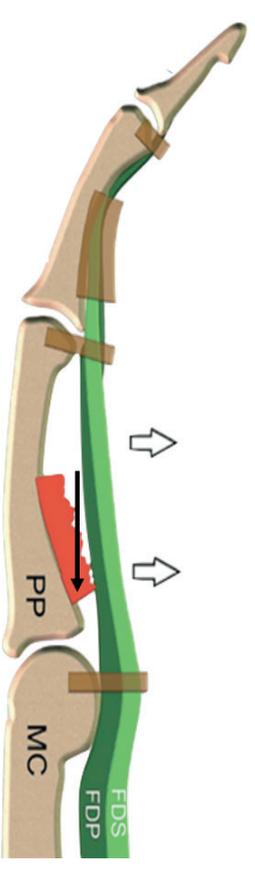


Figura 8. Rotura completa aislada de la polea A2. Fuente: Bianchi S, Almusa E, Chick G, Bianchi E. Ultrasound in wrist and hand sport injuries. *Sports Medicine Journal.* 374-383

Las roturas normalmente ocurren en las fibras de colágeno intrasustanciales y raramente en las inserciones (Figura 9) [27]. En un estudio realizado sobre cadáveres concluyeron que las roturas de A1 y A5 no afectan el transcurso del tendón [18].

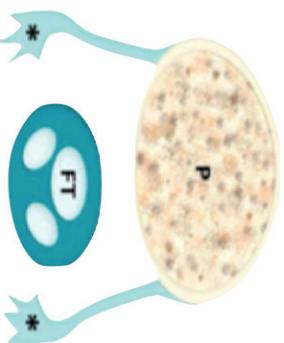
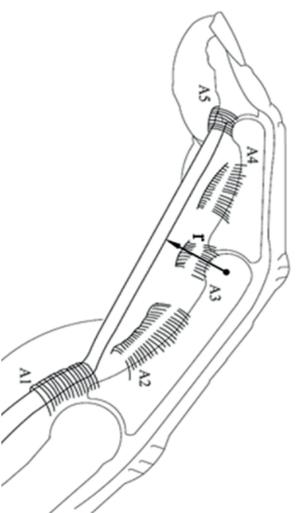


Figura 9. Rotura intrasustancial de una polea anular con la entesis completamente íntegra. Fuente: Chang CY, Tortani M, Huang AJ. Rock Climbing Injuries: Acute and Chronic Repetitive Trauma. *Curr Probl Diagn Radiol.* 2016;45(3):205-14

1.6.1. Cuerda de arco

El fenómeno patológico “cuerda de arco” es una traducción del lenguaje anglosajón “powstringing”, ocurre cuando la polea A3 se rompe junto a una polea vecina, es decir, en una rotura completa de A3-A4 o A2-A3. En las situaciones más extremas, es posible que haya una rotura triple completa de estas tres poleas, donde la cuerda del arco es muy pronunciada (Figura 10). Con la A3 intacta, es muy infrecuente ver una cuerda del arco, es decir, con una rotura total aislada de la A2 o A4, no se da esta patología [24].

En esta patología, el TF se ve afectado al tener mayor brazo de palanca y menor transcurso longitudinal del tendón, por lo tanto, la capacidad de flexión disminuye.



A consecuencia, al realizar la contracción muscular de los flexores, el tendón no tracciona en su totalidad y el resultado es una pérdida de fuerza de compresión acompañado por una pérdida de ROM en flexión hasta 10°, además de la sintomatología de la lesión [27].

Figura 10. Rotura completa de A2, A3 y A4, cuerda de arco. Fuente: Zafonte B, Rendulic D, Szabo RM. Flexor pulley system: anatomy, injury, and management. *J Hand Surg Am.* 2014;39(12):2525-32

1.7

Adaptación de los tejidos digitales

La carga acumulada de trabajo sobre los dedos, mantenidas a lo largo de los años, conducen a un proceso de adaptación de diversos componentes anatómicos de los dedos, con una tipología lesional diferente en escaladores adolescentes y adultos (Figura 11) [5]. En la población escaladora adulta, las adaptaciones afectan tanto al



Figura 11. Comparación de manos de un sujeto no escalador con manos de un escalador experimentado. Fuente: Elaboración propia

hueso como a las partes blandas. Así, en las falanges, la proporción cortical aumenta hasta en un 25%, la anchura cortical hasta un 6% y el canal medular se estrecha hasta en un 20% respecto a controles no escaladores [37].

La polea A2 se hipertrofia por término medio en un 69% mientras que la A4 lo hacen en un 75%. La placa volar de la articulación IFD también se hipertrofia de forma significativa respecto a los controles no escaladores [5]. Existe por otro lado una controversia actual sobre el posible engrosamiento del TF profundo de los dedos como respuesta adaptativa [5,38].

1.8

Mecanismo lesional de poleas anulares A2 y A4

Uno de los factores más determinantes en el mecanismo lesional es la magnitud de la fuerza flexora generada a nivel de los dedos, junto con la carga excéntrica que se produce debido a la fricción entre la propia polea y los tendones flexores [25]. La mayoría de las roturas suelen ocurrir al aumentar drásticamente la fuerza de flexión de los dedos, como sucede en un escalador al perder un pie de apoyo [1].

1.9

Sintomatología clínica de roturas de polea

Clinicamente los diferentes subtipos de rotura pueden ser difíciles de diferenciar pues, salvo que se presenten con cuerda de arco, la clínica suele ser inespecífica [4]. La sintomatología consta en dolor focal agudo, ocasionalmente acompañado de inflamación y equimosis, que aumenta a la palpación y al solicitar flexión de dedos contra resistencia [39]. Igualmente, la eficiencia biomecánica del complejo funcional de los TF se ve afectada, comprometiendo la capacidad de generar fuerza [19,40].

1.10 Medición de fuerza flexora de los dedos

La recuperación exitosa de la pérdida de fuerza tras una rotura completa de una polea ha sido investigada tanto en tratamiento conservador [19] como en quirúrgico [27].

En la medición de fuerza de los dedos es importante considerar tres variables: la relación entre fuerza y masa corporal, la relación entre el tipo de presa y el tipo de agarre y el posicionamiento del cuerpo.

En primer lugar, los valores de fuerza absoluta se dividen por la masa corporal del sujeto para obtener el valor de fuerza relativa. Aunque este valor sea más significativo que la fuerza absoluta, fue demostrado que la fuerza relativa penaliza a los pacientes más pesados, por lo tanto, puede llegar a ser un sesgo comparativo [31].

En segundo lugar, la fuerza vertical máxima ejercida sobre una presa depende del tipo de presa, especialmente la profundidad de esta junto con el tipo de agarre (Figura 12) [41]. En el agarre de arco cerrado, las fuerzas máximas se registraron en aquellas presas con 2 centímetros (cm) de profundidad.

En tercer lugar, en la metodología de la mayoría de los estudios que han analizado la fuerza máxima en escaladores se centraron en describir la configuración de los dedos y no en la posición del brazo. En la escalada, la configuración espacial más común de los brazos es desde hombros ligeramente en separación con flexión de codos hasta hombros con flexión completa y extensión de codos. De todas formas, en la mayoría de los casos, al ejercer la fuerza sobre la presa, el hombro suele estar por encima de los 90° de separación o flexión. En un estudio realizaron

una comparación de fiabilidad, validez y mayor capacidad de fuerza entre cuatro posiciones distintas del brazo, donde concluyeron que la posición del brazo más válido para medir la fuerza de agarre es con el hombro a 180° de flexión y el codo en extensión (Figura 13) [42].

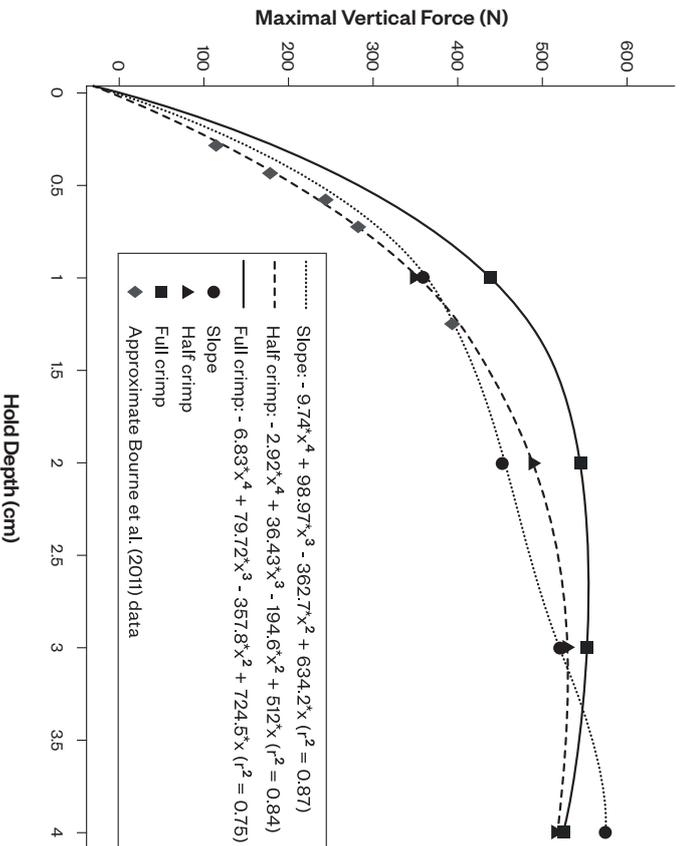


Figura 12. Fuerza máxima en agarre en extensión, semi arqueo y arqueo en presas de distinto tamaño. Fuente: Amca AM, Vigouroux L, Aritan S, Berton E. Effect of hold depth and grip technique on maximal finger forces in rock climbing. J Sports Sci. 2012;30(7):669-77

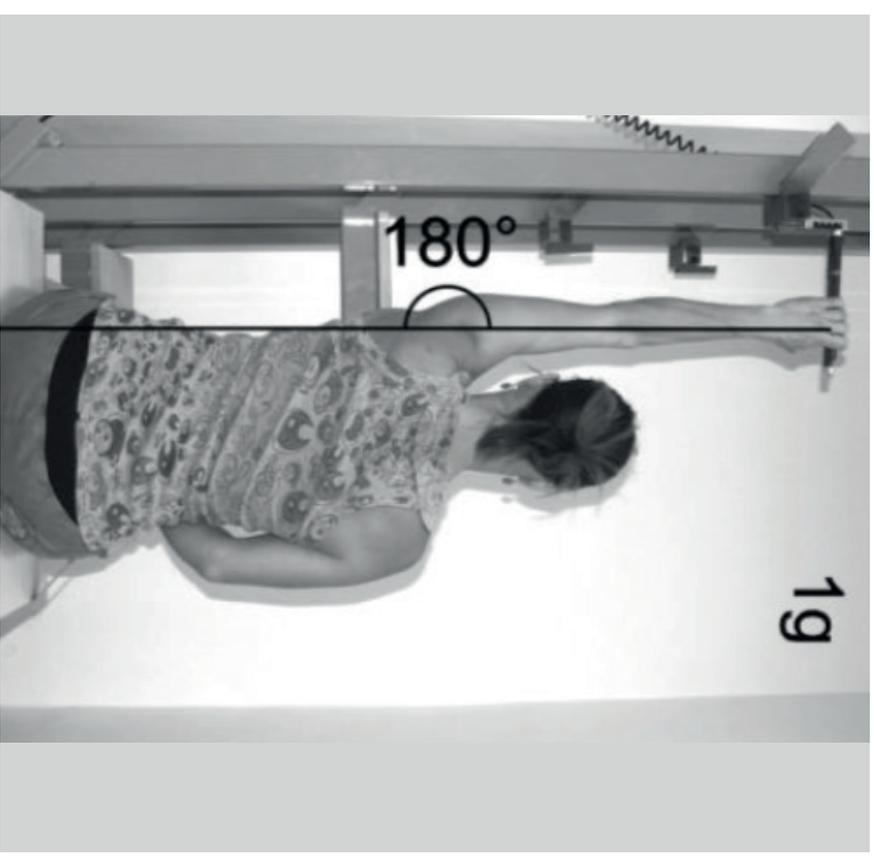


Figura 13. Posición del brazo para obtener la fuerza máxima de flexores de dedos. Fuente: Balás J, Michaëla P, Jan K, Cochran DJ, Martín A. The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. Int. J Perform Anal. Sport 2014; 14:345-354

1.10.1. Herramienta de medición de fuerza

La herramienta más utilizada para la medición de fuerza del agarre de la mano sobre la presa entre escaladores, conocido como la prensión manual, ha sido el dinamómetro "hammer". Sin embargo, en el año 2008, mediante el uso de la electromiografía se corroboró la hipótesis de que este dinamómetro carece de especificidad debido a su falta de similitud con un agarre real que realiza un escalador en la roca [43].

Otras herramientas utilizadas para la medición de la prensión manual de los escaladores, menos conocida, pero con unos resultados más específicos que el dinamómetro, han sido el "pincher strength" o incluso la báscula, donde se trasladaba el peso de la báscula al agarre de presas artificiales colgándose para realizar una suspensión [44,45].

La herramienta que ha obtenido los mejores valores de validez y fiabilidad para la medición de la prensión manual es el aparato denominado "fingerboard" (Figura 14), una presa artificial diseñada para medir la fuerza que producen los músculos flexores de los dedos y su respectiva oxigenación [46,47].

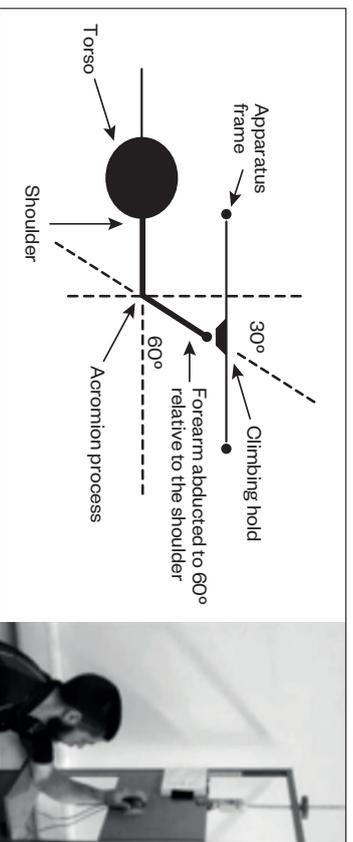


Figura 14. El medidor de fuerza Fingerboard y el posicionamiento del escalador durante la medición. Fuente: Fryer SM, Stoner L, Dickson TG, Draper SB, McCluskey MJ, Hughes JD, How SC, Draper N. Oxygen recovery kinetics in the forearm flexors of multiple ability groups of rock climbers. J Strength Cond Res. 2015;29(6):1633-9

1.11 Diagnóstico ecográfico de rotura de polea

La ecografía se considera la prueba diagnóstica de referencia para el diagnóstico de roturas de poleas A2 y A4, sobre todo por su bajo coste económico, no invasivo, capacidad de exploración dinámica y opción de comparar con el lado contralateral [48]. La ecografía permite la visualización completa del 100% de las poleas A2 y A4 [24] y en un estudio comparativo entre la resonancia magnética y la ecografía se detectó una sensibilidad del 98% y una especificidad del 100% [49].

La referencia ecográfica más reconocida para diagnosticar una rotura de polea es la medición del aumento de la distancia tendón-hueso (TH), es decir, el aumento de la separación entre el tendón flexor superficial y profundo sobre la falange [48,24,49,50,51] (Figura 15). No obstante, además de poder obtener dicha medición indirecta, los equipos de ecografía de alta frecuencia permiten la visualización directa de las poleas anulares [40].

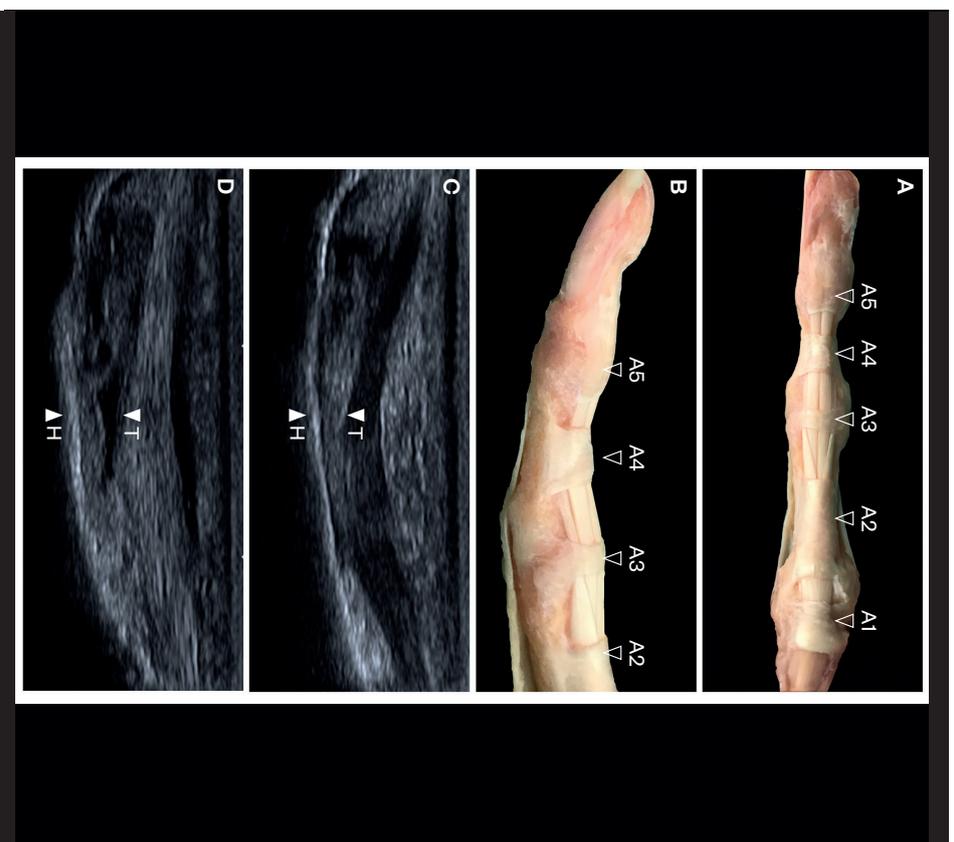


Figura 15. Comparación de hallazgos anatómicos y ecográficos del sistema digital de poleas anulares. a,b Poleas anulares cadavéricas (flechas negras) en la cara palmar y lateral, c Imagen ecográfica en eje largo en cara palmar de una polea, A4 sin rotura, distancia tendón (T, flexor profundo) hueso (H, falange media) (TH) de 1,1mm (flechas blancas) en posición de flexión activa del dedo, d Imagen ecográfica en eje largo en cara palmar de una rotura completa de una polea A4, distancia TH de 2,3mm (flechas blancas) en posición de flexión activa del dedo. Fuente: Iruretagoiena-Urbieta X, De la Fuente-Ortiz de Zarate J, Rodríguez-López ES, Barcoi6-Gallindez P, Oliva-Pascual-Vaca A, Otero-Campos A, Blasi M. Ultrasonographic Diagnosis of A2 or A4 Flexor Tendon Pulley Injury: A Systematic Review. Wilderness Environ Med. 2020;1080-6032(20)30130-7

1.11.1. Revisión sistemática de diagnóstico ecográfico

En una revisión sistemática reciente (Anexo VII) donde analizamos 7 estudios [24,40,48,49,50,51,52], concluimos que existe una gran heterogeneidad tanto en el protocolo de valoración ecográfica como en sus respectivos resultados. (Tabla 3) [53].

En cuanto a la valoración ecográfica, se identificaron cinco variables en las cuales cada autor ha optado por una metodología totalmente distinta.

En primer lugar, las variaciones en los resultados de los diversos estudios pueden haberse visto influenciados por las diferencias en los sujetos de las diferentes muestras. Así, dos estudios analizados en dicha revisión se han realizado sobre cadáveres de sujetos de una edad media de 75 [24] y 73 años [51]. La edad de los sujetos in vitro no coincide con la exploración ecográfica que se realiza sobre escaladores, mayormente jóvenes, respecto al resto de estudios, aunque cierto es que el cadáver permite la manipulación previa de provocar la patología de poleas antes realizar las mediciones [40].

En segundo lugar, la posición del dedo del paciente es otro tema de controversia. En cuanto a la activación del dedo del paciente se refiere, las mediciones ecográficas se realizan tanto con la mano en reposo como en flexión activa simulando un arqueo cerrado [51]. Klausner et al [49], concluyó que la única manera fiable es la flexión activa, por ello Schöffel et al [24], utilizaron únicamente la posición en flexión activa, sin medir la distancia TH en reposo. Cabe destacar que Bassenir et al [48], realizaron las mediciones en ambas posiciones, en flexión activa y en reposo, para comparar sus resultados con los resultados de los estudios previos. Este último autor fue el primero en realizar las mediciones ecográficas indirectas de las poleas anulares A2 y A4 solamente en sujetos sanos no escaladores con el objetivo de conseguir los valores normales de la población no escaladora y no patológica.

En tercer lugar, respecto a la posición y los grados de flexión de las tres articulaciones del dedo, si pasamos el filtro solo en aquellas posiciones utilizadas en flexión activa del paciente, las tres únicas publicaciones con la descripción de la posición del dedo suficientemente detallada no coincidieron ni en los grados de flexión de la articulación IF proximal, ni a IF distal. Klausner et al [49] y Schöffel et al [24], son los que más se asemejaron, con una flexión de la articulación IF proximal de 40° y 30° y una flexión de la articulación IF distal de 10° y flexión máxima. La medición de la angulación de las articulaciones IF se realiza con un goniómetro, sin embargo, es posible que la dimensión de apertura de la sonda incapacite la colocación idónea de dicha posición. Con el fin de evitar este conflicto, Bassenir et al [48], propusieron una posición compuesta por una extensión completa de la articulación MCF y IF proximal junto a 30° de flexión de la IF distal.

