

TESIS DOCTORAL INTERNACIONAL



ESTUDIO DE LAS CARGAS APLICADAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS TENDINOPATÍAS EN FISIOTERAPIA

*STUDY OF THE LOADS APPLIED IN THE TREATMENT OF TENDINOPATHIES IN
PHYSIOTHERAPY*

ADRIÁN ESCRICHE ESCUDER

DIRECTORES:

ANTONIO IGNACIO CUESTA VARGAS

JOSÉ CASAÑA GRANELL

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD

 FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA SALUD
Universidad de Málaga

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA


2023





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AUTOR: Adrián Escriche Escuder

 <https://orcid.org/0000-0003-4402-6483>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es





DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR

D./Dña ADRIÁN ESCRICHE ESCUDER

Estudiante del programa de doctorado EN CIENCIAS DE LA SALUD de la Universidad de Málaga, autor/a de la tesis, presentada para la obtención del título de doctor por la Universidad de Málaga, titulada: ESTUDIO DE LAS CARGAS APLICADAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS TENDINOPATÍAS EN FISIOTERAPIA

Realizada bajo la tutorización de ANTONIO IGNACIO CUESTA VARGAS y dirección de ANTONIO IGNACIO CUESTA VARGAS Y JOSÉ CASAÑA GRANELL (si tuviera varios directores deberá hacer constar el nombre de todos)

DECLARO QUE:

La tesis presentada es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, conforme al ordenamiento jurídico vigente (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo.

Igualmente asumo, ante a la Universidad de Málaga y ante cualquier otra instancia, la responsabilidad que pudiera derivarse en caso de plagio de contenidos en la tesis presentada, conforme al ordenamiento jurídico vigente.

En Málaga, a 22 de OCTUBRE de 2022

Fdo.: ADRIÁN ESCRICHE ESCUDER Doctorando	Fdo.: ANTONIO I. CUESTA VARGAS Tutor y Director
Fdo.: JOSÉ CASAÑA GRANELL Director	





D. ANTONIO IGNACIO CUESTA VARGAS, Doctor por la Universidad de Málaga y Profesor Titular del Departamento de Fisioterapia, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Málaga y **D. JOSÉ CASAÑA GRANELL**, Doctor por la Universidad de Valencia y Profesor Titular del Departamento de Fisioterapia, perteneciente a la Facultad de Fisioterapia de la Universidad de Valencia.

CERTIFICAN:

Que la tesis “ESTUDIO DE LAS CARGAS APLICADAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS TENDINOPATÍAS EN FISIOTERAPIA”, realizada por D. ADRIÁN ESCRICHE ESCUDER, reúne las condiciones científicas y académicas para su presentación.

Fdo.: D. Antonio I. Cuesta Vargas
Director y Tutor

Fdo.: D. José Casaña Granell
Director



A mi madre, una mujer única que me enseñó el valor del esfuerzo y cuyo recuerdo me sigue guiando en cada paso.

A mi padre y mi hermana, a quienes estaré eternamente agradecido por ser el apoyo incondicional que nunca me ha faltado y un ejemplo a seguir para mí.

A mi pareja María, por estar a mi lado incluso en los momentos en los que ha tenido que compartir mi tiempo con mi pasión por el deporte y la fisioterapia.

A JOSÉ CASAÑA GRANELL Y ANTONIO I. CUESTA VARGAS, DIRECTORES DE ESTA TESIS DOCTORAL

Me resulta muy difícil expresar con palabras todo lo que han representado para mí mis dos directores, tanto a nivel personal como profesional.

José Casaña fue uno de mis primeros profesores en el Grado en Fisioterapia, en la Universitat de València. Para entonces, año 2012, todavía no sabía que acabaría siendo una de las personas más influyentes en mi carrera profesional. Durante el segundo y tercer curso empecé a colaborar con su grupo de investigación, haciéndolo de nuevo, en cuarto, a través de una Beca de Colaboración y el Trabajo Final de Grado.

El papel de José en mi carrera profesional es incontestable. Debo reconocer que él fue el responsable de despertar mi interés por el ejercicio terapéutico y de mi inicio en la carrera investigadora. Desde un primer momento he admirado su capacidad de trabajo y la pasión que desprende cuando se enfrenta a nuevos retos. José, junto con otras personas de las que no me quiero olvidar en las siguientes páginas, apostó firmemente y desde un primer momento por mí, permitiéndome trabajar con ellos en numerosos proyectos y desarrollarme personal y profesionalmente. Desde entonces, tanto en mis años en Valencia como, desde 2018, en la distancia, ha seguido siendo un apoyo, un referente y un guía en este intenso camino que supone la tesis doctoral.

Conocí a **Antonio Cuesta** en un seminario que impartió en el Máster en Recuperación Funcional en Fisioterapia de la Universitat de València. Nos habló de algo llamado Clinimetría y de su importancia dentro de la fisioterapia. Es curioso cómo ese “algo”, que en aquel momento yo no conocía, se ha inculcado tan dentro de la visión que tengo de nuestra profesión.

Desde que inicié mi andadura en el Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud de la Universidad de Málaga, y especialmente desde que me mudé a esta ciudad acompañado de un contrato FPU en 2018, Antonio se ha convertido en una figura sin la cual ya no soy capaz de entender la fisioterapia. En estos más de cuatro años he tenido el privilegio de compartir cientos de horas a su lado escuchando y aprendiendo de una de las mentes más brillantes que he conocido. Simplemente, por permitirme recorrer junto a él el camino del Doctorado ya debería estar enormemente agradecido. Sin embargo, Antonio no solo ha sido un referente en lo profesional, sino que se ha convertido también en una referencia en mi vida personal que, sin ninguna duda, se ve reflejada en todo aquello que hago.

Con todo esto, es evidente que José y Antonio han sido, para mí, mucho más que mis directores de tesis. Algunas veces me he identificado en ellos como mis mentores, entendiendo con este concepto algo que va más allá de un tutor o director. Sin embargo, creo que tampoco esta palabra describe todo lo que supone ser un guía, una referencia, una perfecta compañía para compartir objetivos y, lo que para mí es más importante, un compañero y amigo con quien compartir buenos momentos. Porque, aunque a veces se nos olvide, además de fisioterapeutas, clínicos, profesores o investigadores somos, ante todo, personas.

Por todo lo anterior y por todo lo que llegará, gracias a ambos.

AGRADECIMIENTOS

No quiero dejar pasar la oportunidad de acordarme y extender mi agradecimiento a otras muchas personas que han sido un apoyo durante mi carrera académica y profesional y durante estos años como doctorando.

Quiero acordarme en este punto de **Joaquín Calatayud** y **Yasmin Ezzatvar**. Ellos, junto con José Casaña, confiaron en mí lo suficiente como para invertir su tiempo en mi formación inicial y permitirme compartir proyectos junto a ellos. También, me gustaría extender este agradecimiento a muchos de mis profesores de mi etapa académica.

I would like to thank **Professor Jo Nijs**, from the Vrije Universiteit Brussel, for the opportunity to stay at this university within the Pain in Motion research group, an experience that has allowed me to opt for the international mention, learn from experts worldwide and start new lines of research in the field of my doctoral thesis.

Así mismo, quiero agradecer el apoyo y el sentimiento de pertenencia que me han brindado **los compañeros del Grupo Clinimetría** y del **Departamento de Fisioterapia** con los que he tenido la suerte de compartir trabajo y ocio, acordándome en este punto de personas como **José María Arjona, Attila Biro, Celia García, Jaime Martín, Daniel Gutiérrez, David Pérez, Antonio Muro, Ignacio Durán, Fernando Fernández y Manuel González** y, especialmente, de **Álvaro Pareja, Iván Fuentes, Cristina Roldán y Manuel Trinidad**, con los que he compartido cientos de horas e ilusiones en estos más de cuatro años.