Tabla 1. Metodología de valoración y mediciones ecográficas de los estudios Rodríguez-López ES, Barceló-Gallindez P, Oliva-Pascual-Vaca A, Otero-Campos Systematic Review. Wilderness Environ Med. 2020;1080-6032(20)30130-7

revisados. Fuente: Iurretagoiena-Urbieta X, De la Fuente-Ortiz de Zarate J, Á, Blasi M. Ultrasonographic Diagnosis of A2 or A4 Flexor Tendon Pulley Injury: A

7	Muestra	Herramienta diagnóstica	Posición del dedo en US	Referencia anatómica en US	Medida de distancia TH
Bassemir et al (48)	200 sujetos sanos no escaladores	US 18 MHz (almohadilla de gel)	a) Reposo b) FA (500gr): IFP ext IFD 30° flex	a) A2: TP-PM FP b) A4:	a) A2: Reposo: 0.4mm (0.3-0.6mm) FA: 0.5mm (0.3-0.8mm) b) A4 Reposo: 1.1mm (0.6-1.8mm) FA: 1.4mm (0.8-2.2mm) *Resultados resumidos de la tabla 3 ⁴⁸
Schöffl et al (24)	14 manos cadavéricas	US 14 MHz	a) FA (ION): IFD 30° flex		a) RC A2: FA: 1.9mm b) RC A2 (rotura múltiple): FA: 3.7mm c) RC A4: RA: 1.8mm d) RC A4 (rotura múltiple): FA: 2.7mm
Bodner et al (52)	32 sujetos (29 escaladores, 3 no escaladores) Grupo control (10 sujetos no escaladores)	US 10 MHz (almohadilla de silicona) RMN	a) Reposo b) FA (max): MCF 0° IFP 40° flex IFD 10° flex	a) A2: TD FP A2 borde distal	a) RC A2: Reposo: 3.1mm (3.1-4.5mm) FA: 5.1mm (3.9-7mm) b) RP A2: Reposo: 1.7mm (1.4-2mm) FA: 2.2mm (1.8-3mm)
Klauser et al (50)	34 escaladores Grupo control (20 sujetos no escaladores) 216 dedos	US 10 MHz (almohadilla de gel)	a) Reposo b) FA (max): MCF 0° IFP 40° flex IFD 10° flex		a) RC A2: Reposo: 3.1±0.05mm FA: 5.1±0.15mm

7	Muestra	Herramienta diagnóstica	Posición del dedo en US	Referencia anatómica en US	Medida de distancia TH
Hauger et al (51)	11 manos cadavéricas	US 12 MHz TC RMN	a) Reposo b) Flex c) FA (500gr): flex dedos	a) A2: TD FP	a) RC A2: Reposo: 1.1mm (1-2mm) Flex: 2.4mm (2-4mm) FA: 3.3mm (1-4mm) c) RP A2: Reposo: 0.5mm (0-1mm) Flex: 0.5mm (0-1mm) FA: 1.4mm (0-2mm)
Klausner et al (49)	64 escaladores	US 12 MHz (almohadilla de gel) RMN	a) Reposo b) FA (max): MCF 0° IFP 40°flex IFD 10°flex	a) A2: 15-20 mm distal desde base FP b) A4: PM FM	a) RC A2: Reposo: 2.8±0.7mm (1-3.3mm) b) FA: 4.6±0.6mm (3-4.9mm) RP A2: Reposo: 0.9±0.7mm (0-2.2mm) FA: 1.5±0.6mm (1-3.1mm) c) RC A4: Reposo: 1.5±0.4mm (1-2mm) FA: 3.1±0.5mm (2.5-3.7mm)
Schöffl et al (40)	604 escaladores	US 7,5 MHz (tubo de agua) RMN opcional			a) RC A2: >2mm b) RP A2: <2mm c) RC A4: >2mm d) RP A4: <2mm

US: ecografía; RMN: resonancia magnética; TC: tomografía computerizada; FA: Flexión activa forzada interfalángica proximal; MCF: articulación metacarpofalángica; A2: polea anular 2; A4: polea anular rotura parcial; RC: rotura completa.

contrarresistida; flex: flexión; ext: extensión; IFD: articulación interfalángica distal; IFP: articulación 4; TP: tercio proximal; TD: tercio distal; FP: falange proximal; PM: punto medio; FM: falange medial; PR:

En cuarto lugar, otra cuestión de conflicto es la fuerza de activación de flexión por parte del paciente y el nivel de resistencia opuesto por el ecografista. Al igual que en la posición del dedo, los estudios analizados no coinciden en la fuerza de activación. Se pueden diferenciar tres tipos de métodos para provocar una flexión activa del dedo del paciente con el objetivo de observar la separación del TF de la falange. Hauger et al [51], y Bassemir et al [48], coinciden en utilizar un dedal hecho a medida de la falange distal con un peso estándar de 500 gr para provocar dicha activación. Klausner et al

[49] realizaban mediante la mano libre del ecografista una resistencia máxima de la falange distal, pidiendo una fuerza máxima de flexión del dedo del paciente. Schöffl et al [24], traccionaba de unas palancas los dedos cadavéricos para crear una flexión pasiva de 10N. Por lo tanto, además de no coincidir en la posición y en la activación del dedo, tampoco están de acuerdo en la cantidad de newtones de flexión del dedo a analizar, ya que hay una diferencia desde 500 gramos que equivale a 0,5N hasta una fuerza máxima que puede llegar a ser más de 100 veces mayor. El método que más

se asemeja a un protocolo de medición es la del dedal de la falange distal, de todas formas, el peso estándar debería cambiarse dependiendo de las características antropométricas y fisiológicas del dedo y del sujeto, en vez de estandarizar en 500 gramos [48].

En quinto lugar, otro factor que varía en los estudios son las marcas de referencia anatómicas utilizadas en las mediciones ecográficas, es decir, en qué altura de la falange medir la distancia TH [17,22,54]. Todos los estudios coinciden en que la medición de la A4 se realiza en el punto medio de la FM [40,48,49,51]. Sin embargo, y así como la coincidencia de los estudios en la polea A4, existen claras discrepancias de los diferentes estudios en la polea A2. Dichas discrepancias se creen que son debido a que la longitud y la ubicación de la polea A2 es más difícil de delimitar que la polea A4 debido a la dificultad de diferenciar con la polea A1 por proximidad anatómica [24]. Así, Hauger et al [51] y Klausner et al [49] definen el punto de medición en el tercio distal de la FP, Klausner lo sitúa entre 15-20 milímetros (mm) distal de la base de la FP, Schöffl et al [40], al igual que en la polea A4, utiliza de referencia el punto medio de la FP. Por último, Bassemir et al [48], lo detalla en el tercio próximo-medial de la FP. Es muy importante precisar lo máximo posible las marcas de referencia para no diagnosticar falsos positivos ni falsos negativos.

Consecuentemente, existe una gran controversia en los resultados de las mediciones ecográficas de distancia TH para establecer un umbral diagnóstico de rotura completa de la polea A2 o A4. Respecto a las roturas completas de la polea A2 en posición de flexión activa forzada, los valores varían desde 1,9mm [24] a 5,1mm [52] (3,2mm de diferencia) y en roturas completas de A4 desde 1,8mm [24] a 3,1mm [20]. Sin embargo, el umbral con mayor aceptación es una distancia TH de 2 mm (Figura 16) [49].

1.11.2. Diagnóstico ecográfico de roturas múltiples de poleas

Las roturas múltiples de polea se pueden diagnosticar ecográficamente. Están descritos los valores de distancia TH de cada polea en todas las posibles roturas múltiples, con su respectivo valor de sensibilidad y especificidad [24]. Este estudio concluye que las mediciones sobre las poleas A2 y A4 cuentan con un nivel de sensibilidad y especificidad alto, mientras que el diagnóstico aislado o múltiple de la polea A3 cuentan con valores relativamente más bajos (Tabla 4).

Tabla 4. Distancia tendón-hueso de cada polea en cada tipo de rotura con su respectivo valor de sensibilidad y especificidad. Fuente: Schöffl I, Hugel A, Schöffl V, Rascher W, Jürgert J. Diagnosis of Complex Pulley Ruptures Using Ultrasound in Cadaver Models. *Ultrasound Med Biol.* 2017;43(3):662-669

PATOLOGÍA Distancia T-H (mm)	A2	A3	A4	SENSIBILIDAD	ESPECIFICIDAD
Rotura A2	3.7	3.1	1.03	0.83	0.97
Rotura A3	0.5	2.5	0.7	0.2	1
Rotura A4	0.8	2.8	2.7	0.83	0.89
Rotura A2/A3	4.5	2.4	1.6	0.5	0.84
Rotura A2/A4	3.5	3.3	2.9	0	1
Rotura A3/A4	0.4	2.2	2.7	0.33	0.97
Rotura A2/A3/A4	3.9	3.5	3.4	0.9	0.89
Sin rotura	0.48	2.17	1.00		

1.11.3. Clasificación de poleas

Schöffl et al (2003) crearon una clasificación de patología de poleas anulares de cuatro grados (GD) dependiendo de su gravedad y proporcionando información sobre si es necesario un tratamiento conservador o quirúrgico junto a un tiempo estimado de recuperación (Tabla 5) [40,55].

Tabla 5. Clasificación de patología de poleas. Fuente: Schöffl V, Hochholzer T, Winkelmann HP, Strecker W. Pulley injuries in rock climbers. Wilderness Environ Med. 2003;14(2):94-100

GD	Patología	Tratamiento	Tiempo de recuperación parcial Empezar a escalar	Tiempo de recuperación total Escalar sin restricciones
I	Distensión	Conservador	4 semanas	6-8 semanas
II	Rotura completa de A4 o rotura parcial de A2 o A3	Conservador	4 semanas	6-8 semanas
III	Rotura completa de A2 o A3	Conservador	6-8 semanas	6 meses
IV	Roturas completas combinadas de (A2 y A3 o A2,A3 y A4) o rotura completa de (A2 o A3) combinada con patología de lumbricales o ligamentos colaterales interfalángicas	Quirúrgico	3 meses	6-4 meses

Sin embargo, la imagen ecográfica de la polea y su respectiva sintomatología no siempre son proporcionales. Según la experiencia clínica, es habitual encontrarse con alteraciones en la imagen ecográfica de la polea que no estén acompañados de dolor y viceversa. poleas con mucha sintomatología con imágenes ecográficas de aspecto normal. En base a lo expuesto, nos planteamos complementar el diagnóstico de las poleas flexoras con una tercera herramienta de valoración, la pérdida de fuerza.

Se plantea como hipótesis que en la lesión aislada de una polea anular A2 o A4, la pérdida de fuerza flexora de los dedos podría estar relacionada con la presencia de dolor y con la alteración ecográfica. Pudiendo considerarse la medición de la fuerza como el complemento objetivo y fiable en el diagnóstico de una lesión de polea en escaladores y así solventar la controversia existente entre la imagen ecográfica y la sintomatología de dolor.

Capítulo 3

Objetivos



Para comprobar si la pérdida de fuerza podría ser una herramienta de valoración en las lesiones de poleas, se marcaron como objetivos principales:

- i. Determinar si la lesión aislada de una polea anular A2 o A4 provoca un déficit objetivo de fuerza flexora de los dedos en comparación con el lado contralateral sano.
- ii. Determinar si existe una correlación entre la distancia tendón-hueso ecográfica, el déficit de fuerza flexora de los dedos y la sintomatología clínica.

Capítulo 4

Metodología



4.1

Planteamiento del estudio

Con el fin de alcanzar los objetivos se planteó la realización de un estudio con un diseño descriptivo y cuantitativo de prevalencia (se midieron una serie de variables en escaladores y en un momento determinado) con una dirección temporal transversal (en un momento determinado sin secuencia temporal) y una cronología retrospectiva (los datos se recogieron después de haber tenido la lesión de las poleas anulares).

En el estudio se evaluaron cuatro grupos de datos. En primer lugar, los datos demográficos, como la edad, la masa corporal y la estatura. En segundo lugar, datos en relación con el rendimiento deportivo compuesto por la cantidad de años escalando, la cantidad de años escalando por encima del 9,66 de dificultad y el nivel de rendimiento o grado máximo ensayado. En tercer lugar, las mediciones correspondientes a la presencia de dolor. En cuarto lugar, la fuerza de los flexores mediante el aparato Bindar. En quinto y último lugar, las mediciones ecoográficas de la distancia TH a la altura de las poleas anulares A2 y A4, en eje longitudinal. Se midió los parámetros mencionados del respectivo dedo en ambos lados.

4.2

Diseño

Se realizó un estudio de corte transversal analítico en el que se reclutaron escaladores experimentados, realizándose una valoración clínica, un estudio ecográfico, y un análisis de fuerza flexora de los dedos. El estudio se llevó a cabo de acuerdo con las normas éticas de la Declaración de Helsinki [56] (Anexo I), los principios éticos para las investigaciones científicas que proporcionan la práctica en seres humanos (Anexo II) y se respetó la confidencialidad de los datos de los pacientes [57].

Este estudio recibió la aprobación del Comité Ético de la Investigación de la Universidad Camilo José Cela, el 22 de marzo del 2018 (Anexo III), certificando que el estudio cumple los requisitos exigidos para experimentación en sujetos humanos y en animales, y se ajusta a las normativas vigentes en España y la Unión Europea.

Todos los pacientes fueron informados por escrito sobre los objetivos y procedimientos del estudio (Anexo IV) y aceptaron participar mediante la firma de una declaración de consentimiento informado (Anexo V).

4.3

Participantes

4.3.1. Tipo de muestreo

El muestreo se centró en una población accesible que responden a los criterios seleccionados, constituido por escaladores que acuden a de la clínica de fisioterapia Ekin (Aretxabaleta, Guipuzcoa). Al desconocer la probabilidad de cada sujeto de ser incluido en la muestra, llevamos a cabo un muestreo no probabilístico y por conveniencia.

4.3.2. Marco del estudio

La toma de datos y mediciones del estudio se realizó en la clínica de fisioterapia Ekin (Aretxabaleta, Guipuzcoa).

4.3.3. Criterios de inclusión

Se determinaron los siguientes criterios de inclusión para la selección de los participantes que constituyeron la muestra del objetivo principal:

- Sujetos mayores de 18 años.
- Escaladores con un mínimo de un año de experiencia.
- Diagnosticados de lesiones de polea anular A2 o A4 de los dedos medio o anular, mediante palpación, ecografía o ambas.
- Haber transcurrido un mínimo de 2 semanas y un máximo de 6 meses desde la lesión.

4.3.4. Criterios de exclusión

En la muestra para la comprobación tanto del objetivo principal como secundarios, se excluyeron aquellos escaladores con los siguientes criterios:

- Escaladores con rotura múltiple A2/A3/A4.
- Lesiones de polea anular A2 o A4 bilateral, diagnosticadas mediante palpación, ecografía o ambas.
- No haber realizado un diagnóstico previo de los dedos para excluir todo tipo de alteraciones no relacionados con poleas que pueda alterar los resultados (como puede ser una tendinopatía del FDS o FDP, una tenosinovitis, un dedo en gatillo, un nódulo, un quiste, un lipoma, etc).
- Aquellos que hubiesen sido intervenidos quirúrgicamente por cualquier patología a la altura o más distal del codo. En el análisis del objetivo secundario además se excluyeron aquellos con cualquier lesión y/o cirugía previa de dedos

4.4 Grupos de estudio

Los sujetos se dividieron en cuatro grupos (Figura 16) para proceder a analizar el déficit de fuerza en la rotura de las poleas flexoras (objetivo principal). El grupo 1 compuesto por escaladores con distancia TH > 2 mm y dolor a la palpación, el grupo 2 por escaladores solamente con dolor a la palpación y distancia TH < 2 mm y el grupo 3 por escaladores con distancia TH > 2 mm, pero sin dolor a la palpación. El grupo 4, fue el grupo control que no presentaba lesión de poleas, ni dolor a la palpación y distancia TH < 2 mm.

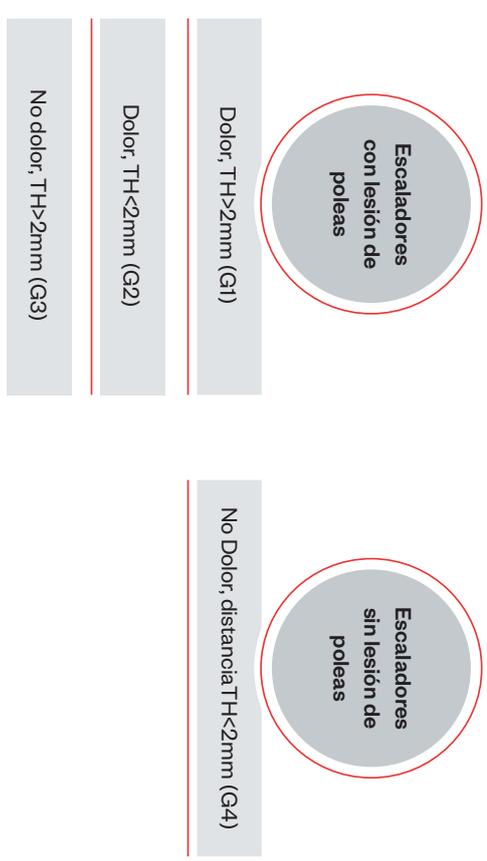


Figura 16. Grupos de estudio para el estudio del déficit de fuerza

4.5

Variables del estudio

Se recojieron los datos demográficos y de escalada: (i) edad; (ii) masa corporal; (iii) estatura; (iv) grado máximo ensayado en escalada deportiva; (v) cantidad de años escalando y (vi) cantidad de datos con las mediciones de presencia del dolor a la palpación, del déficit de fuerza y la medición ecoográfica de distancia TH. Para los objetivos principales, estas tres mediciones se realizaron en los tres primeros grupos de estudio en el dedo de la polea afecta (A2 o A4 de dedo medio o anular) y su respectivo lado contralateral sano. En el cuarto grupo estas mediciones se realizaron en la polea A2 del dedo anular y su respectivo lado contralateral. Para los objetivos secundarios, en el quinto y sexto grupo de estudio se realizó únicamente la medición ecoográfica en las poleas A2 y A4 del dedo medio y su respectivo lado contralateral. Estas mediciones fueron realizadas por dos miembros del equipo de investigación, ante cualquiera discrepancia, un tercer miembro se encargó de resolverlo.

4.5.1. Cuestionario sobre los datos personales y el nivel de rendimiento en escalada

Los pacientes tuvieron que rellenar dos cuestionarios distintos. Por un lado, un cuestionario respecto a sus datos personales (Anexo VI). Por otro lado, otro cuestionario sobre su rendimiento y nivel de escalada (Anexo VII). Cabe destacar que la credibilidad del grado de dificultad o el nivel de rendimiento que responden los propios escaladores en los cuestionarios es significativo [58]. Respecto al nivel de rendimiento, existe una escala internacional con decimales para el uso científico (Anexo IX). Una variable del estudio es la cantidad de años escalando por encima del 8a de dificultad, 8a es una dificultad media-alta en la nomenclatura francesa que se ha considerado como el umbral de alto rendimiento y equivale a un 9/66 en la escala internacional.

4.5.2. Dolor a palpación

El evaluador y el sujeto se sentaron uno a cada lado de la camilla. El sujeto apoyaba ambos antebrazos y la cara dorsal de la mano en su totalidad sobre la camilla, con extensión activa completa de los dedos. Se realizó la palpación en el punto más doloroso de la polea A2 (Figura 18) o A4 (Figura 19) afectada y se comparó con el mismo punto anatómico del lado contralateral. El resultado fue registrado de forma binaria: síla palpación reproducía dolor o no.



Figura 18. Localización y palpación de la polea A2. Fuente: Elaboración propia

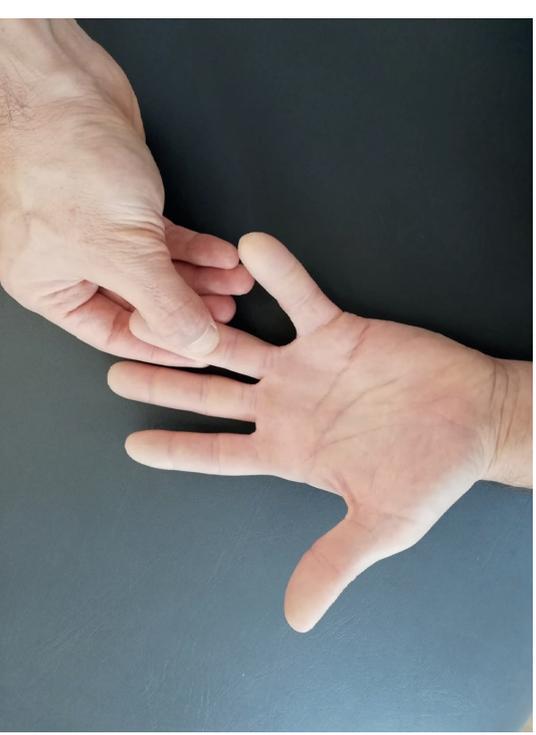


Figura 19. Localización y palpación de la polea A4. Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Mediciones ecográficas

Se utilizó el ecógrafo Toshiba Aplio i800 a 24MHz de frecuencia para realizar el estudio ecográfico de la medición indirecta de las poleas anulares A2 y A4 en eje longitudinal, es decir, la distancia TH (Figura 20). La metodología se basó en las publicaciones de los autores Bassemir et al [48], Klausner et al [49] y Bodner et al [52], puesto que son las tres investigaciones principales del diagnóstico de roturas de polea mediante la ecografía en sujetos in vivo y con la metodología de exploración redactada.

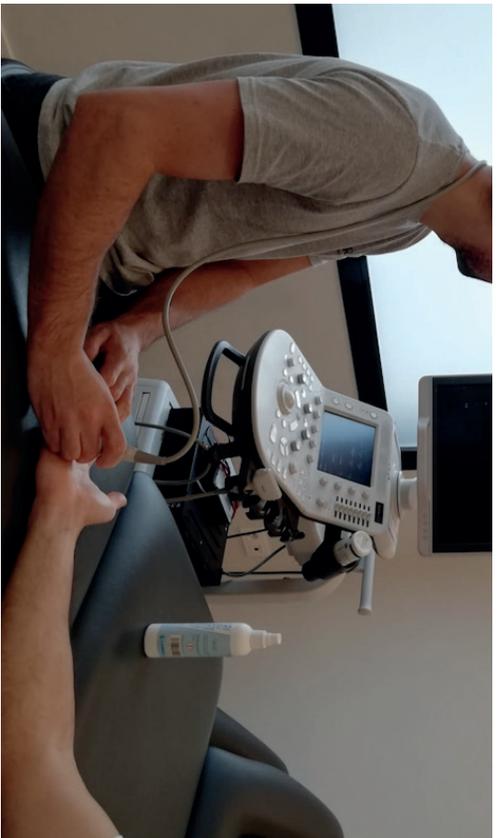


Figura 20. Localización y palpación de la polea A4. Fuente: Elaboración propia

Tras la revisión de la literatura, determinamos realizar las mediciones ecográficas en eje largo en la polea afecta (A2 o A4 del dedo medio o anular) y en el lado contralateral sano, calculando además el porcentaje de incremento de la distancia TH de la polea afecta respecto al lado contralateral.

Para dicha medición, el dedo del escalador se colocó en posición neutra de la articulación metacarpofalángica (MCF), 40° de flexión de la articulación IFP y 10° flexión de la articulación IFD. Durante la exploración, el ecografista oponía resistencia en la falange distal del dedo del paciente, hasta conseguir la máxima separación posible entre el TF y la falange (Figura 21).

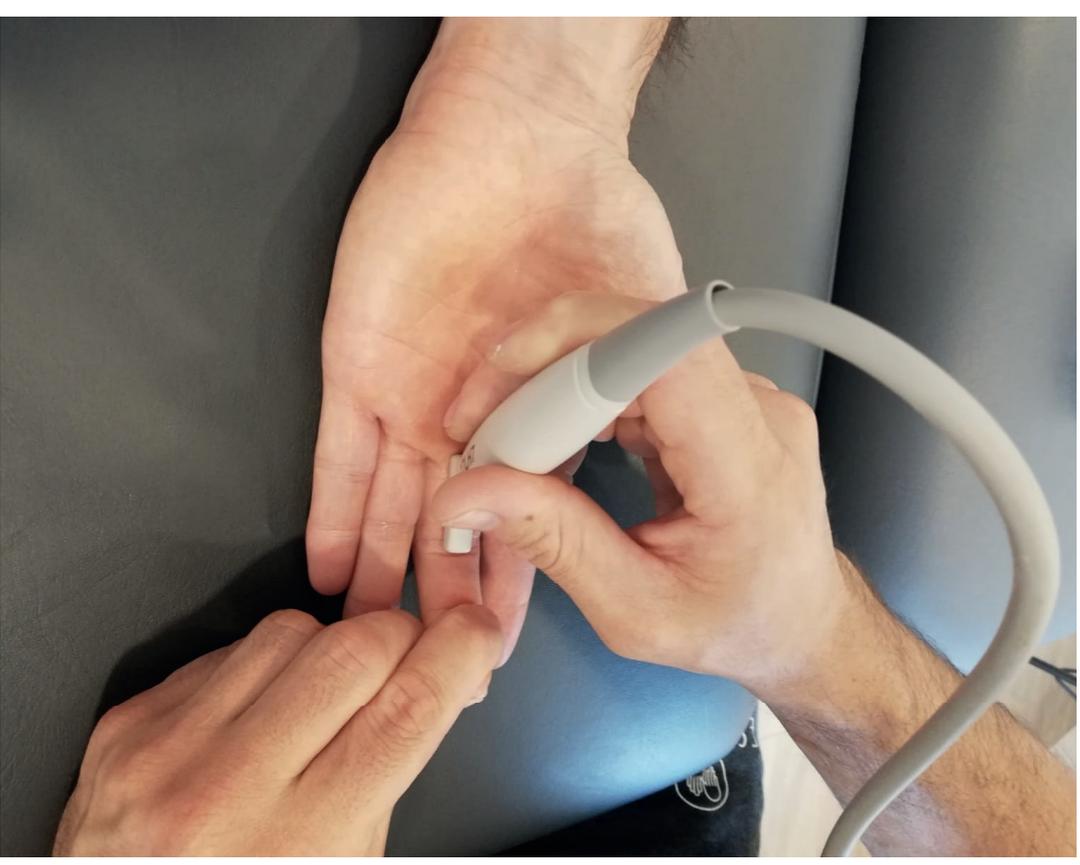


Figura 21. Localización y palpación de la polea A4. Fuente: Elaboración propia

Tal y como se ha propuesto en la literatura, las referencias anatómicas usadas para sistematizar el punto de medición fueron el punto medio de la falange media para la polea A4 y punto medio de la falange proximal para la polea A2 (Figura 22) [24]. Se realizaron tres mediciones y se calculó la media aritmética de las mismas.

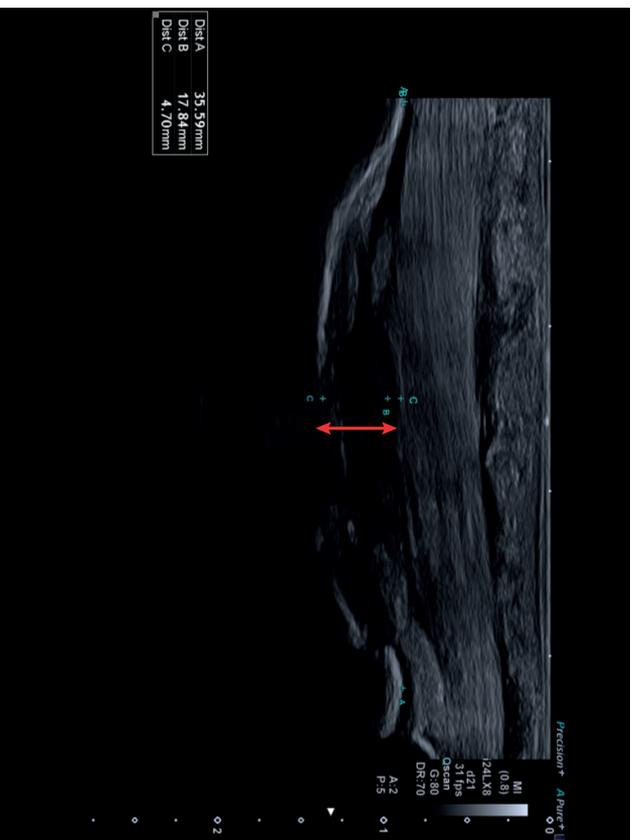


Figura 22. Imagen ecográfica de alta resolución de una rotura completa de la polea A2. La flecha indica la distancia tendón-hueso en el punto medio de la falange proximal. Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Análisis de déficit de fuerza flexora

La medición de la fuerza del dedo afecto se realizó mediante el dinamómetro Bindar (Figura 23).

Se realizaron las mismas mediciones en el lado contralateral sano para así calcular el porcentaje de déficit de fuerza.



Figura 23. Dispositivo Bindar. Fuente: Elaboración propia

4.5.4.1. Calentamiento de Bindar

El objetivo fue realizar un calentamiento de los músculos flexores de los dedos de la mano a medir y familiarizarse con el nuevo aparato. Se utilizó el mismo protocolo de calentamiento que en las investigaciones realizadas por MacLeod et al. [46] y más adelante por Fryer et al. [59] con el “fingerboard apparatus” con ciertas modificaciones, con el objetivo de asegurarnos un calentamiento adecuado de los músculos flexores de los dedos.

El protocolo consistió en tres ejercicios (Figura 24). El primer ejercicio consiste en realizar seis contracciones al 40% de su fuerza máxima, isométricamente durante 10 segundos. El segundo ejercicio se basa en realizar seis contracciones durante 10 segundos a la misma intensidad con un descanso de 2 segundos entre repeticiones. El tercer ejercicio, se basa en realizar tres contracciones maximales con cada mano y después, otras tres contracciones maximales con el dedo a medir de cada lado, con

30 segundos entre repeticiones. Todos los ejercicios no deben de doler y se permite movilizar el miembro superior entre los ejercicios para sentirse mejor. Si el dolor aparece en cualquier ejercicio del calentamiento, no se realiza dicho ejercicio. Los estiramientos, dominadas y suspensiones estuvieron prohibidos, ya que, el objetivo fue calentar utilizando solamente el aparato Bindar. Tampoco se permitió que el escalador tuviese la opción de realizar suspensiones o dominadas, ya que, aunque se sintiese mejor o incluso mas seguro, todos los escaladores tuvieron que partir de las mismas condiciones.

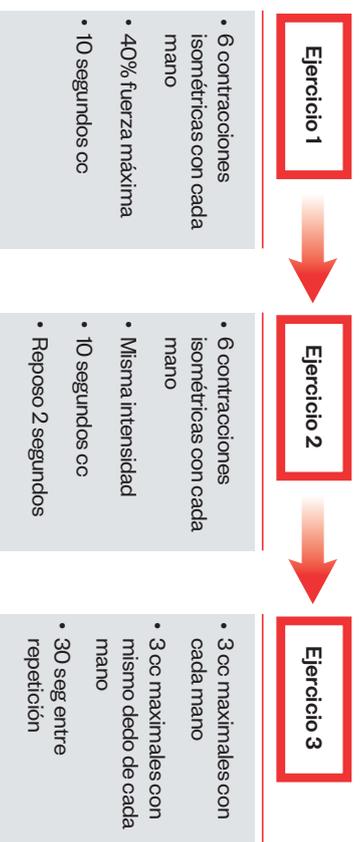


Figura 24. Protocolo de calentamiento con Bindar

4.5.4.2. Posición del cuerpo

La posición del paciente se realizó siguiendo las indicaciones de Balas et al. [42]: fue de 180/0, es decir, paciente en sedestación con el tronco a 90° de flexión, hombro en flexión completa de 180° y codo en completa extensión.

Con el fin de evitar cualquier tipo de descompensaciones, los muslos se ataron con una cincha y se puso una báscula debajo de los pies del paciente para verificar que no realizó ninguna presión contra el suelo con el ánimo de hacer mayor fuerza sobre la presa (Figura 25).

Para aumentar los valores de validez, es decir, aumentar la correlación entre los valores de fuerza maximales con el respectivo nivel de rendimiento y la especificidad, que hace referencia a la similitud con la escalada en roca, se podrían haber realizado

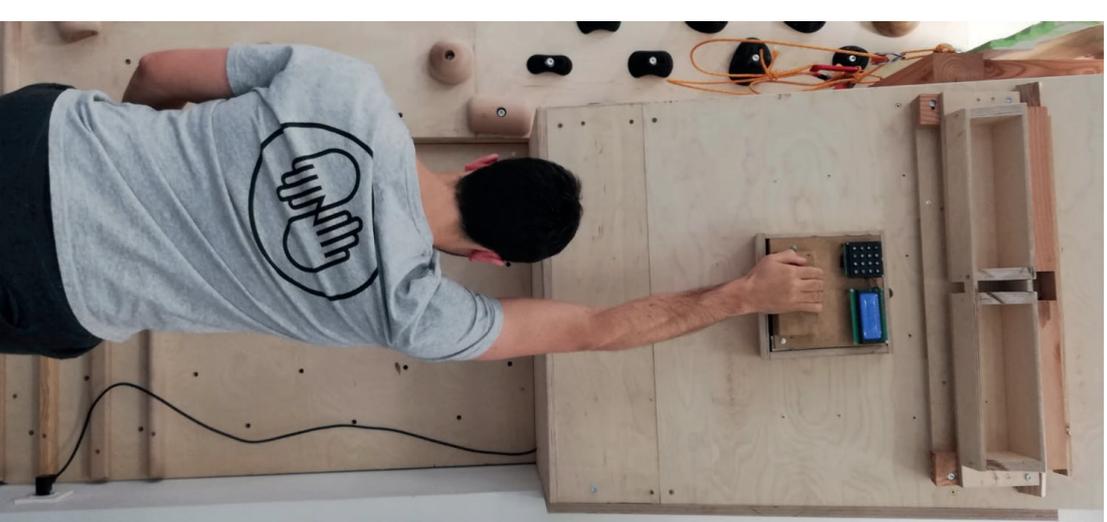


Figura 25. Posición del cuerpo en la medición de fuerza con Bindar. Fuente: Elaboración propia

las mediciones en bipedestación, en vez de realizar en sedestación. Sin embargo, no se realizaron por tres razones principales. En primer lugar, en una posición real de pie como en un rocódromo o en la roca, es muy difícil mantener estable el cuerpo y mantener el centro de gravedad en el mismo punto por igual en todos los sujetos con las manos por encima de los hombros. En segundo lugar, la fuerza estaría repartida en todos los miembros. En tercer lugar, es de gran dificultad medir la fuerza analítica de los músculos flexores de los dedos, ya que escalando se activan tanto voluntaria como involuntariamente mayor número de músculos, consiguiendo una sinergia muscular necesaria para escalar.

Por ello, se utilizó la posición más frías, válida y con mayor capacidad de fuerza, con el paciente en sedestación con 90° de flexión del tronco superior, los pies juntos encima de una báscula para verificar que no exista impulso contra el suelo, y 180° de flexión del hombro con extensión completa de codo y muñeca.

4.5.4.3. Tipos de agarre en Bindar

Las mediciones se realizaron en tres tipos de agarre: monodedo arqueado del dedo afecto (Figura 26a), arqueado abierto de la mano (Figura 26b) y arqueado cerrado de la mano (Figura 26c), en ambas manos.



Figura 26. Tipos de agarre en Bindar. (a) Monodedo arqueado. (b) Arqueado abierto de la mano. (c) Arqueado cerrado de la mano. Fuente: Elaboración propia

Los tres tipos de agarre son agarres en arqueado, donde mayor sollicitación se le ejerce a las poleas anulares. Por lo tanto, no se realizaron las mediciones en agarre en extensión, ya que la sollicitación biomecánica de las poleas es mucho menor.

Respecto al arqueado abierto, se ha seleccionado dicho tipo de agarre por dos razones distintas. Por un lado, para poder comparar los resultados con los resultados de la dinamometría, en la cual se realiza un agarre en pinza y dentro de las posibilidades de Bindar, el arqueado abierto es el agarre que más se asemeja. Por otro lado, el agarre con el mayor índice de especificidad de cara a la escalada en roca es el arqueado abierto.

4.5.4.4. Protocolo de medición con Bindar

Los escaladores no realizaron ningún tipo de ejercicio las 48 horas previas a la toma de datos. Antes de las mediciones se realizó el calentamiento descrito anteriormente. No se realizó ningún otro tipo de ejercicio o estiramiento previo a la medición. Tras un reposo de 3 minutos, se realizó la medición de la fuerza máxima, hasta el umbral de dolor (Figura 27).

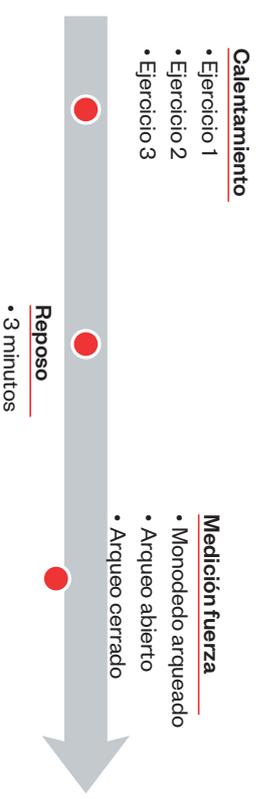


Figura 27. Protocolo de medición con Bindar

Se midió el dedo afecto en agarre de monodedo arqueado, seguido por el agarre de arqueado abierto y el arqueado cerrado de la mano (Figura 28). En cada repetición se pidió una fuerza máxima de 5 segundos, se realizaron tres intentos con cada mano en cada tipo de agarre y en caso de que el mejor valor se obtuviese en el tercer intento, se realizaba una cuarta medición. Entre intentos del mismo agarre se protocolizó un reposo de 30 segundos y entre cambios de agarre y lado, un reposo de 3 minutos.

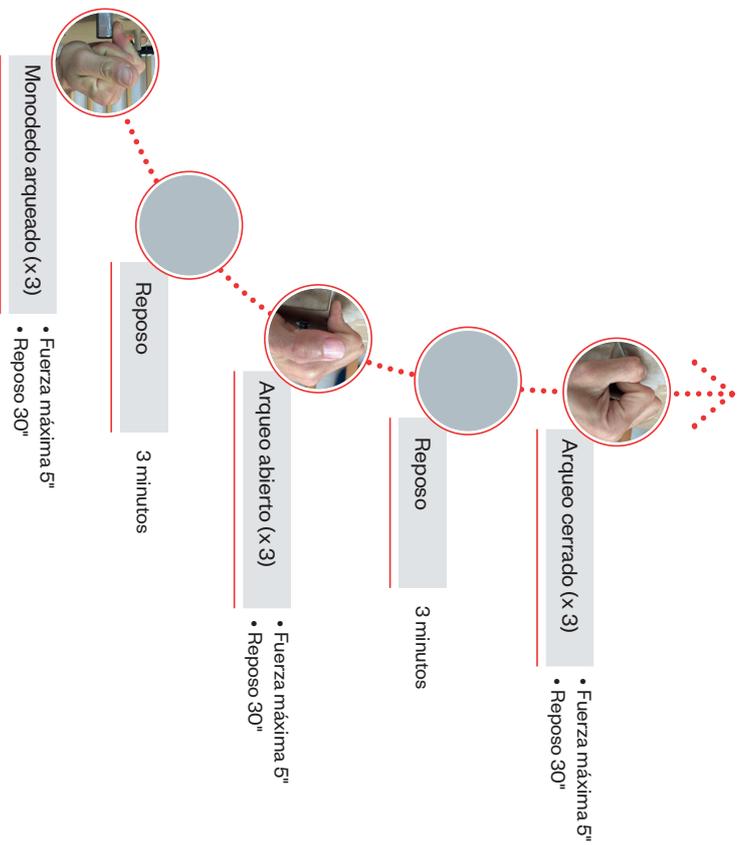


Figura 28. Protocolo de medición de los tres tipos de agarre

4.5.4.5. Cálculo del porcentaje de déficit de fuerza

Una vez que se obtuvieron los datos de fuerza en los tres tipos de agarre máximos en ambas manos hasta el umbral del dolor, se calculó el porcentaje de déficit de fuerza del lado afecto respecto al lado contralateral sano en cada tipo de agarre. Por lo tanto, no se obtuvieron los datos de la fuerza absoluta y relativa, únicamente se analizaron los porcentajes del déficit de fuerza [42].

4.6

Instrumentos de medición

4.61. Ecógrafo

Se utilizó un ecógrafo Toshiba Aplio i800 (Figura 29) equipado con una sonda lineal de 24MHz para medir la distancia TH a la altura de las poleas anulares A2 y A4, en eje longitudinal.

4.62. Sensor Bindar

Para las mediciones de fuerza flexora de los dedos se utilizó un dispositivo Bindar, un sistema mecánico y electrónico que consiste en una presa con un sensor ubicado en el núcleo de la presa y capta la fuerza real que ejerce el escalador con una precisión de 0,1kg. Se cuantificó la carga en newtones, la fuerza de agarre a partir de la cual aparece el dolor. Siguiendo las recomendaciones de Amca et al. [26], que a través de un algoritmo de regresión polinomial establecieron una relación entre la profundidad de la presa, el tipo de agarre y la capacidad de la fuerza, se escogió una regla de 2 cm de profundidad como la presa más adecuada para la medición de la prensión manual.



Figura 29. Ecógrafo Toshiba Aplio i800. Fuente: página web de Canon.

4.7

4.8

Procedimiento de obtención de datos

Los pacientes fueron citados en las instalaciones. Primero se realizó un examen ecográfico para descartar otro tipo de patologías de los dedos que influyesen de manera directa o indirecta en la polea y el tendón. Se les leyó la hoja de información y se procedió a la firma del consentimiento al estudio. Posteriormente se recogieron los datos demográficos y de escalada. Se completó la recogida de datos con las mediciones del dolor, de la ecografía y de la fuerza (Figura 30).

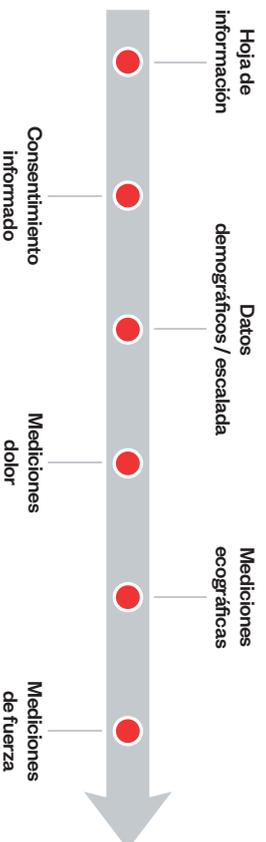


Figura 30. Representación del procedimiento de obtención de datos

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software SPSS 22.0 (SPSS Science, Chicago, Estados Unidos) (Anexo IX). Se calculó la media, desviación estándar e intervalo de confianza (IC) del 95% para medidas continuas, en aquellos datos que se precisa, se proporcionalan como porcentajes. La prueba de Shapiro-Wilk confirmó una distribución normal de las medidas de resultado cuantitativas ($p > 0,05$).

Las medidas de resultado cuantitativas, en cuanto a la relación entre el déficit de fuerza en las lesiones de poleas, se evaluaron mediante un ANOVA de 1 factor (se utilizó Games-Howell para el análisis post hoc), ya que la prueba de Levene reveló la no homogeneidad de varianzas de las variables y la prueba de Shapiro Wilk confirmó su distribución normal. En todas las pruebas, se calculó el tamaño del efecto (η^2). Finalmente, la correlación de Pearson se usó para analizar el grado de correlación lineal entre el déficit de fuerza y la distancia TH. La representación gráfica se obtuvo a través de gráficas de dispersión. También se determinó mediante regresión lineal, se determinó la ecuación del valor del déficit de fuerza y de la distancia ecográfica TH de la polea.

Capítulo 5

Resultados



5.1

Objetivo principal: déficit de fuerza en roturas de polea

De los 55 escaladores revisados para proceder a analizar el déficit de fuerza en la rotura de las poleas flexoras, 26 fueron excluidos, 8 por haber sufrido cirugía de la polea A2, 1 por una cirugía de la enfermedad de Dupuytren, 1 por rotura múltiple A2/A3/A4 y 16 por presentar alteraciones ecográficas de rotura de polea A2 o A4 del dedo anular o medio en ambas manos. Finalmente, se incluyeron 29 escaladores (22 A2/ 7 A4) que cumplían los criterios de inclusión. Así mismo, se incluyeron 10 escaladores como grupo control, que tenían más de un año de experiencia escalando, mayores de edad y sin lesiones previas en miembros superiores (Figura 31).

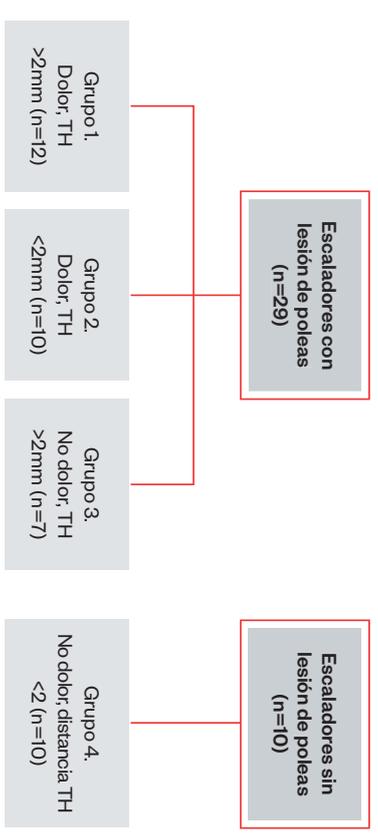


Figura 31. Diagrama de la muestra final para el estudio del déficit de fuerza en la rotura de las poleas flexoras

El grupo 1 compuesto por 12 escaladores con distancia TH > 2 mm y dolor a la palpación, el grupo 2 por 10 escaladores solamente con dolor a la palpación y distancia TH < 2 mm y el grupo 3 por 7 escaladores con distancia TH > 2 mm, pero sin dolor a la palpación. El grupo 4, de 10 escaladores, fue el grupo control que no presentaba lesión de poleas, ni dolor a la palpación y distancia TH < 2 mm.

La muestra total fue de 39 escaladores con una edad media de 33,46±8,94 años (Figura 32). Participaron 33 hombres y 6 mujeres, con una masa corporal de media de 68,15±10,46 Kg y una estatura de 174,62±7,09 cm (Anexo X). Todas las variables siguen una distribución normal, excepto la edad.

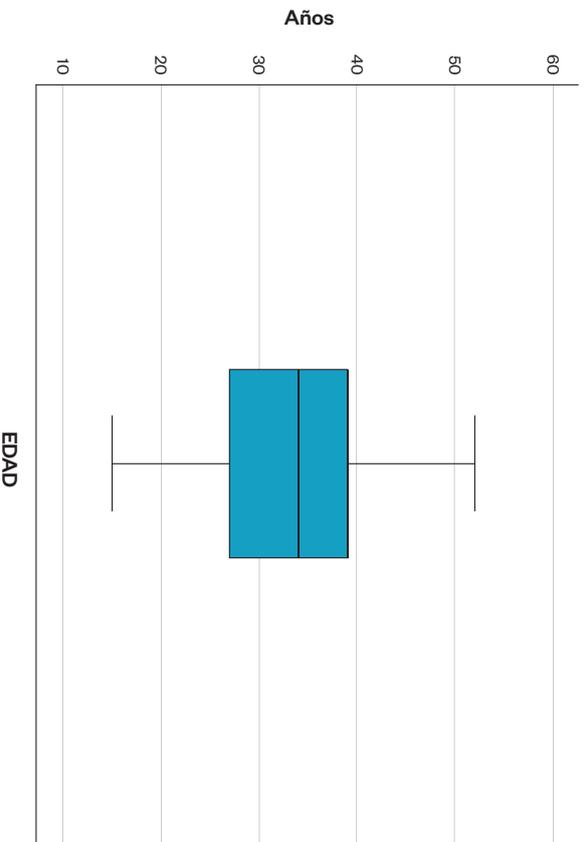


Figura 32. Gráfica de la edad de la muestra total

Se dividió la muestra en 4 grupos. No se encontró ninguna diferencia en las variables de edad, masa corporal y estatura entre grupos. La Tabla 6 refleja las características de la muestra.

Tabla 6. Parámetros epidemiológicos basales y morfométricos generales

Características	Grupo	n	Media	DS - (95%CI)
Edad (años)	Muestra total	39	33,46	8,94 (30,56 - 36,36)
	1 (dolor +, DTH +)	12	35,75	9,12 (29,95 - 41,55)
	2 (dolor +, DTH -)	10	34,20	8,95 (27,79 - 40,61)
	3 (dolor -, DTH +)	7	31,29	9,06 (22,90 - 39,67)
	4 (dolor -, DTH -)	10	31,50	10,05 (62,36 - 75,14)
Masa corporal (kg)	Muestra total	39	68,15	10,46 (64,76 - 71,55)
	1 (dolor +, DTH +)	12	68,75	10,05 (61,70 - 73,70)
	2 (dolor +, DTH -)	10	67,70	8,39 (61,70 - 73,70)
	3 (dolor -, DTH +)	7	75,71	10,24 (66,24 - 85,19)
	4 (dolor -, DTH -)	10	62,60	10,89 (54,81 - 70,39)
Estatura (cm)	Muestra total	39	174,62	7,09 (172,32 - 176,92)
	1 (dolor +, DTH +)	12	175,33	6,58 (171,15 - 179,52)
	2 (dolor +, DTH -)	10	173,80	6,54 (169,12 - 178,48)
	3 (dolor -, DTH +)	7	177,14	4,22 (173,24 - 181,05)
	4 (dolor -, DTH -)	10	172,80	9,73 (165,83 - 179,77)

DS, desviación standard; CI, intervalo de confianza; DTH, distancia tendón-hueso.

En la distancia TH de las poleas A2 o A4 en eje longitudinal, se encontró una interacción significativa según el grupo (F(3,35)=21,77; p<0,001; η²=0,651) (Figura 33).

Los sujetos diagnosticados de patología de poleas con ecografía no presentaron una diferencia significativa en la distancia TH (p=0,504) tuvieron dolor a la palpación (2,86±0,58 mm) o no (2,51±0,45mm). Sin embargo, los valores de la distancia TH son similares (p=0,920) en la patología de poleas diagnosticada sólo mediante dolor a la palpación (1,64±0,21mm) y el grupo sin patología de poleas

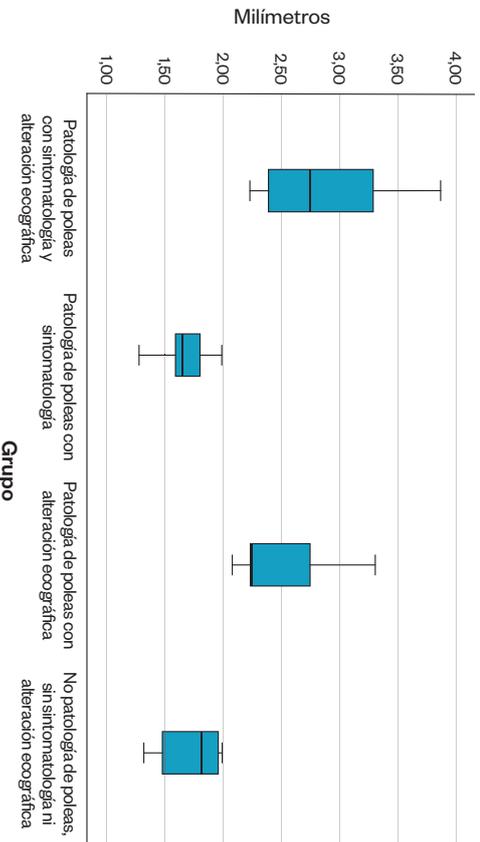


Figura 33. Distancia tendón-hueso del dedo (3/4) y polea (A2/A4) afectados en eje longitudinal por grupos

(1,71±0,26mm). La diferencia significativa se encontró entre los grupos sin alteración ecográfica y el grupo con alteración ecográfica y dolor (p<0,001). La Tabla 7 muestra los resultados de la distancia TH y del déficit de fuerza.

Respecto al aumento de distancia TH del lado afecto sobre el contralateral no afectado, no se encontró una interacción significativa según el grupo (F(3,35)=2,50; p=0,075; η²=0,177). En las comparaciones múltiples, no existió una diferencia significativa en el aumento de la distancia TH respecto al lado afecto en ninguno de los grupos (p>0,05). Excepto que existe un aumento significativo (p=0,007) de la distancia TH respecto al lado no afecto en los sujetos diagnosticados de patología de poleas mediante ecografía y dolor (201,34±67,5%), frente aquellos sin patología de poleas (119,11±11,21%).

En el *déficit de fuerza*, se encontró una interacción significativa según el grupo en el agarre de monodedo arqueado (F(3,35)=10,64; p<0,001; η²=0,477) y arqueo abierto de la mano (F(3,35)=3,27; p=0,032; η²=0,219); no existen diferencias entre los grupos en el agarre de arqueo cerrado de la mano (F(3,35)=1,59; p=0,208; η²=0,120).

En las comparaciones múltiples del agarre de monodedo arqueado, existe una diferencia significativa en la patología de poleas diagnosticada con ecografía

Tabla 7. Distancia tendón-hueso y porcentajes de déficit de fuerza de agarre de los dedos.

	Grupo	n	Media	DS - (95%IC)	p valor*	
						Resultados ecográficos
DTH A2/A4 (mm)	1 (dolor +, DTH +)	12	2,86	0,58 (2,48 - 3,23)	<0,001	
	2 (dolor +, DTH -)	10	1,64	0,21 (1,48 - 1,79)		
	3 (dolor -, DTH +)	7	2,51	0,45 (2,09 - 2,93)		
	4 (dolor -, DTH -)	10	1,71	0,26 (1,51 - 1,90)		
Aumento de DTH en comparación con el lado contralateral no lesionado (%)	1 (dolor +, DTH +)	12	201,34	67,50 (158,45 - 244,23)	p=0,075	
	2 (dolor +, DTH -)	10	160,44	110,88 (81,11 - 239,76)		
	3 (dolor -, DTH +)	7	155,66	44,50 (114,50 - 196,81)		
	4 (dolor -, DTH -)	10	119,11	11,21 (111,09 - 127,13)		
Resultados del porcentaje de déficit de fuerza para cada uno de los tres tipos de agarre	Déficit de fuerza de los dedos en el agarre de monodedo arqueado (%)					
	1 (dolor +, DTH +)	12	53,99	29,27 (35,39 - 72,58)	<0,001	
	2 (dolor +, DTH -)	10	29,30	21,10 (14,21 - 44,40)		
	3 (dolor -, DTH +)	7	16,71	7,17 (10,08 - 23,35)		
	4 (dolor -, DTH -)	10	8,56	4,74 (5,17 - 11,95)		
	Déficit de fuerza en el agarre de arqueo cerrado (%)					
	1 (dolor +, DTH +)	12	19,95	20,40 (6,99 - 32,91)	p=0,208	
	2 (dolor +, DTH -)	10	9,33	21,37 (-5,95 - 24,62)		
	3 (dolor -, DTH +)	7	4,37	3,83 (0,82 - 7,92)		
	4 (dolor -, DTH -)	10	10,49	6,85 (5,58 - 15,39)		
	Déficit de fuerza en el agarre de arqueo abierto (%)					
	1 (dolor +, DTH +)	12	21,36	17,52 (10,23 - 32,50)	p=0,032	
2 (dolor +, DTH -)	10	10,04	14,34 (-0,20 - 20,30)			
3 (dolor -, DTH +)	7	7,90	6,45 (1,93 - 13,86)			
4 (dolor -, DTH -)	10	5,89	4,16 (2,91 - 8,88)			

* ANOVA de 1 factor
DS, desviación standard; IC, intervalo de confianza; DTH, distancia tendón-hueso.

y con dolor a la palpación ($53,99 \pm 29,27N$) respecto a un diagnóstico con solo ecografía positiva ($16,71 \pm 7,17N$; $p=0,005$) o sin patología de poleas ($8,56 \pm 4,74N$; $p=0,001$); sin embargo, no existen diferencias significativas cuando se compara con el diagnóstico de solo dolor a la palpación ($29,30 \pm 21,10N$; $p=0,134$). En el déficit de fuerza no se encontraron diferencias significativas ($p=0,344$) en el grupo de solo ecografía positiva y en el de solo dolor a la palpación.

No existen diferencias en las comparaciones entre grupos ($p > 0,005$) en el déficit de fuerza del agarre en arqueado abierto, excepto que el déficit de fuerza es significativamente mayor ($p=0,049$) en el diagnóstico de patología de poleas con ecografía y dolor positivo ($21,36 \pm 17,52N$) frente a un grupo sin patología de poleas ($5,89 \pm 4,16N$).

La distancia ecográfica TH de la polea y el déficit de fuerza en el agarre de monodedo arqueado están correlacionados entre sí ($p=0,006$; $r=0,436$) (Figura 34). El déficit de fuerza en el agarre de monodedo arqueado se explica en un 19% por la alteración ecográfica de la distancia TH de la polea. La alteración ecográfica no se correlaciona significativamente con el déficit de fuerza en los agarres de arqueado abierto y arqueado cerrado.

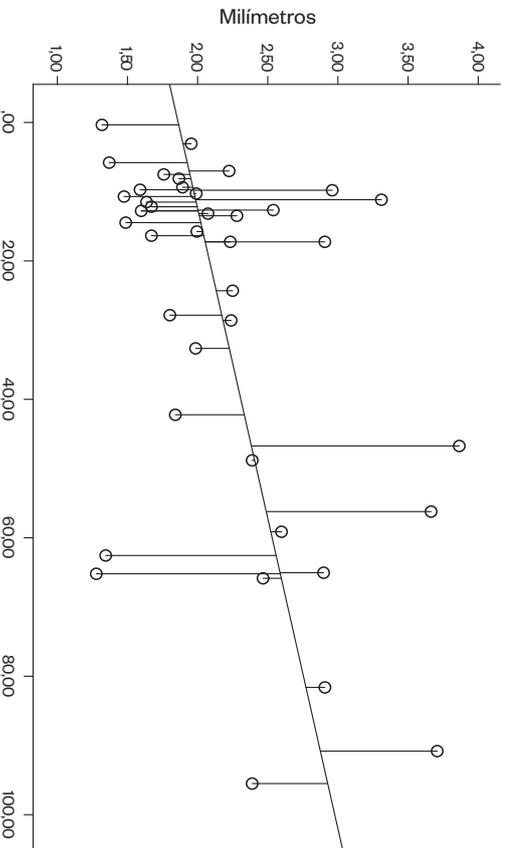


Figura 34. Correlación significativa entre la distancia tendón-hueso y el porcentaje de déficit de fuerza de agarre de los dedos al realizar el agarre de monodedo arqueado. Eje X: porcentaje de déficit de fuerza del dedo lesionado medido con un Bindar en Newtons. Eje Y: distancia tendón hueso del dedo lesionado medido en el eje longitudinal en milímetros

6.1

Objetivo principal: El déficit de fuerza en roturas de polea

La prueba complementaria que aporta mayor valor para el diagnóstico de las lesiones de las poleas es la ecografía. Los siguientes signos ecográficos están asociados con la rotura completa: inflamación hipocócica de la polea, un incremento dinámico de la separación entre el TF y la falange, suflusión de la vaina flexora y ocasionalmente, doppler color positivo [60]. No obstante, el signo indirecto conocido como la distancia TH es el más consagrado en la literatura [24,40,48-52]. Al tratarse de una medida indirecta, el contexto clínico específico es de gran valor para no sacar conclusiones diagnósticas erróneas. A continuación, se discuten los diferentes objetivos del presente estudio para valorar si la capacidad para determinar la fuerza de forma objetiva, el tipo de agarre usado en la medición de la misma y la presencia o ausencia de dolor pueden aportar información relevante a la hora de considerar una rotura de polea A2 o A4 con criterios ecográficos de distancia TH.

6.1.1. Medición de fuerza de agarre

Los resultados del presente estudio muestran diferencias relevantes respecto a un estudio previo con un objetivo similar [19], donde no encontraron diferencias significativas de déficit de fuerza de los flexores de los dedos en roturas de poleas. Podrían ser varios los motivos que justifiquen la divergencia entre los estudios.

El sistema Bindar ha sido diseñado teniendo en consideración los últimos estudios sobre la prensión manual de los escaladores [47,61], prestando especial atención a las propiedades de la presa [41] y el posicionamiento del cuerpo [27]. El sistema de medición de Schöffl et al. [19] es una plataforma (ErbscÖ, Germany,

sampling rate: 1 per millisecond) donde la medición de la prensión manual de los flexores no se realiza directamente mediante un sensor dentro de la presa de agarre como en Bindar, sino que se mide la fuerza de los flexores indirectamente a través del cambio de la masa corporal del individuo sobre una plataforma al realizar una suspensión en una regleta.

La posición del paciente durante la medición puede ser otro de los motivos. En el presente estudio se optó por la posición en sedestación descrita por Balás et al. [42] donde se realiza una fuerza concéntrica-isométrica durante la medición, midiendo únicamente la fuerza de los flexores de los dedos. Por lo contrario, Schöffl et al. [24] utilizaron la posición del escalador colgando con el cuerpo erguido, una posición que asemejaría aun más a la escalada real basada en una fuerza isométrica-excéntrica pero no condiciona únicamente la medición de fuerza de los flexores de los dedos.

En cuanto a las fórmulas para obtener el valor de déficit de fuerza, en el estudio actual no se ha dividido el valor absoluto de la fuerza por la masa corporal para obtener la fuerza relativa, ya que está demostrado que penaliza a los más pesados, pudiendo llegar a suponer un sesgo a la hora de realizar comparaciones entre escaladores [42]. En las fórmulas usadas por Schöffl et al. [19] tuvieron en cuenta la mayor capacidad de fuerza de la mano dominante y en nuestro estudio no, por lo tanto, sería interesante hacer un planteamiento sin fuerza relativa y teniendo en cuenta la mano dominante.

Los tipos de agarre pueden ser otra de las razones, ya que Schöffl et al. [19] consideran los agarres en arqueo y en extensión. En este estudio no se ha planteado realizar el agarre en extensión porque las roturas de poleas están asociadas a los agarres en arqueo [63].

6.1.2. Déficit de fuerza de agarre

Este estudio ha permitido establecer una correlación moderada significativa entre el déficit de fuerza en agarre en monodedo arqueado y la distancia ecográfica TH en casos de lesión de poleas A2 o A4, pero no significativas para los agarres en arqueo abierto y arqueo cerrado. Esto podría ser debido a que la capacidad de generar una fuerza efectiva se compensa con el resto de los dedos, hecho que no se produce en el agarre monodedo. En todo caso, este hallazgo reforzaría la teoría del déficit de fuerza inicial con un enfoque biomecánico [19]. Dicha teoría defiende que, al romperse las poleas, los TF se separan de la superficie ósea de las falanges

reduciendo la distancia origen-inserción de los músculos flexores de los dedos. Como los tendones mantienen su longitud, inicialmente la disminución de dicha distancia se compensa con una disminución de la longitud del vientre muscular, disminuyendo la capacidad de acortamiento del vientre muscular y así la capacidad de generar fuerza [42]. Por otro lado, otra fórmula biomecánica se basa en que la capacidad de flexionar el dedo es proporcional al transcurso longitudinal del tendón y del brazo de palanca (capacidad de flexión de los dedos = transcurso longitudinal del tendón flexor / brazo de palanca entre polea y tendón) [34].

Aunque existe gran controversia respecto a la distancia TH mínima para diagnosticar una rotura de polea A2 o A4, la más reconocida es de 2 mm [14]. Tomando como referencia esta cifra, nuestro estudio ha cuantificado que la distancia TH mínima de 2 mm se corresponde con el valor mínimo de déficit de fuerza equivalente a un 41,4% respecto a la extremidad contralateral sana. No obstante, cabe destacar que no se ha tenido en cuenta la posibilidad de que existan variaciones de déficit de fuerza fisiológicas entre extremidades que podrían afectar a dicho valor [63,64].

6.1.3. Relación entre distancia ecográfica tendón-hueso, déficit de fuerza de agarre y dolor a la palpación

Al integrar las tres variables diagnósticas propuestas en este estudio, hemos observado tres patrones con una posible significación clínica. El grupo de escaladores que mayor pérdida de fuerza presentó fueron aquellos con una distancia TH > 2 mm y sintomatología clínica dolorosa (Grupo 1). El segundo grupo con mayor déficit de fuerza fueron aquellos escaladores en los que no se encontró una distancia TH < 2 mm, pero que cursaban con dolor a la palpación en la polea (Grupo 2). No se encontraron diferencias significativas entre los dos primeros grupos respecto al déficit de fuerza en agarre de monodedo arqueado. Esto puede ser debido a dos cuestiones. En primer lugar, podría ser que el umbral patológico de la medida TH no sea suficientemente sensible. Por otro lado, al ser la distancia TH una medida indirecta, podría ser que nos encontrásemos delante de una patología diferente a la rotura completa de polea. Es posible que existan lesiones menores o parciales de poleas en las que no se produce un aumento de la distancia TH debido a que se respeta una gran parte de la polea, pero que sí presentan síntomas clínicos y déficit de fuerza. Dicho déficit de fuerza no podría ser explicado por la teoría biomecánica [19], pero sí podría ser explicado por la inhibición de la contracción muscular a nivel central causada por el propio dolor [65].

Existe un tercer grupo de escaladores que presentaban hallazgos ecográficos de distancia TH > 2 mm sin dolor a la palpación de la polea afectada (Grupo 3). Una vez más, existen varios motivos que podrían explicar este hecho. Podría atribuirse a que la sintomatología clínica fuera de menor duración e intensidad, también sería posible que el hallazgo ecográfico fuera una adaptación en forma de laxitud de la polea no patológica y por ello se acompañará de un menor déficit de fuerza que los dos grupos anteriores [5].

De cualquier forma, este estudio parece sugerir que en muchas de las lesiones aisladas de las poleas anulares A2 o A4, existe una mayor o menor pérdida de fuerza, sin que exista una relación directa obligatoria entre los hallazgos ecográficos y clínicos. Es más, en los resultados del presente estudio se ha demostrado que la presencia del dolor a la palpación per se no conlleva un aumento de la distancia TH pero sí un déficit de fuerza. Ello permite asegurar que, aunque la suma de una distancia TH patológica junto con clínica dolorosa presentan los valores más marcados de pérdida de fuerza flexora de los dedos, existen otros dos patrones con un trasfondo probablemente patológico y/o adaptativo que deben ser elucidados en futuros estudios para poder contextualizar mejor el valor ecográfico de distancia TH y realizar un mejor diagnóstico diferencial.

La lesión de la polea A2 o A4 genera una disminución de fuerza significativa en el agarre de monodedo arqueado. Un déficit de fuerza superior al 41,4% en agarre de monodedo arqueado medido con un aparato como Bindar, es equivalente a una distancia ecográfica TH mayor a 2 mm, umbral para determinar una rotura de la polea anular A2 o A4. Por lo tanto, la medición de fuerza permite complementar el diagnóstico de una lesión de poleas A2 o A4 y utilizar como una herramienta en el seguimiento de los pacientes. Este estudio sugiere que el diagnóstico de las lesiones de poleas es más fiable si se incluyen hallazgos clínicos, ecográficos y de disminución de fuerza flexora de los dedos.

Capítulo 8

Referencias



1. El-Sheikh Y, Wong I, Farrokhvar F, Thoma A. Diagnosis of finger flexor pulley injury in rock climbers: A systematic review. *Can J Plast Surg*. 2006;14(4):227-231. doi: 10.1177/229255030601400405
2. Bergua P, Montero-Marin J, Gomez-Brunton A, Casajús JA. The finger flexors occlusion threshold in sport-climbers: an exploratory study on its indirect approximation. *Eur J Sport Sci*. 2020 Nov 17;1-9. doi:10.1080/17461391.2020.1827047
3. Woollings KY, McKay CD, Emery CA. Risk factors for injury in sport climbing and bouldering: a systematic review of the literature. *Br J Sports Med*. 2015;49(17):1094-1115. doi: 10.1136/bjsports-2014-094372
4. Spanish Sports Council. Available at: <https://www.csed.gob.es/es/federaciones-y-asociaciones/federaciones-deportivas-espanolas/licencias>. Accessed June 10, 2020.
5. Schreiber T, Allenspach P, Seifert B, Schweizer A. Connective tissue adaptations in the fingers of performance sport climbers. *Eur J Sport Sci*. 2015;15(8):696-702. doi: 10.1080/17461391.2015.1048747
6. Schöffl V, Morrison AB, Hefti U, Ullrich S, Kupper T. The UIAA Medical Commission injury classification for mountaineering and climbing sports. *Wilderness Environ Med*. 2011;22(1):46-51. doi: 10.1016/j.wem.2010.11.008
7. Schöffl VR, Hochholzer T, Imhoff AB, Schöffl I. Radiographic Adaptations to the Stress of High-Level Rock Climbing in Junior Athletes. *Am J Sports Med*. 2006;35(1):86-92. doi: 10.1177/0363546506293256
8. Bayer T, Schöffl VR, Lenhart M, Herold T. Epiphyseal stress fractures of finger phalanges in adolescent climbing athletes: A 3.0-Tesla magnetic resonance imaging evaluation. *Skeletal Rad*. 2013;42(11):1521-1525. Doi:10.1007/s00256-013-1694-4

9. Meyers RN, Hobbs SL, Howell DR, Provance AJ. Are Adolescent Climbers Aware of the Most Common Youth Climbing Injury and Safe Training Practices? *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(3):1-10. doi: 10.3390/ijerph17030812
10. Schweizer A. Sport climbing from a medical point of view. *Swiss Med Wkly*. 2012 Oct 11;142:w13688. doi: 10.4414/semw.2012.13688
11. Jones G, Schöffl V, Johnson ML. Incidence, Diagnosis, and Management of Injury in Sport Climbing and Bouldering: A Critical Review. *Curr Sports Med Rep*. 2018 Nov;17(11):396-401. doi: 10.1249/JSR.0000000000000534
12. Schöffl VR, Hoffmann G, Küpper T. Acute injury risk and severity in indoor climbing—a prospective analysis of 515,337 indoor climbing wall visits in 5 years. *Wilderness Environ Med*. 2013 Sep;24(3):187-94. doi: 10.1016/j.wem.2013.03.020
13. McDonald JW, Henrie AM, Teramoto M, Medina E, Willick SE. Descriptive Epidemiology, Medical Evaluation, and Outcomes of Rock Climbing Injuries. *Wilderness Environ Med*. 2017 Sep;28(3):185-196. doi: 10.1016/j.wem.2017.05.001
14. Jones G, Johnson ML. A Critical Review of the Incidence and Risk Factors for Finger Injuries in Rock Climbing. *Curr Sports Med Rep*. 2016 Nov/Dec;15(6):400-409. doi: 10.1249/JSR.0000000000000304
15. Pozzi A, Pivato G, Pagoli L. Hand Injury in Rock Climbing: Literature Review. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2016 Feb;21(1):13-7. doi: 10.1142/S242483516400038
16. Gerdes EM, Hafner JW, Aldag JC. Injury patterns and safety practices of rock climbers. *J Trauma*. 2006 Dec;61(6):1517-25. doi: 10.1097/01.ta.0000209402.40864.b2
17. Crowley TP. The flexor tendon pulley system and rock climbing. *J Hand Microsurg*. 2012;4(1):25-29. doi: 10.1007/s12593-012-0061-3
18. King EA, Lien JR. Flexor Tendon pulley injuries in rock climbers. *Hand Clin*. 2017;33(1):141-148. doi: 10.1016/j.hcl.2016.08.006
19. 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):637-43. doi: 10.1249/01.mss.0000210199.87328.6a
20. Moutet F, Forli A, Vouillaume D. Pulley rupture and reconstruction in rock climbers. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2004 Sep;8(3):149-55. doi: 10.1097/01.bth.0000128545.94060.99
21. Doyle JR. Anatomy of the finger flexor tendon sheath and pulley system. *The Journal of Hand Surgery*. 1988;13(4):473-84.
22. Mallo GC, Sless Y, Hurst LC, Wilson K. A2 and A4 flexor pulley biomechanical analysis: comparison among gender and digit. *Hand (N Y)*. 2008 Mar;3(1):13-6. doi: 10.1007/s11552-007-9057-z
23. Moutet F. Les poulies de l'appareil fléchisseur: anatomie, pathologies, traitement [Flexor tendon pulley system: anatomy, pathology, treatment]. *Chir Main*. 2003 Feb;22(1):1-12. French. doi: 10.1016/s1297-3203(02)00010-0
24. Schöffl I, Hugel A, Schöffl V, Rascher W, Jüngert J. Diagnosis of Complex Pulley Ruptures Using Ultrasound in Cadaver Models. *Ultrasound Med Biol*. 2017;43(3):662-669. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.10.005
25. Schöffl I, Oppel K, Jüngert J, Schweize A, Bayer T, Neuhuber W, et al. The influence of concentric and eccentric loading on the finger pulley system. *J Biomech*. 2009;42(13):2124-2128. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.05.033
26. Phillips C, Mass D. Mechanical analysis of the palmar aponeurosis pulley in human cadavers. *J Hand Surg Am*. 1996 Mar;21(2):240-4. doi: 10.1016/S0363-5023(96)80107-9.
27. Zafonte B, Rendulic D, Szabo RM. Flexor pulley system: anatomy, injury, and management. *J Hand Surg Am*. 2014;39(12):2525-32; quiz 2533. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.06.005
28. Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal System*. Second Edition. Mosby Elsevier. 2010.
29. Schweizer A. Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *J Biomech*. 2001;34(2):217-23. doi: 10.1016/s0021-9290(00)00184-6
30. Schöffl I, Oppelt K, Jüngert J, Schweizer A, Neuhuber W, Schöffl V. The influence of the crimp and slope grip position on the finger pulley system. *J Biomech*. 2009 Sep 18;42(13):2183-7. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.04.049

31. 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. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.08.027
32. Lin GT, Cooney WP, Amadio PG, An KN. Mechanical properties of human pulleys. *J Hand Surg Br*. 1990 Nov;15(4):429-34. doi: 10.1016/0266-7681(90)90085-i
33. Marco RA, Sharkey NA, Smith TS, Zissimos AG. Pathomechanics of closed rupture of the flexor tendon pulleys in rock climbers. *J Bone Joint Surg Am*. 1998;80(7):1012-9. doi: 10.2106/00004623-199807000-00010
34. Moor BK, Nagy L, Snedeker JG, Schweizer A. Friction between finger flexor tendons and the pulley system in the crimp grip position. *Clin Biomech*. 2009;24(1):20-5. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2008.10.002
35. Schweizer A, Frank O, Ochsner PE, Jacob HA. Friction between human finger flexor tendons and pulleys at high loads. *J Biomech*. 2003 Jan;36(1):63-71. doi: 10.1016/s0021-9290(02)00242-7
36. Bianchi S, Almusá E, Chick G, Bianchi E. Ultrasound in wrist and hand sport injuries. *Sports Medicine Journal*. 374-383.
37. Hahn F, Erschbaumer M, Allenspach P, Rufibach K, Schweizer A. Physiological bone responses in the fingers after more than 10 years of high-level sport climbing: analysis of cortical parameters. *Wilderness Environ Med*. 2012;23(1):31-6. doi: 10.1016/j.wem.2011.12.006
38. Garcia K, Jaramillo D, Rubesova E. Ultrasound evaluation of stress injuries and physiological adaptations in the fingers of adolescent competitive rock climbers. *Pediatr Radiol*. 2018;48(3):366-373. doi: 10.1007/s00247-017-4033-4
39. Schöffl V, Popp D, Küpper T, Schöffl I. Injury trends in rock climbers: Evaluation of a case series of 911 injuries between 2009 and 2012. *Wilderness Environ Med*. 2015;26(1), 62–67. doi: 10.1016/j.wem.2014.08.013
40. Schöffl V, Hochholzer T, Winkelmann HP, Strecker W. Pulley injuries in rock climbers. *Wilderness Environ Med*. 2003;14(2):94-100. doi: 10.1580/1080-6032(2003)014
41. Amca AM, Vigouroux L, Arian S, Berton E. Effect of hold depth and grip technique on maximal finger forces in rock climbing. *J Sports Sci*. 2012;30(7):669-77. doi: 10.1080/02640414.2012.658845
42. Baláš J, Michaëla P, Jan K, Coochrane DJ, Martin A. The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *Int J Perform Anal Sport* 2014; 14:345–354.
43. Watts PB. Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol*. 2004 Apr;91(4):361-72. doi: 10.1007/s00421-003-1036-7
44. Grant S, Hynes V, Whittaker A, Aitchison T. Anthropometric, strength, endurance and "exibility" characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci*. 1996 Aug;14(4):301-9.
45. Grant S, Shields C, Fitzpatrick V, Loh WM, Whittaker A, Watt I, et al. Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. *J Sports Sci*. 2003;21(8):621–30.
46. Macleod D, Sutherland DL, Buntin L, Whittaker A, Aitchison T, Watt I, Bradley J, Grant S. Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *J Sports Sci*. 2007;25(12):1433-43. doi: 10.1080/02640410600944550
47. Fryer SM, Stoner L, Dickson TG, Draper SB, McCluskey MJ, Hughes JD, How SC, Draper N. Oxygen recovery kinetics in the forearm flexors of multiple ability groups of rock climbers. *J Strength Cond Res*. 2015;29(6):1633-9. doi: 10.1519/JSC.0000000000000804
48. Bassemir D, Unglaub F, Hahn P, Müller LP, Bruckner T, Spies CK. Sonographical parameters of the finger pulley system in healthy adults. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2015;135(11):1615-22. doi: 10.1007/s00402-015-2304-9
49. Klausner A, Frauscher F, Bodner G, Halpern EJ, Schocke MF, Springer P, Gabl M, Judmaier W, zur Nedden D. Finger pulley injuries in extreme rock climbers: depiction with dynamic US. *Radiology*. 2002;222(3):755-61. doi: 10.1148/radiol.2223010752

50. Klausner A, Bodner G, Frauscher F, Gabl M, Zur Nedden D. Finger injuries in extreme rock climbers. Assessment of high-resolution ultrasonography. *Am J Sports Med.* 1999;27(6):733-7. doi: 10.1177/03635465990270060801
51. Hauger O, Chung CB, Lektrakul N, Botte MJ, Trudell D, Boutin RD, Resnick D. Pulley system in the fingers: normal anatomy and simulated lesions in cadavers at MR imaging, CT, and US with and without contrast material distention of the tendon sheath. *Radiology.* 2000;217(1):201-12. doi: 10.1148/radiology.217.1.000c40201
52. Bodner G, Rudisch A, Gabl M, Judmaier W, Springer P, Klausner A. Diagnosis of digital flexor tendon annular pulley disruption: comparison of high frequency ultrasound and MRI. *Ultraschall Med.* 1999;20(4):131-6. doi: 10.1055/s-1999-8904
53. Iruetagoiena-Urbieta X, De la Fuente-Ortiz de Zarate J, Rodríguez-López ES, Barcoeló-Gallandez P, Oliva-Pascual-Vaca Á, Otero-Campos A, Blasi M. Ultrasonographic Diagnosis of A2 or A4 Flexor Tendon Pulley Injury: A Systematic Review. *Wilderness Environ Med.* 2020;1080-6032(20)30130-7. doi: 10.1016/j.wem.2020.07.007
54. Chang CY, Tortiani M, Huang AJ. Rock Climbing Injuries: Acute and Chronic Repetitive Trauma. *Curr Probl Diagn Radiol.* 2016;45(3):205-14. doi: 10.1067/j.cpradiol.2015.07.003
55. 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 May;41(4):406-12. doi: 10.1177/1753193415623914
56. General Assembly of the World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *J Am Coll Dent.* 2014;81(3):14-8.
57. Organic Law 15/1999, December 13, Personal Data Protection: B.O.E. number 298; 1999.
58. Draper N, Dickson T, Blackwell G, Fryer S, Priestley S, Winter D, et al. Self-reported ability assessment in rock climbing. *J Sports Sci.* 2011;29(8):851-8.
59. Fryer S, Stoner L, Luceo A, Witter T, Scarrott C, Dickson T, Cole M, Draper N. Haemodynamic kinetics and intermittent finger flexor performance in rock climbers. *Int J Sports Med.* 2015;36(2):137-42. doi: 10.1055/s-0034-1385887
60. Lapègue F, Andre A, Brun C, Bakouche S, Chiavassa H, Sans N, Faruch M. Traumatic flexor tendon injuries. *Diagn Interv Imaging.* 2015;96(12):1279-92. doi: 10.1016/j.diii.2015.09.010
61. Watts P, Jensen R, Gannon E, Kobainia R, Maynard J, Sansom J. Forearm EMG during rock climbing differs from EMG during handgrip dynamometry. *Int J Exerc Sci.* 2008;14-13.
62. 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. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.08.027
63. Giles D, Romero VE, Garrido I, de la O Puerta A, Stone K, Fryer S. Differences in Oxygenation Kinetics Between the Dominant and Nondominant Flexor Digitorum Profundus in Rock Climbers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(1):137-139. doi: 10.1123/jispp.2015-0651
64. Donath L, Roesner K, Schöffl V, Gabriel HH. Work-relief ratios and imbalances of load application in sport climbing: another link to overuse-induced injuries? *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(4):406-14. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01399.x
65. Graven-Nielsen T, Lund H, Arendt-Nielsen L, Danneskiold-Samsøe B, Bjiddal H. Inhibition of maximal voluntary contraction force by experimental muscle pain: a centrally mediated mechanism. *Muscle Nerve.* 2002;26(5):708-12. doi: 10.1002/mus.10225
66. Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Med Open.* 2015;1(1):7. doi: 10.1186/s40798-015-0009-9
67. McAuliffe S, McCreesh K, Culloty F, Purtil H, O'Sullivan K. Can ultrasound imaging predict the development of Achilles and patellar tendinopathy? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2016;50(24):1516-1523. doi: 10.1136/bjsports-2016-096288

68. Iruetagoiena-Urbieta X, De la Fuente-Ortiz de Zarate J, Blasi M, Obrado-Carriego F, Ormazabal-Aristegi A, Rodríguez-López ES. Grip Force Measurement as a Complement to High-Resolution Ultrasound in the Diagnosis and Follow-Up of A2 and A4 Finger Pulley Injuries. *Diagnostics*. 2020;10(4):206. doi: 10.3390/diagnostics10040206
69. Cook JL, Rio E, Purdam CR, Dooking SJ. Revisiting the continuum model of tendon pathology: what is its merit in clinical practice and research? *Br J Sports Med*. 2016;50(9):187-91. doi:10.1136/bjsports-2015-095422

Anexo I

Declaración de la Asociación
Médica Mundial

▪

Título de la tesis: “DIAGNÓSTICO ECOGRÁFICO DE LAS ROTURAS AISLADAS DE LAS POLEAS ANULARES A2 o A4”

A. INTRODUCCIÓN

1. La Asociación Médica Mundial ha promulgado la Declaración de Helsinki como una propuesta de principios éticos que sirvan para orientar a los médicos y a otras personas que realizan investigación médica en seres humanos. La investigación médica en seres humanos incluye la investigación del material humano o de información identificables.
2. El deber del médico es promover y velar por la salud de las personas. Los conocimientos y la conciencia del médico han de subordinarse al cumplimiento de ese deber.
3. La Declaración de Ginebra de la Asociación Médica Mundial vincula al médico con la fórmula “velar solícitamente y ante todo por la salud de mi paciente”, y el Código Internacional de Ética Médica afirma que: “El médico debe actuar solamente en el interés del paciente al proporcionar atención médica que pueda tener el efecto de debilitar la condición mental y física del paciente.”
4. El progreso de la medicina se basa en la investigación, la cual, en último término, que recurrir muchas veces a la experiencia en seres humanos.
5. En investigación médica en seres humanos, la preocupación por el bienestar de los seres humanos debe tener siempre primacía sobre los intereses de la ciencia y de la sociedad.
6. El propósito principal de la investigación médica en seres humanos es mejorar los procedimientos preventivos, diagnósticos y terapéuticos, y también comprender la etiología y patogenia de las enfermedades. Incluso, los mejores métodos preventivos, diagnósticos y terapéuticos disponibles deben ponerse a prueba continuamente a través de la investigación para que sean eficaces, accesibles y de calidad.
7. En la práctica de medicina y de la investigación médica del presente, la mayoría de los procedimientos preventivos, diagnósticos y terapéuticos implican algunos riesgos y costos.

8. La investigación médica está sujeta a normas éticas que sirven para promover el respeto a todos los seres humanos y para proteger su salud y sus derechos individuales. Algunas poblaciones sometidas a la investigación son vulnerables y necesitan protección especial. Se deben reconocer las necesidades particulares de los que tienen desventajas económicas y médicas. También se debe prestar atención especial a los que no pueden otorgar o rechazar el consentimiento por sí mismos, a los que pueden otorgar el consentimiento bajo presión, a los que se beneficiarán personalmente con la investigación y a los que tienen la investigación combinada con la atención médica.

9. Los investigadores deben conocer los requisitos éticos, legales y jurídicos para la investigación en seres humanos en sus propios países, al igual que los requisitos internacionales vigentes. No se debe permitir que un requisito ético, legal o jurídico disminuya o elimine cualquiera medida de protección para los seres humanos establecida en esta Declaración.

B. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA TODA INVESTIGACIÓN MÉDICA

10. En la investigación médica, es deber del médico proteger la vida, la salud, la intimidad y la dignidad del ser humano.

11. La investigación médica, en seres humanos debe conformarse con los principios científicos generalmente aceptados, y debe apoyarse en un profundo conocimiento de la bibliografía científica, en otras fuentes de información pertinentes, así como en experimentos de laboratorio correctamente realizados y en animales, cuando sea oportuno. Cuando el menor de edad puede en efecto dar su consentimiento, éste debe obtenerse además del consentimiento de su tutor legal.

12. Al investigar, hay que prestar atención adecuada a los factores que puedan perjudicar el medio ambiente. Se debe cuidar también del bienestar de los animales utilizados en los experimentos.

13. El proyecto y el método de todo procedimiento experimental en seres humanos debe formularse claramente en un protocolo experimental. Este debe enviarse, para consideración, comentario, consejo, y cuando sea oportuno, aprobación, a un comité de evaluación ética especialmente designado, que debe ser independiente del investigador, del patrocinador o de cualquier otro tipo de influencia indebida. Se sobreentiende que ese comité independiente debe actuar en conformidad

con las leyes y reglamentos vigentes en el país donde se realiza la investigación experimental. El comité tiene el derecho de controlar los ensayos en curso. El investigador tiene la obligación de proporcionar información del control al comité, en especial sobre todo incidente adverso grave. El investigador también debe presentar al comité, para que la revise, la información sobre financiación, patrocinadores, afiliaciones institucionales, otros posibles conflictos de interés e incentivos para las personas del estudio.

14. El protocolo de la investigación debe hacer referencia siempre a las consideraciones éticas que fueran del caso, y debe indicar que se han observado los principios enunciados en esta Declaración.

15. La investigación médica en seres humanos debe ser llevada a cabo sólo por personas científicamente calificadas y bajo la supervisión de un médico clínicamente competente. La responsabilidad de los seres humanos debe recaer siempre en una persona con capacitación médica y nunca en los participantes en la investigación, aunque hayan otorgado su consentimiento.

16. Todo proyecto de investigación médica en seres humanos debe ser recedido de una cuidadosa comparación de los riesgos calculados con los beneficios previsibles para el individuo o para otros. Esto no impide la participación de voluntarios sanos en la investigación médica. El diseño de todos los estudios debe estar disponible para el público.

17. Los médicos deben abstenerse de participar en proyectos de investigación en seres humanos a menos de que estén seguros de que los riesgos inherentes han sido adecuadamente evaluados y de que es posible hacerles frente de manera satisfactoria. Deben suspender el experimento en marcha se observan que los riesgos que implican son más importantes que los beneficios esperados o si existen pruebas concluyentes de resultados positivos o beneficiosos.

18. La investigación médica en seres humanos sólo debe realizarse cuando la importancia de su objetivo es mayor que el riesgo inherente y los costos para el individuo. Esto es especialmente importante cuando los seres humanos son voluntarios sanos.

19. La investigación médica solo se justifica si existen posibilidades razonables de que la población, sobre la que la investigación se realiza, podrá beneficiarse de sus resultados.

20. Para tomar parte en un proyecto de investigación, los individuos deben ser participantes voluntarios e informados.
21. Siempre debe respetarse el derecho de los participantes en la investigación a proteger su integridad. Deben tomarse toda clase de precauciones para resguardar la intimidad de los individuos, la confidencialidad de la información del paciente y para reducir al mínimo las consecuencias de la investigación sobre su integridad física y mental y su personalidad.
22. En toda investigación en seres humanos, cada individuo potencial debe recibir informaciones adecuadas acerca de los objetivos, métodos, fuentes de financiación, posibles conflictos de intereses, afiliaciones institucionales del investigador, beneficios calculados, riesgos previsibles e incomodidades derivadas del experimento. La persona debe ser informada del derecho de exponerse a represalias. Después de asegurarse de que el individuo ha comprendido la información, el médico debe obtener entonces, preferiblemente por escrito, el consentimiento informado y voluntario de la persona. Si el consentimiento no se puede obtener por escrito, el proceso para obtenerlo debe ser documentado formalmente ante testigos.
23. Al obtener el consentimiento informado para el proyecto de investigación, el médico debe poner especial cuidado cuando el individuo está vinculado con él por una relación de dependencia o si consiente bajo presión. En un caso así, el consentimiento informado debe ser obtenido por un médico bien informado que no participe en la investigación y que nada tenga que ver con aquella relación.
24. Cuando la persona sea legalmente incapaz, o inhábil física o mentalmente de otorgar consentimiento, o menor edad, el investigador debe obtener el consentimiento informado del representante legal y de acuerdo con la ley vigente. Estos grupos no deben ser incluidos en la investigación a menos que ésta sea necesaria para promover la salud de la población representada y esta investigación no pueda realizarse en personas legalmente capaces.
25. Si una persona considerada incompetente por la ley, como es el caso de un menor de edad, es capaz de dar su asentimiento a participar o no en la investigación, el investigador debe obtenerlo, además del consentimiento del representante legal.
26. La investigación en individuos de los que no se puede obtener consentimiento, incluso por representante o con anterioridad, se debe realizar sólo si la

26. condición física/mental que impide obtener el consentimiento informado es una característica necesaria de la población investigada. Las razones específicas por las que se utilizan participantes en la investigación que no pueden otorgar su consentimiento informado deben ser estipuladas en el protocolo experimental que se presenta por consideración y aprobación del comité de evaluación. El protocolo debe establecer que el consentimiento para mantenerse en la investigación debe obtenerse a la brevedad posible del individuo o de un representante legal.

27. Tanto los autores como los editores tienen obligaciones éticas. Al publicar los resultados de su investigación, el médico está obligado a mantener la exactitud de los datos y resultados. Se deben publicar tanto los resultados negativos como los positivos o de lo contrario deben estar a la disposición del público. En la publicación se debe citar la fuente de financiación, afiliaciones institucionales y cualquier posible conflicto de intereses. Los informes sobre investigaciones que no se ciñan a los principios descritos en esta Declaración no deben ser aceptados para su publicación.

G. PRINCIPIOS APPLICABLES CUANDO LA INVESTIGACIÓN MÉDICA SE COMBINA CON LA ATENCIÓN MÉDICA

28. El médico puede combinar la investigación médica con la atención médica, sólo en la medida en que tal investigación acredite un justificado valor potencial preventivo, diagnóstico o terapéutico. Cuando la investigación médica se combina con la atención médica, las normas adicionales se aplican para proteger a los pacientes que participan en la investigación.

29. Los posibles beneficios, riesgos, costos y eficacia de todo procedimiento nuevo deben ser evaluados mediante su comparación con los mejores métodos preventivos, diagnósticos y terapéuticos existentes. Ello no excluye que pueda usarse un placebo, o ningún tratamiento, en estudios para los que no hay procedimientos preventivos, diagnósticos o terapéuticos probados. A fin de declarar más la posición de la AMM sobre el uso de ensayos controlados con placebo, la AMM publicó en octubre de 2001 una nota de clarificación del párrafo 29, disponible en esta página 30.

30. Al investigar, hay que prestar atención adecuada a los factores que puedan perjudicar el medio ambiente. Se debe cuidar también del bienestar de los animales utilizados en los experimentos.

31. El médico debe informar cabalmente al paciente los aspectos de la atención que tienen relación con la investigación. La negativa del paciente a participar en una investigación nunca debe perturbar la relación médico-paciente. Cuando los métodos preventivos, diagnósticos o terapéuticos disponibles y terapéuticos nuevos o no probados, si, a su juicio, ello da alguna esperanza de salvar la vida, restituir la salud o aliviar el sufrimiento. Siempre que sea posible, tales medidas deben ser investigadas a fin de evaluar su seguridad y eficacia. En todos los casos, esa información nueva debe ser registrada y, cuando sea oportuno, publicada. Se deben seguir todas las otras.

Anexo II

Principios éticos para las investigaciones médicas
en seres humanos

▪

Título del estudio: "DIAGNÓSTICO ECOGRÁFICO DE LAS ROTURAS AISLADAS DE LAS POLEAS ANULARES A2 o A4"

- A. Cualquier actividad asistencial que se esté desarrollando está sometida a las mismas exigencias legales que cualquier especialidad médica.
- B. La legislación Española obliga al Consentimiento Informado, es decir, el sujeto debe expresar voluntariamente su intención de participar en el ensayo clínico, después de haber comprendido los objetivos del estudio, beneficios, inconvenientes y riesgos previstos, alternativas posibles, derechos y responsabilidades.
- C. La ley General de Sanidad 14/1986, de 25 de Abril, en su artículo 10, habla del derecho a la información clara a los pacientes, sobre los procesos de tratamiento: "A, que se le de en términos comprensibles, a él y a sus familiares o allegados, información completa y continuada, verbal y escrita, sobre su proceso, incluyendo diagnóstico, pronóstico y alternativas de tratamiento".
- D. En el ámbito de la Comunidad Europea, el Convenio Relativo a los Derechos Humanos y la Biomedicina (Abril 1997), en el Capítulo II, Artículo 5, obliga a la información clara sobre los procesos de tratamiento: "Una intervención en el ámbito de la sanidad sólo podrá efectuarse después de que la persona afectada haya dado su libre e inequívoco consentimiento." "Dicha persona deberá recibir previamente una información adecuada de la finalidad y la naturaleza de la intervención, así como de sus riesgos y consecuencias." Por ello, los sujetos incluidos en este estudio recibieron antes de participar en el mismo una hoja informativa y firmaron un consentimiento escrito (Ver Anexo I).
- E. A los sujetos se les explicó no iban a ser informados sobre los resultados de las distintas mediciones a lo largo del procedimiento y que al final del mismo podían solicitar la información si así lo deseaban.

Anexo III

Aprobación del Comité Ético de la Investigación

Dr. Francisco López Muñoz, presidente del Comité Ético de la Investigación de la Universidad Camilo José Cela (CEI-UJC)

CERTIFICA

Que en la reunión del CEI-UJC celebrada el día 21 de marzo de 2018 se analizó el formulario de solicitud del proyecto de investigación EOPADME (Investigador principal Dra. Elena Sonsoles Rodríguez López).

Que se acordó por unanimidad, al considerar correctos y adecuados los aspectos éticos, metodológicos y legales del estudio, la aprobación del mismo por el CEI-UJC.

Y para que conste, se expide el presente certificado en Madrid, a 22 de marzo de 2018.



Fdo. Dr. Francisco López Muñoz

Anexo IV

Hoja de información del estudio

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE

Título del estudio: “DIAGNÓSTICO ECOGRÁFICO DE LAS ROTURAS AISLADAS DE LAS POLEAS ANULARES A2 o A4”

PROCEDIMIENTO

Antes de dar su consentimiento para participar en este estudio, lea por favor las líneas siguientes y formule todas las preguntas que considere pertinentes.

En este estudio se le tomarán mediciones:

1. De la toma de imágenes de los dedos mediante la ecografía.
2. De las mediciones de fuerza de los flexores de los dedos

A continuación, se le realizará unas mediciones que serán explicadas verbalmente con anterioridad por el profesional que las llevará a cabo. Estas intervenciones de diagnóstico no entrañan ningún riesgo para su salud. Durante su realización no debe sentir molestias o dolor, si fuera así, infórmele al profesional actuante. Antes de la realización del estudio se le harán una serie de preguntas que determinarán si se encuentra en condiciones de participar en este estudio. Durante la realización del estudio no haremos referencia a los valores que se registren, ni de los efectos de las técnicas correspondientes, pero al finalizar el mismo podremos responder a todas las preguntas que usted desee. Si en cualquier momento de este estudio Vd. desea interrumpir el mismo por cualquier motivo, solo debe indicarlo al profesional que se encuentre con Vd. y no es necesario que dé ningún tipo de explicaciones por ello.

Yo, D (nombre y apellidos),.....

**Acepto libremente y voluntariamente participar en la investigación médica titulada
"DIAGNÓSTICO ECOGRÁFICO DE ROTURAS AISLADAS
DE POLEAS ANULARES A2 Y A4".**

Y declaro:

- Que se me ha informado y respondido a todas mis preguntas, que se me ha precisado que mi participación en esta investigación es libre y voluntaria.
- Que he leído y comprendido en la nota informativa que se me ha entregado, los objetivos, modalidades, pruebas e intervenciones de esta investigación y que para participar, necesito cumplir algunas características.
- Soy perfectamente consciente de que me puedo retirar en cualquier momento de la investigación por cualquier motivo sin soportar ninguna responsabilidad, pero me comprometo a informar de ello al investigador principal. El hecho de no participar en la investigación, no conllevará una mala relación con el profesional.
- He estado bien informado de que todas las pruebas que se realizarán son sencillos y no conllevan ningún peligro ni efectos adversos sobre mi bienestar. Estas acontecerán en lugares específicos determinados por los profesionales bien cualificados para un buen funcionamiento de la investigación. Por lo tanto, consiento y autorizo a Xeber Inuretagoiena a que realice el estudio correspondiente.

En Aretxabaleta, a de 20...

Anexo V

Consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del estudio: “**DIAGNÓSTICO ECOGRÁFICO DE LAS ROTURAS AISLADAS DE LAS POLEAS ANULARES A2 o A4**”

Estudio Descriptivo

1. *He leído, comprendido y firmado las páginas anteriores de información sobre “Estudio observacional de la patología de poleas anulares A2 y A4 de los dedos de la mano en escaladores.”*
2. *Doy fe de no haber omitido o alterado datos al informar sobre mi historia y antecedentes clínico-quirúrgicos, especialmente los referidos a enfermedades personales.*
3. *Doy el consentimiento para el tratamiento informatizado de la información que de mí se obtenga con fines médicos, científicos o educativos, conforme a las normas legales. De acuerdo con la Ley 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal, los datos personales que se me requieran (sexo, edad, profesión, etc.) son los necesarios para realizar el estudio correctamente. No se revelará mi identidad bajo ningún concepto, así como tampoco mis datos personales. Ninguno de estos datos serán revelados a personas externas a la investigación. La participación es anónima, sin embargo, mis datos estarán registrados en una lista de control que será guardada por el investigador principal y sólo recurrirá a ella en los momentos imprescindibles.*
4. *Me ha sido explicado de forma comprensible el procedimiento a realizar, así como los beneficios y riesgos del estudio propuesto.*
5. *He podido hacer preguntas sobre el estudio y han sido contestadas de forma clara y precisa.*
6. *He hablado con:*
(Nombre del investigador o persona autorizada y DNI)
7. *Comprendo que mi participación es voluntaria.*
8. *Comprendo que puedo retirarme de la prueba cuando quiera y sin tener que dar explicaciones.*

D.

(Nombre del participante y DNI)

ACEPTO libremente la participación en el estudio.

Lugar a de 20...

Firma del participante y DNI

Firma del investigador y DNI

D.

(Nombre del participante y DNI)

NO ACEPTO libremente la participación en el estudio.

Lugar a de 20...

Firma del participante y DNI

Firma del investigador y DNI

Anexo VI

Hoja de recogida de datos

EDAD	
MASA CORPORAL (kg)	
ESTATURA (cm)	
CANTIDAD DE AÑOS ESCALANDO	
GRADO ENSAYADO MÁXIMO EN ESCALADA DEPORTIVA	
CANTIDAD DE AÑOS ESCALANDO POR ENCIMA DE 8A	

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	Sí	No
Sujetos mayores de 18 años.		
Escaladores con un mínimo de un año de experiencia.		
Diagnosticados de lesiones de polea anular A2 o A4 de los dedos medio o anular, mediante palpación, ecografía o ambas.		
Haber transcurrido un mínimo de 2 semanas y un máximo de 6 meses desde la lesión.		

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	Sí	No
Escaladores con rotura múltiple A2/A3/A4.		
Lesiones de polea anular A2 o A4 bilateral, diagnosticadas mediante palpación, ecografía o ambas.		
No haber realizado un diagnóstico previo de los dedos para excluir todo tipo de alteraciones no relacionados con poleas que pueda alterar los resultados (como puede ser una tendinopatía del FDS o FDP, una tenosinovitis, un dedo en gatillo, un nódulo, un quiste, un lipoma, etc).		
Aquellos que hubiesen sido intervenidos quirúrgicamente por cualquier patología a la altura o más distal del codo. En el análisis del objetivo secundario además se excluyeron aquellos con cualquier lesión y/o cirugía previa de dedos		

Anexo VIII

Publicación “Ultrasonographic Diagnosis of A2 or A4
Flexor Tendon Pulley Injury: A Systematic Review”

▪

REVIEW ARTICLE

Ultrasonographic Diagnosis of A2 or A4 Flexor Tendon Pulley Injury: A Systematic Review

Xeber Inurtagoiena-Urbieta, PT, MSc,^{1,2}, Javier De la Fuente-Ortiz de Zazate, MD, PhD³;
 Elena Sonsoles Rodríguez-López, PT, DO, PhD,¹; Pablo Barceño-Galindez, MD,⁴;
 Ángel Oliva-Pascual-Vaca, PT, DO, PhD,⁵; Álvaro Otero-Campos, PT¹; Marc Blasi, MD⁶

¹Department of Physiotherapy, Universidad Comilla José Cella, Madrid, Spain; ²Ekidana Oron Zamora, Bascos, Spain; ³Orthopedics Department, Clínica Pakech-Mutua, San Sebastián, Spain; ⁴Ultrasonography Department, Clínica Evitilla-Mutua, Bilbao, Spain; ⁵Department of Physiotherapy, Universidad de Sevilla, Sevilla, Spain; ⁶Department of Plastic Surgery, Hospital Germans Trias i Pujol, Badalona (Barcelona), Spain

A2 or A4 annular finger pulley tears are common injuries in rock climbers. This study reviews the measurement procedures used and tendon-to-bone distance data obtained on high-resolution ultrasound images when diagnosing isolated rupture of the A2 or A4 pulleys. Out of 3447 records extracted, only 7 remained after applying the exclusion criteria. In diagnosing a complete rupture, tendon-to-bone distance used varied widely from 1.9 to 5.1 mm for A2 and from 1.8 to 3.1 mm for A4. Our findings point to a lack of consensus diagnostic criteria for pulley injuries and identify technical details needing further research.

Keywords: annular pulley, ultrasonography, ultrasound, tendonbone distance, rupture

Introduction

Rock climbing has evolved from explorers attempting to cross or climb mountains in the wilderness to a high-performance athletic sport.¹ Today's new modalities of climbing being conducted in controlled environments means that modern climbers are able to perform at a much higher level and much younger age.² Rock climbing has even been recognized as an official Olympic sport, set to debut in the 2020 Tokyo Olympics.³ According to the Spanish Sports Council, rock climbing and mountaineering now have the fifth greatest number of registered athletes among all sports, having risen from 65,285 participants in 2001 to 237,825 in 2017.⁴

As rock climbing gains popularity, injuries related to its specific technical movements and hand grips have also prompted interest in both the health and basic science fields. Among all injuries sustained by rock climbers, finger pulley injuries account for 33%; the ring finger is especially affected, followed by the middle finger.⁵

Corresponding author: Elena Sonsoles Rodríguez-López, PT, DO, PhD, Department of Physical Therapy, Cambio José Cella University, Urb. Villafraña del Castillo, C/ Castillo de Alarcón, 49, 28692 Villanueva de la Canada, Madrid, Spain; e-mail: esrodrl@ugc.edu.

Submitted for publication November 2019.
 Accepted for publication July 2020.

The digital flexor pulley system is composed of 5 annular (A1–A5) and 3 cruciate pulleys (C1–C3). Their primary role is to hold the flexor tendon close to the phalanx, allowing conversion of the tendon excursion force into an adequate finger flexion motion pattern.⁵ Pulleys can be partially or completely ruptured, affecting a single pulley or multiple pulleys at the same time. The A2, the longest and the most consistent pulley, has the highest injury rate, followed by A4.⁶ These injuries must be carefully identified and managed; otherwise, they can lead to definitive loss of interphalangeal joint flexion and osteoarthritis.⁷

High-resolution ultrasound imaging (US) is considered the reference standard for the diagnosis of annular finger pulley injuries owing to its low cost compared to other imaging techniques, its noninvasive nature, the availability of handheld portable devices, and its dynamic assessment capacity.^{8,9} Tendon-to-bone distance (TBD) is an indirect measure used by ultrasonographers to diagnose a pulley tear (Figure 1). To date, however, there is no consensus as to the best measurement protocols or specific TBD reference values for a diagnosis of a pulley injury.⁸⁻¹⁴

In this study, we systematically reviewed all reports of studies addressing the US diagnosis of isolated A2 or A4 pulley tears with the following objectives: 1) to analyze the details of US assessment protocols available in the

Anexo VIII

Publicación “Grip Force Measurement as a Complement to High-Resolution Ultrasound in the Diagnosis and Follow-Up of A2 and A4 Finger Pulley Injuries”

▪

Article

Grip Force Measurement as a Complement to High-Resolution Ultrasound in the Diagnosis and Follow-Up of A2 and A4 Finger Pulley Injuries

Xeber Iruetagoiena-Urbieta ^{1,2}, Javier De la Fuente-Ortiz de Zarate ³, Marc Blasi ⁴,

Felix Obrado-Carrido ⁵, Andoni Ormazabal-Aristegi ⁶ and Elena Somsos Rodríguez-López ^{1,*} 

- 1 Department of Physical Therapy, Universidad Camilo José Cela, 28692 Madrid, Spain; iruetagoiena.xeber@gmail.com
 - 2 Eskura Osasun Zentroa, 20200 Beasain, Spain
 - 3 Orthopedics Department, Clínica Pakea-Mutuaia, 20018 San Sebastián, Spain; jelafulente@mutuaia.eus
 - 4 Plastic Surgery Department, Hospital Universitario Germans Trias i Pujol, 08916 Badalona (Barcelona), Spain; marcbasbruyue@gmail.com
 - 5 Faculty of Health Sciences, Universitat Pompeu Fabra, 08002 Mataró, Spain; febrado@tecnocampus.cat
 - 6 Ekin Fisioterapia Zentroa, 20550 Aiedavaleta, Spain; a.ormazabal@hotmail.com
- * Correspondence: esrodriiguez@ucjc.edu

Received: 13 March 2020; Accepted: 6 April 2020; Published: 8 April 2020



Abstract: The ability of finger flexors to generate force has been studied in relation to climbing performance. However, not much attention has been paid to the decrease in finger grip force in relation to annular pulley injuries. The purpose of the present study was to determine if an injured annular pulley implies a finger flexor force decrease, as well as its relation to clinical and sonographic changes. We performed an observational study in 39 rock climbers with A2 or A4 pulley injuries to the 3rd or 4th fingers. The variables considered were pain upon palpation, ultrasound tendon–bone distance, and finger grip strength decrease. Three rock climbing grip types were considered: the one finger crimp, open crimp, and close crimp. Injured rock climbers presented a decrease in finger grip strength compared to non-injured controls when performing a one finger crimp ($p < 0.001$). There exists a significant correlation between a tendon–bone distance at the level of the injured pulley and a decreased finger grip strength measured by performing a one finger crimp ($p = 0.006$). A decrease in finger grip strength could be considered in the diagnostic and follow-up process of A2 and A4 pulley injuries to the 3rd and 4th fingers.

Keywords: annular pulley; ultrasound; strength; diagnosis; tendon–bone distance; rupture; grip; climber

1. Introduction

Annular finger pulley ruptures, along with finger flexor tendon injuries, are the most frequent injuries experienced by rock climbers, accounting for up to 33% of all injuries in this population [1]. The most frequently injured pulley is the A2, followed by the A4, mainly affecting the 4th finger. Ruptures may be partial or complete and isolated or multiple, the latter being clinically evidenced by the bowstringing of the flexor digitorum superficialis and/or profundus tendons [2,3].

The different types of pulley ruptures may be clinically difficult to differentiate as the clinical presentation is unspecific, unless they present with the bowstringing of the flexor tendons [4]. Symptomatology consists of acute focal pain, which increases upon palpation, and counter-resisted finger flexor maneuvers, occasionally accompanied by inflammatory signs and ecchymosis [5].

Anexo IX

Base de datos experimentales

Anexo IX.a: Tabla de datos de déficit de fuerza

SUETO	GRUPO	TH_LONG	TH_IDIF PORC LONG	BIN DIF DE DO PORC	BIN DIF ARO GER PORC	BIN DIF ARO A PORC	PATOL	EDAD	PESO	ALTURA	SEXO
1	1	3,67	278,03	66,26	34,58	14,59	1	30	79	174	2
2	1	2,91	250,86	81,67	26,35	27,66	1	31	65	178	2
3	1	3,87	284,55	46,77	34,59	50,67	1	36	75	183	2
4	1	2,90	232,00	65,03	28,08	37,85	1	39	75	180	2
5	1	2,91	196,62	17,22	-5,90	0,00	1	38	64	171	2
6	1	2,28	312,32	13,55	21,91	15,31	1	31	60	169	2
7	1	2,23	142,94	6,99	8,03	22,30	1	24	69	177	2
8	1	3,71	123,66	90,83	31,40	11,97	1	49	90	185	2
9	1	2,39	165,97	95,61	61,38	52,13	1	43	52	162	1
10	1	2,39	125,13	48,89	-3,61	4,61	1	52	71	178	2
11	1	2,47	162,50	65,88	-6,81	16,00	1	22	63	169	2
12	1	2,59	141,53	59,18	9,45	3,33	1	34	62	178	1
13	2	1,59	107,43	9,74	-3,85	5,36	1	50	65	174	2
14	2	1,34	167,50	62,53	1,25	21,09	1	29	75	182	2
15	2	1,60	137,93	12,75	6,62	0,02	1	39	65	171	2
16	2	1,28	110,34	65,21	50,70	23,70	1	30	56	162	1
17	2	1,80	136,36	27,88	1,22	-16,15	1	25	72	180	2
18	2	1,64	128,12	11,57	18,00	20,64	1	44	53	166	1
19	2	1,84	471,79	42,25	-20,91	-6,16	1	29	78	172	2
20	2	1,67	112,83	16,35	37,08	23,28	1	41	77	182	2
21	2	1,99	112,83	32,66	11,90	5,79	1	33	67	175	2
22	2	1,67	119,28	12,14	-8,64	22,92	1	22	69	174	2
23	3	2,25	120,32	24,38	2,52	2,53	1	36	70	175	2
24	3	2,54	162,82	12,63	8,96	13,44	1	39	80	175	2
25	3	2,08	148,57	13,25	1,82	10,81	1	23	70	178	2
26	3	2,23	112,06	17,28	2,75	18,19	1	37	88	179	2
27	3	2,24	116,66	28,60	0,44	1,30	1	31	90	183	2
28	3	2,96	205,55	9,75	3,56	6,69	1	15	65	170	2
30	3	3,31	223,64	11,13	10,58	2,35	1	38	67	180	2
31	4	1,96	100,51	3,04	17,60	2,78	2	25	68	180	2
32	4	1,99	121,34	10,33	10,77	4,60	2	36	53	166	1
33	4	1,76	137,50	7,61	2,13	4,43	2	16	76	184	2
34	4	1,48	115,62	10,65	21,36	9,44	2	37	66	171	2
35	4	1,89	108,62	9,40	0,27	5,71	2	22	51	164	1
36	4	1,87	135,50	8,23	16,70	12,40	2	24	72	178	2
37	4	1,32	122,22	0,35	8,03	10,43	2	33	57	173	2
38	4	1,99	116,37	15,81	12,87	8,43	2	45	68	175	2
39	4	1,49	120,16	14,47	10,15	0,00	2	37	72	184	2
40	4	1,36	113,33	5,78	5,02	0,77	2	40	43	153	1

Anexo IX.b: Tabla de datos de poleas de escaladores experimentados

SUETO	GRUPO	EDAD	MC	ALT	MANO DOM	ENS DEP	AÑOS ESC	AÑOS 8A	DIST THIZQ A2 LONG	DIST THIZQ A4 LONG	DIST THDER A2 LONG	DIST THDE A4 LONG	DIF A2 DCHALIZQ	DIF A4 DCHALIZQ
1	1	51	68	175	1	10,66	35	31	2,43	1,99	2,08	2,04	-0,35	0,05
2	1	45	60	163	1	10,66	31	24	1	1,12	1,36	1,44	0,36	0,32
3	1	36	71	180	1	11	23	20	0,96	1,51	1,4	1,2	0,44	-0,31
4	1	36	70	180	2	10	23	15	1,2	1,75	1,2	1,8	0	0,05
5	1	45	68	175	1	10,66	25	22	1,29	2	1,36	1,71	0,07	-0,29
6	1	45	68	178	1	10,66	30	28	2,71	3,03	3,03	1,75	0,32	-1,28
7	1	38	58	165	1	10,66	25	20	1,59	1,24	1,55	1,04	-0,04	-0,2
8	1	34	72	178	1	10	20	17	1,59	1,55	1,76	1,67	0,17	0,12
9	1	43	70	168	1	10,33	24	20	1,1	1,3	1	1,5	-0,1	0,2
10	1	39	80	175	1	10,33	20	18	1,2	2,54	1,12	1,56	-0,08	-0,98
11	1	50	67	175	1	10	25	15	1,4	1,32	1,3	1,63	-0,1	0,31
12	1	44	60	170	1	10,33	27	25	2,03	2,48	1,45	2,07	-0,58	-0,41
13	1	40	80	174	1	10,66	27	21	1,52	1,87	1,83	2,03	0,31	0,16
14	1	32	72	179	1	10,66	17	15	1,2	1,52	1,64	1,36	0,44	-0,16
15	1	38	67	180	1	11	27	20	3,31	1,56	1,8	1,87	-1,51	0,31
16	1	53	67	160	1	10,33	35	25	1	1,88	1,52	1,6	0,52	-0,28
17	1	51	67	175	1	10,66	33	25	1	1,59	1,08	1,12	0,08	-0,47
18	1	40	68	171	1	10,66	30	24	1,36	1,2	1,4	1,16	0,04	-0,04
19	1	36	65	170	1	11	21	19	1,71	1,28	1,59	1,4	-0,12	0,12
20	1	40	63	172	1	10,66	17	15	1,08	1,95	1,28	2,03	0,2	0,08
21	1	43	74	175	1	9,66	27	20	2,07	1,66	2,35	2,13	0,28	0,47
22	2	50	71	163					1,3	1,4	1,3	1,5	0	0,1
23	2	44	70	180					1,2	1,2	1,1	1,2	-0,1	0
24	2	40	68	180					1	1	1,1	1	0,1	0
25	2	32	68	175					0,95	1,1	0,9	1,1	-0,05	0
26	2	38	58	178					1,4	1,2	1,4	1,3	0	0,1
27	2	53	72	165					1,4	1	1,2	1,2	-0,2	0,2
28	2	51	70	178					1,5	0,8	1,1	1,1	-0,4	0,3
29	2	40	80	168					1,2	1,3	1,1	1,2	-0,1	-0,1
30	2	36	70	175					1,3	1,1	1,4	1,1	0,1	0
31	2	40	80	175					1,6	1,1	1,2	1	-0,4	-0,1
32	2	50	67	170					1,3	1	1,2	1	-0,1	0
33	2	44	60	174					1,2	1,5	1,2	1,4	0	-0,1
34	2	40	80	179					1,1	1,3	1,3	1,4	0,2	0,1
35	2	32	72	179					1,2	1,2	1,2	1,3	0	0,1
36	2	38	67	180					1,4	1,4	1,6	1,5	0,2	0,1
37	2	53	67	160					1,2	1,5	1,3	1,5	0,1	0
38	2	51	67	175					1,3	1,4	1,3	1,5	0	0,1
39	2	40	68	171					1,3	1,2	1,2	1,4	-0,1	0,2
40	2	36	65	170					1,3	1,2	1,1	1,1	-0,2	-0,1
41	2	40	63	172					1,1	1,4	1,3	1,3	0,2	-0,1
42	2	43	74	175					1,4	1,5	1,4	1,3	0	-0,2

Anexo X

Gráficas de la muestra total y por grupos

1. Gráficas de la muestra total del déficit de fuerza en la rotura de las poleas flexoras.

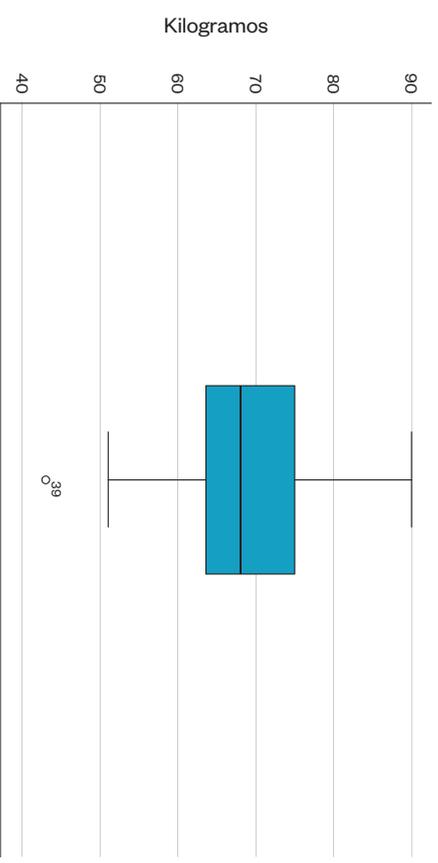


Figura 36. Masa corporal (kg) de la muestra total

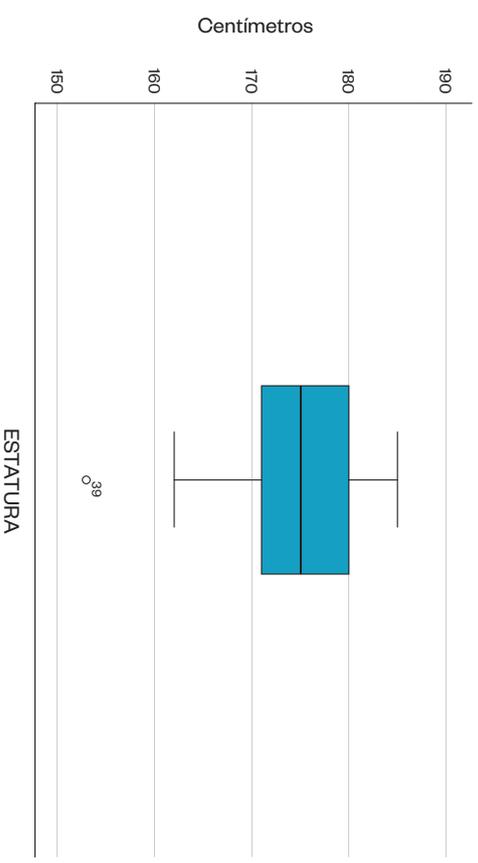


Figura 37. Estatura (cm) de la muestra total

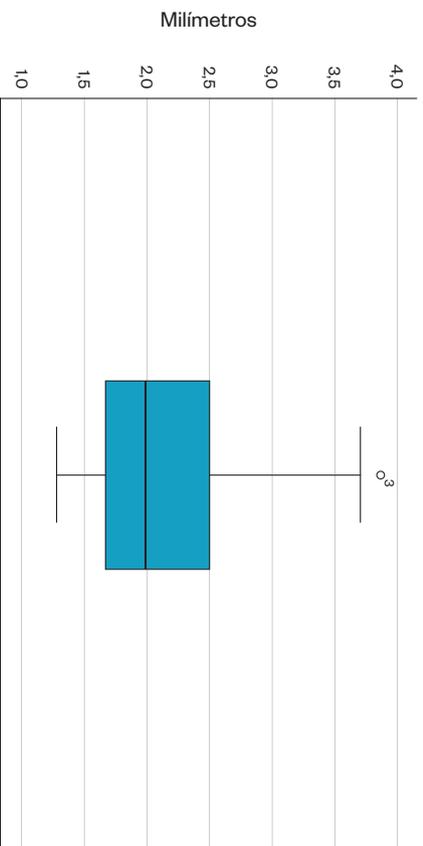


Figura 38. Distancia tendón hueso del dedo (3/4) y polea (A2/A4) afectados en eje longitudinal de la muestra total

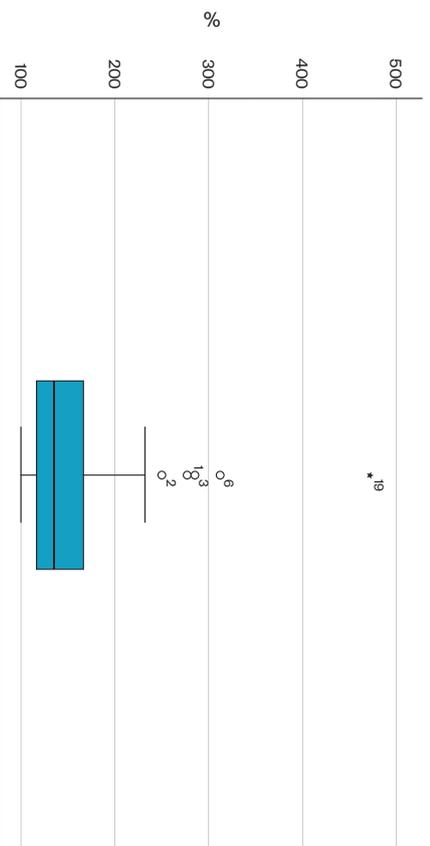


Figura 39. Porcentaje (%) del aumento de la distancia tendón hueso (mm) del lado afecto sobre el contralateral no afectado de la muestra total

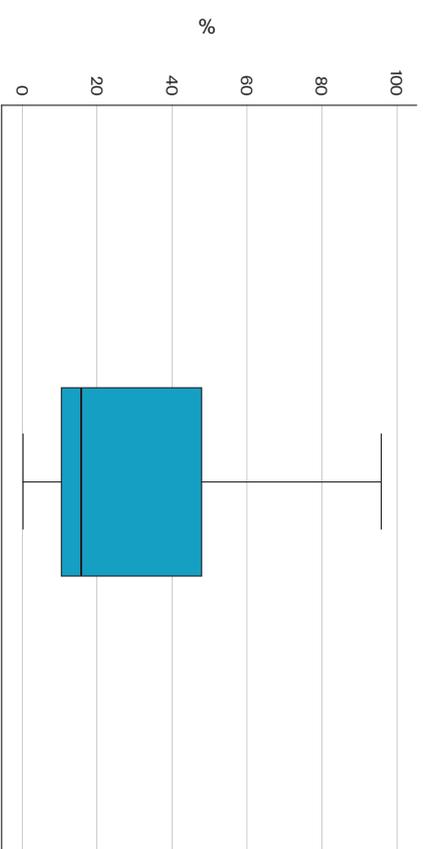


Figura 40. Bindar, porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del dedo afectado (anular/medio) de la muestra total

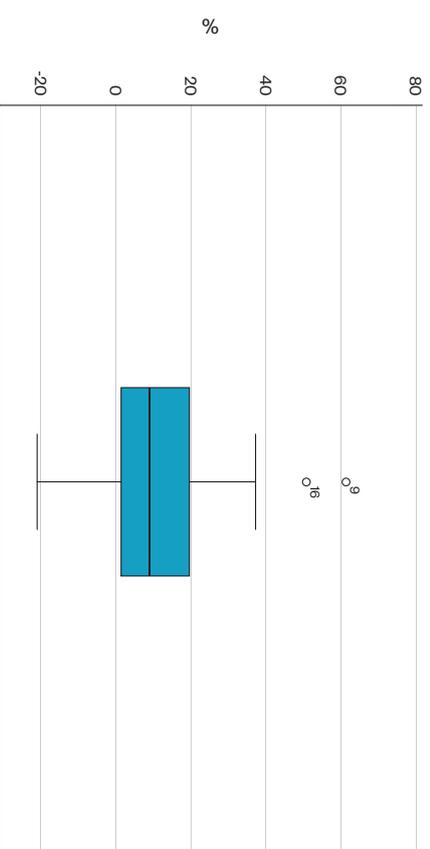
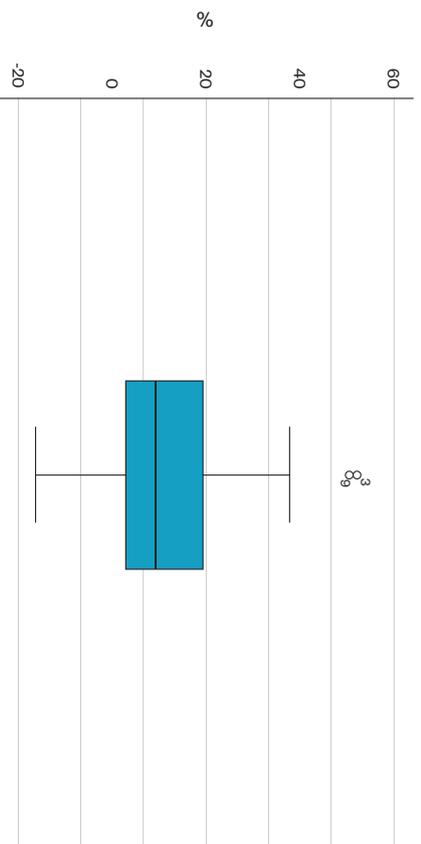


Figura 41. Bindar, porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arqueo cerrado de la muestra total

2. Gráficas de la muestra por grupos del déficit de fuerza en la rotura de las poleas flexoras.



Bindar, porcentaje de déficit de fuerza del agarre en arqueo abierto
Figura 42. Bindar, porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arqueo abierto de la muestra total

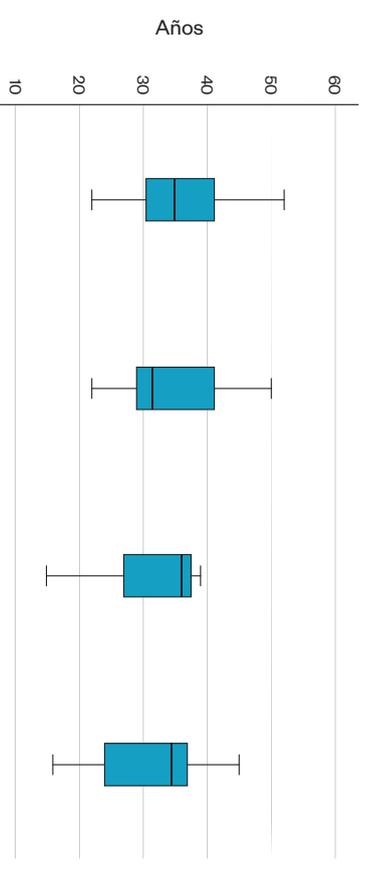


Figura 43. Edad (años) de la muestra por grupos

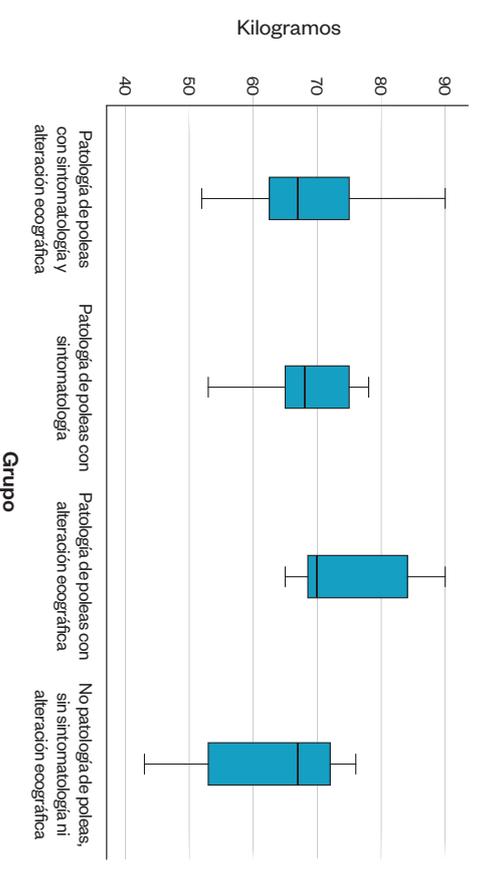


Figura 44. Masa corporal (kg) de la muestra por grupos

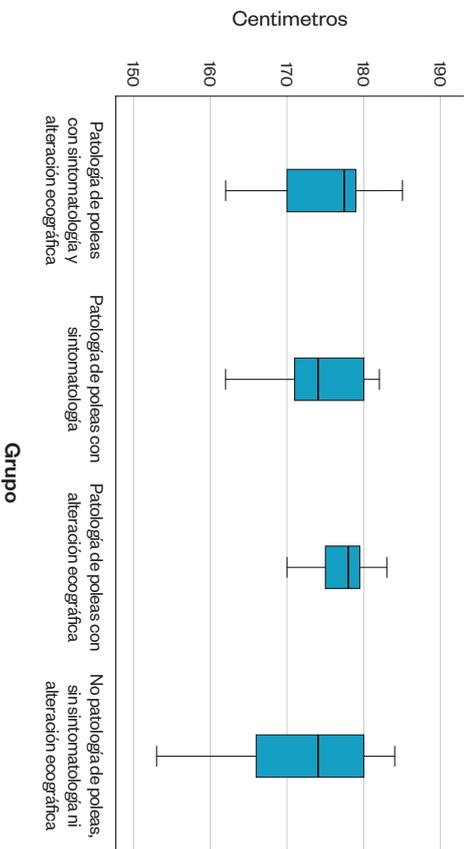


Figura 45. Estatura (cm) de la muestra por grupos

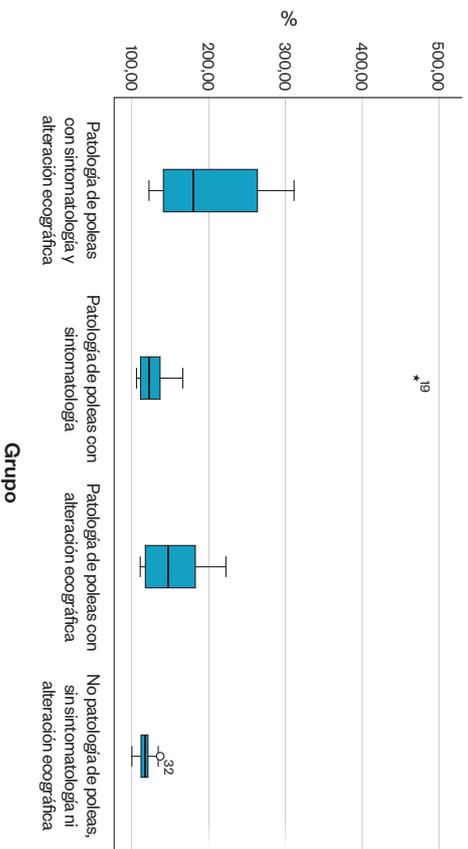


Figura 46. Porcentaje (%) del aumento de la distancia tendón hueso (mm) del lado afecto sobre el contralateral no afectado por grupos

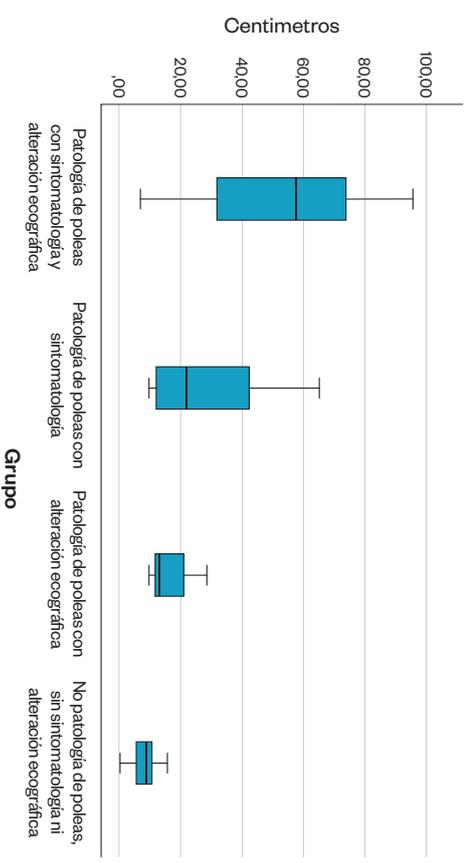


Figura 47. Porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del dedo afectado (anular/medio) por grupos

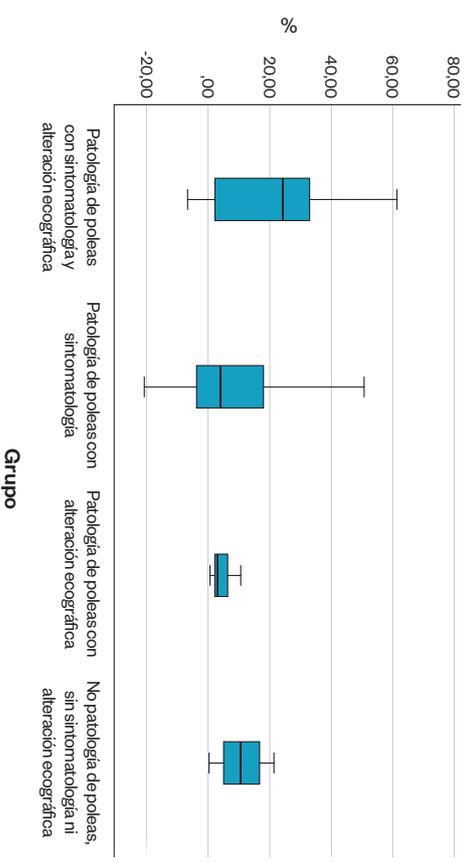


Figura 48. Porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arqueo cerrado por grupos

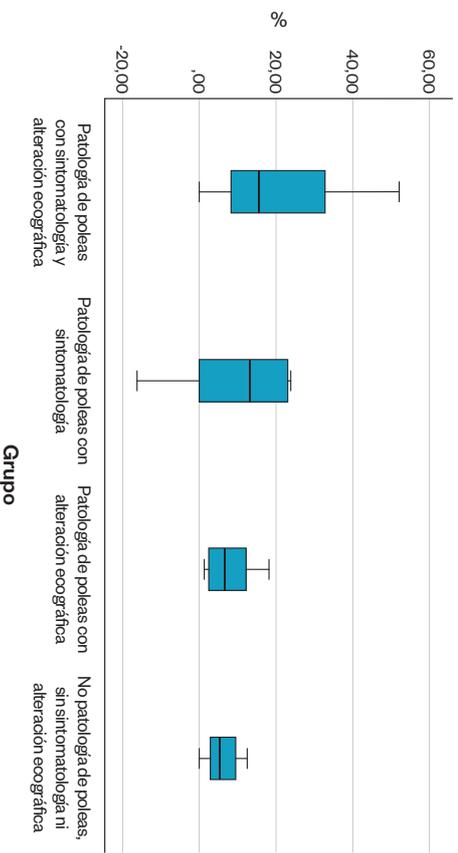


Figura 49. Porcentaje (%) de déficit de fuerza (N) del agarre en arcoeo abierto por grupos

3. Gráficas de las variables relacionadas con la escalada del estudio de las poleas de escaladores experimentados.

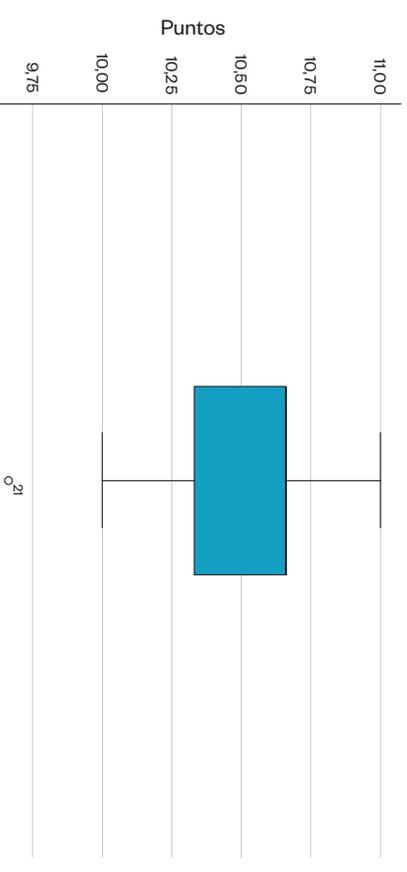


Figura 50. Máximo nivel en escalada deportiva (escala métrica de UAA) de los escaladores veteranos

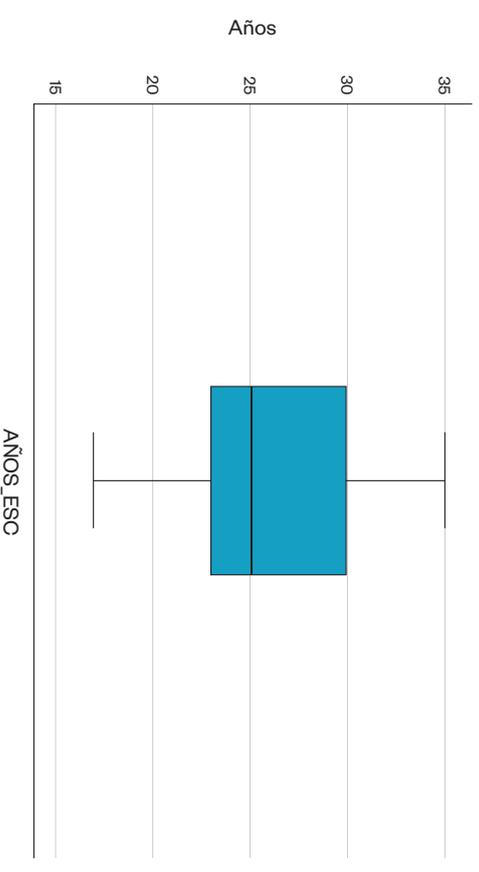


Figura 51. Años escalando de los escaladores veteranos

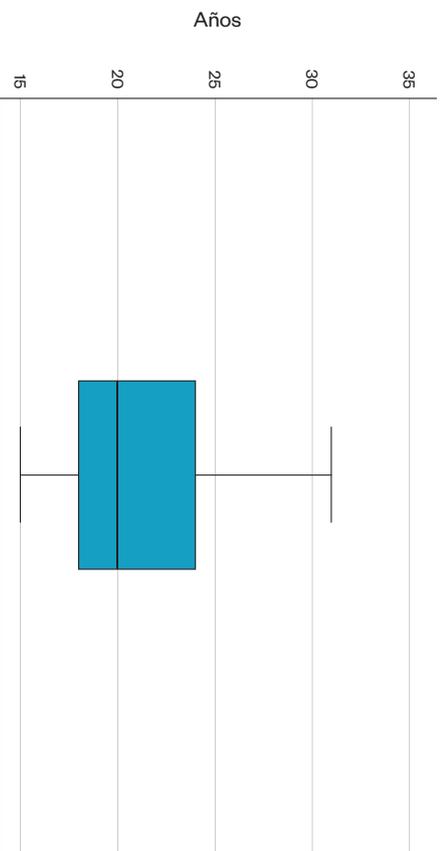


Figura 52. Años escalando por encima de 9,66 (escala métrica de UIAA) de los escaladores veteranos

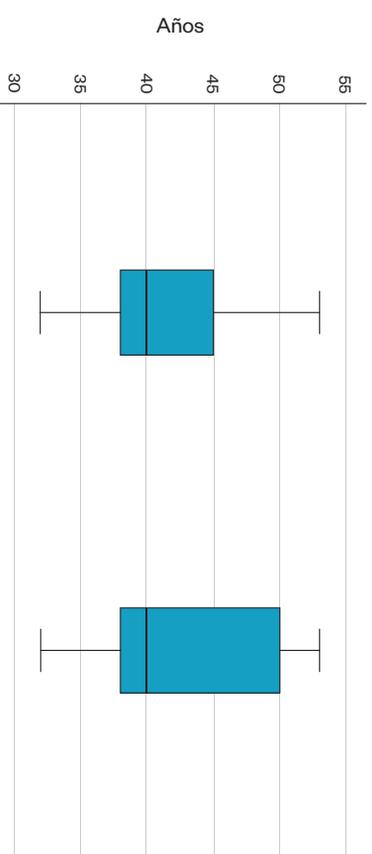


Figura 53. Edad (años) de la muestra por grupos

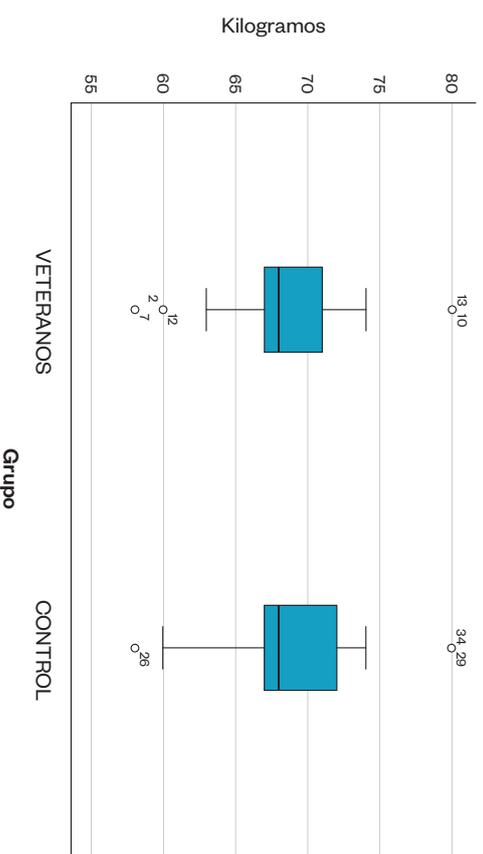


Figura 55. Masa corporal (kg) de la muestra por grupos

4. Gráficas de la muestra por grupos de las poleas de escaladores experimentados.

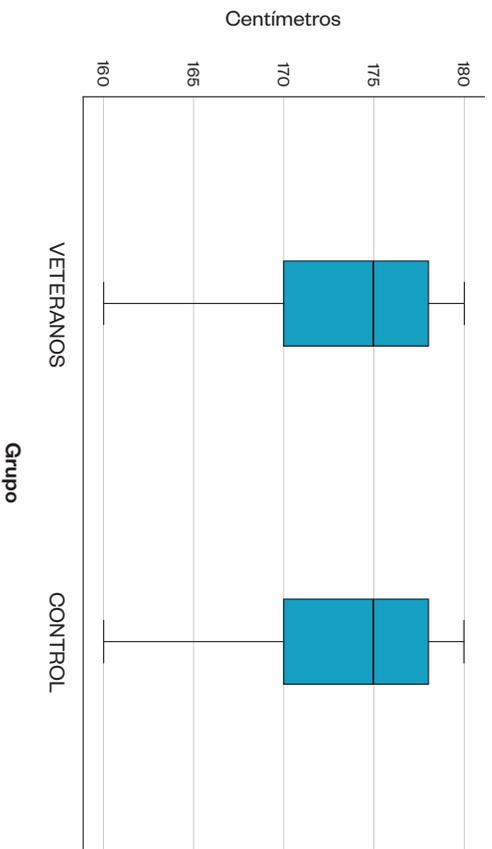


Figura 55. Estatura (cm) de la muestra por grupos

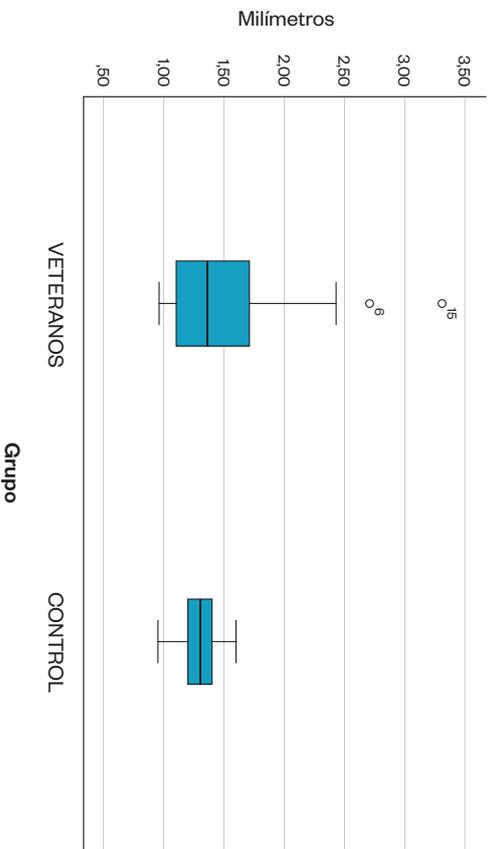


Figura 56. Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la muestra por grupos

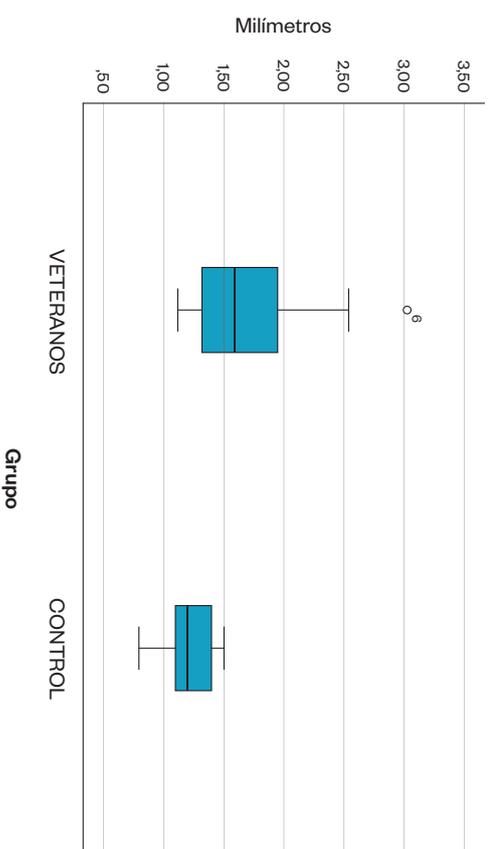


Figura 57. Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A4 de la muestra por grupos

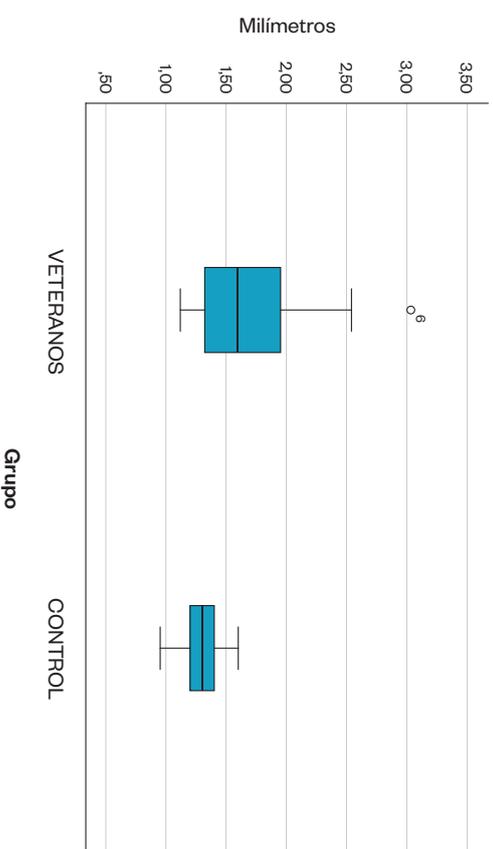


Figura 58. Distancia tendón-hueso (mm) de la media de las poleas A2 y A4 de la muestra por grupos

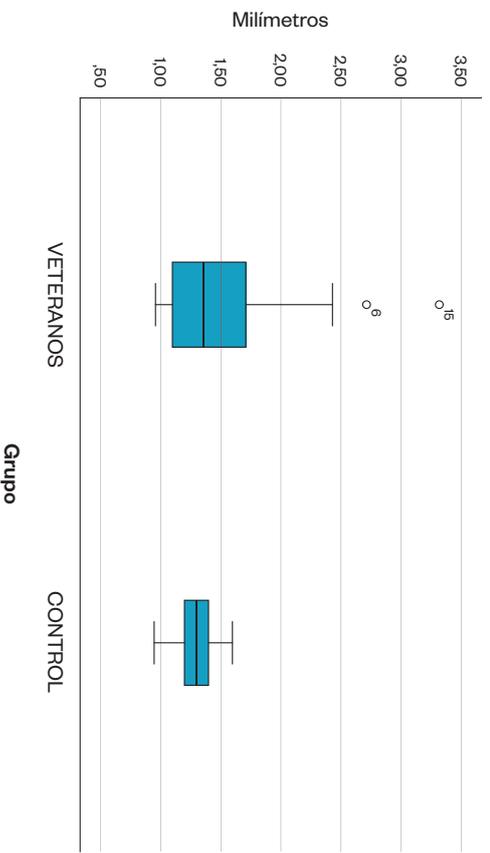


Figura 59. Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la mano no dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos

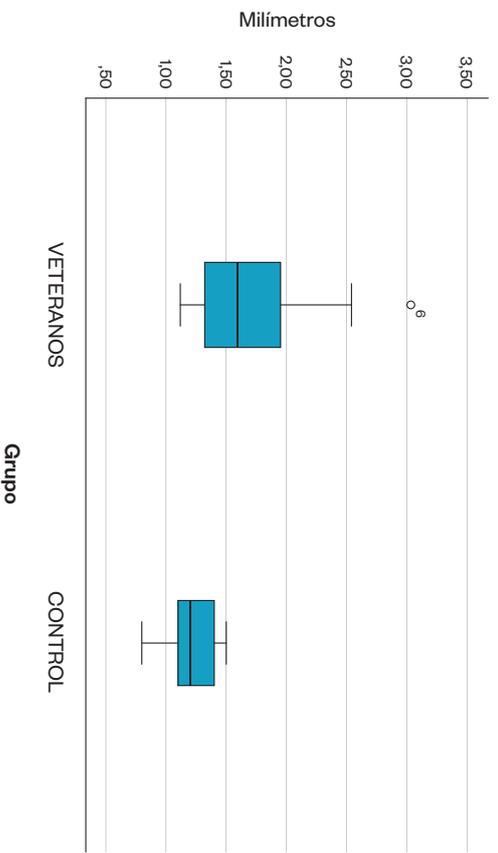


Figura 60. Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A4 de la mano no dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos

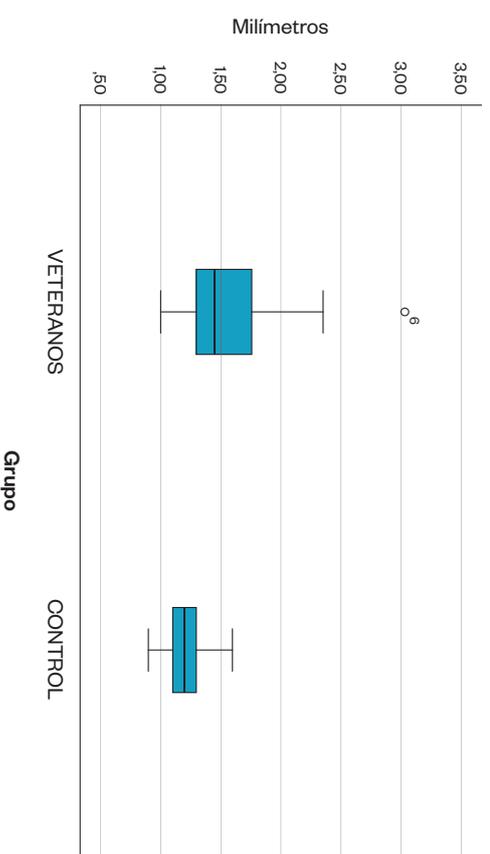


Figura 61. Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la mano dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos

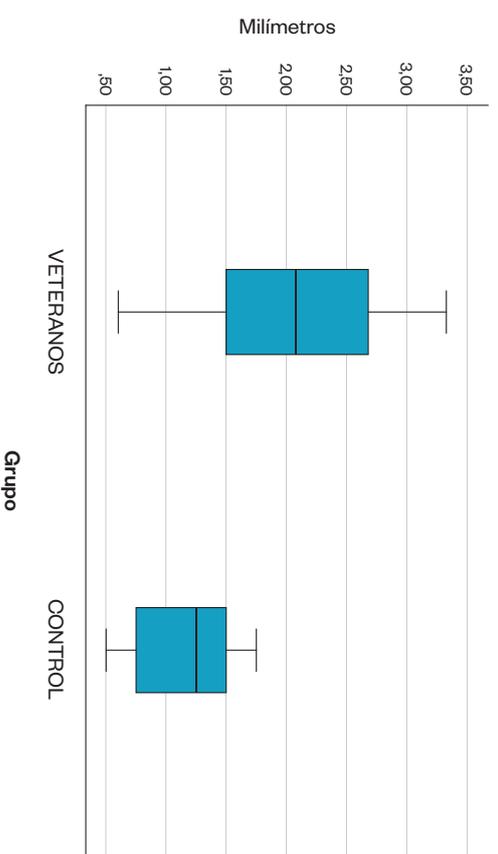


Figura 62. Distancia tendón-hueso (mm) de la polea A4 de la mano dominante en eje longitudinal de la muestra por grupos

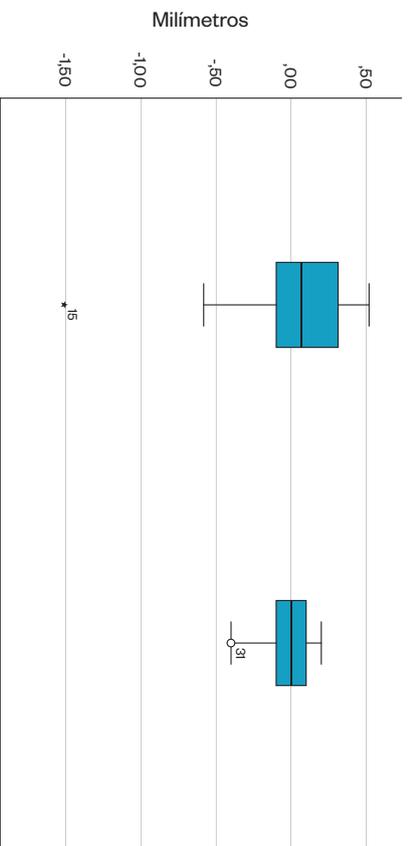


Figura 63. Distancia tendón-hueso (mm) de la diferencia de poleas A2 en eje longitudinal en ambas manos de la muestra por grupos

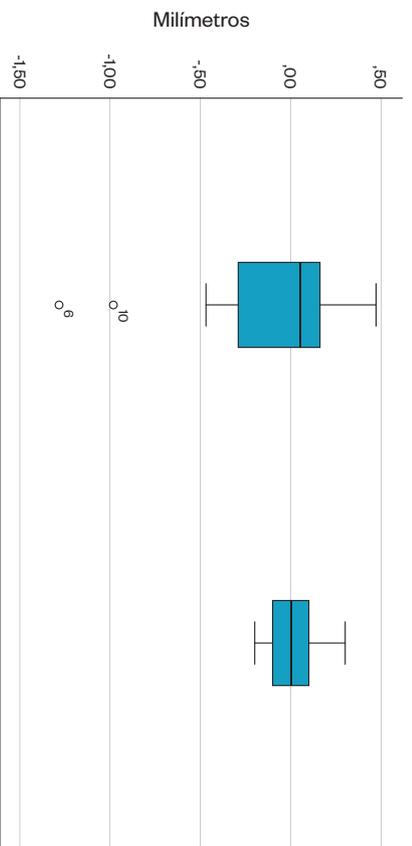


Figura 64. Distancia tendón-hueso (mm) de la diferencia de poleas A4 en eje longitudinal en ambas manos de la muestra por grupos

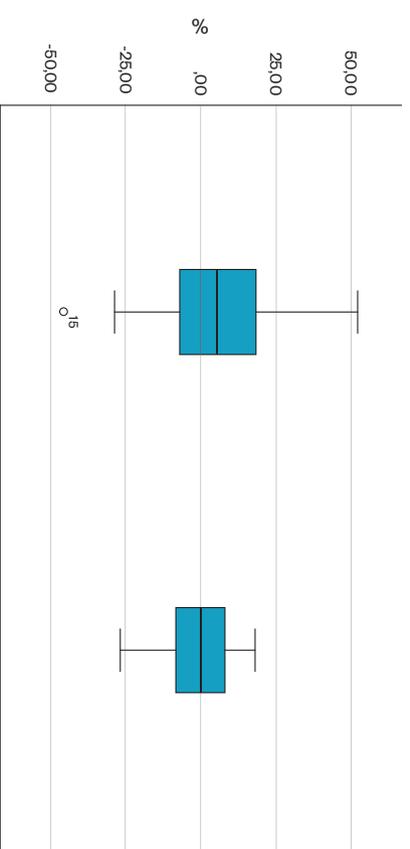


Figura 65. Porcentaje (%) de diferencia en la distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la muestra por grupos

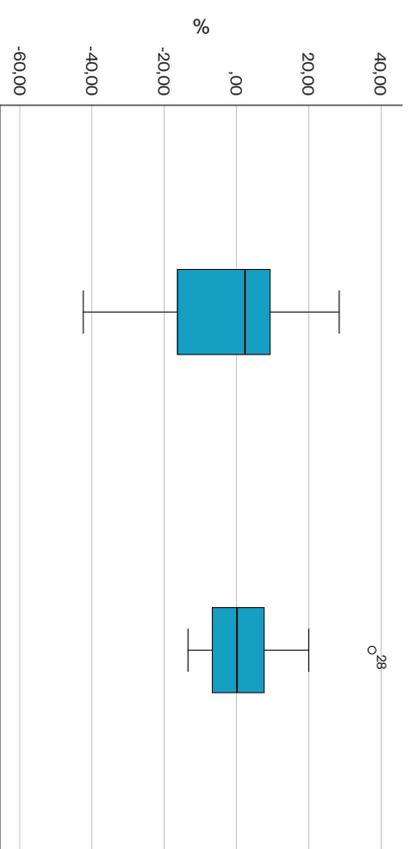


Figura 66. Porcentaje (%) de diferencia en la distancia tendón-hueso (mm) de la polea A2 de la muestra por grupos