A **mis compañeros de Grado**, muchos de los cuáles me honra considerar verdaderos amigos, por ser una pieza esencial durante cuatro de los mejores años de nuestras vidas y seguir siéndolo ahora.

A **Rodrigo Martín**, por confiar en mí y dejarme aprender de él en nuestra etapa conjunta en el Valencia C.F. y por convertirse, desde entonces, en un verdadero amigo con el que compartir proyectos y momentos.

Agradecimiento especial a **mis amigos de Castellón y Sarrión**. Gracias por tantos momentos y por ser parte de un ecosistema del que nunca me quiero marchar.

Por último, y de gran valor para mí, quiero agradecer su apoyo **a mi familia al completo** y a **Carmen Grueso**, acordándome especialmente de mis **tías y tíos** y de mi **prima Aurora**, por haber sido un apoyo perenne y por haber estado tanto en los momentos de celebración como cuando ha sido necesario afrontar las situaciones más difíciles.

FINANCIACIÓN

Este proyecto de tesis doctoral ha sido apoyado por el programa de Ayudas para la Formación de Profesorado Universitario (FPU) de 2017 del Ministerio de Ciencia, innovación y Universidades, actual Ministerio de Universidades.

Número de ayuda: FPU17/00161



Adicionalmente, este proyecto ha recibido financiación para el apoyo de la publicación de algunos de los artículos integrados en esta tesis doctoral en revistas de acceso abierto y para la realización de la estancia internacional en la Vrije Universiteit Brussel de Bruselas (Bélgica), a través de ayudas integradas en el I Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Málaga.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	9
1.1 DEFINICIÓN	11
1.2 ANATOMÍA, ESTRUCTURA Y FISIOLÓGÍA TENDINOSAS	12
1.2.1 <i>Composición y estructura tendinosas</i>	12
1.2.2 <i>Variaciones en la composición y estructura tendinosas</i>	13
1.2.3 <i>Síntesis y estructura del colágeno</i>	15
1.2.4 <i>Adaptación y remodelación de la matriz extracelular</i>	17
1.2.5 <i>Vascularización e inervación tendinosas</i>	18
1.3 FISIOPATOLOGÍA TENDINOSA	20
1.3.1 <i>Tendinopatía como proceso degenerativo</i>	20
1.3.2 <i>Papel de la inflamación en el proceso fisiopatológico</i>	23
1.3.3 <i>Etiopatogenia</i>	25
1.4 BIOMECÁNICA Y FUNCIÓN DEL TENDÓN	29
1.4.1 <i>Biomecánica y función del tendón</i>	29
1.4.2 <i>Respuesta a la carga</i>	31
1.4.3 <i>Tipos de cargas</i>	33
1.5 CLASIFICACIÓN	38
1.5.1 <i>Clasificación según estructura o localización</i>	38
1.5.2 <i>Clasificación integradora de hallazgos histológicos y pruebas de imagen junto con sintomatología y función: teoría del continuo</i>	40
1.6 PRESENTACIÓN Y EVOLUCIÓN	45



1.6.1	<i>Variedad de presentaciones</i>	45
1.6.2	<i>Dolor y alteraciones sensoriales en la tendinopatía</i>	48
1.6.3	<i>Influencia de factores psicosociales</i>	50
1.6.4	<i>Evolución</i>	51
1.6.5	<i>Características clínicas de la tendinopatía aquilea</i>	52
1.6.6	<i>Características clínicas de la tendinopatía rotuliana</i>	53
1.6.7	<i>Características clínicas de la tendinopatía glútea</i>	54
1.7	FACTORES DE RIESGO	55
1.8	INCIDENCIA Y PREVALENCIA	57
1.9	DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO	59
1.9.1	<i>Pruebas de imagen y palpación</i>	60
1.9.2	<i>Pruebas, tests y cuestionarios</i>	61
1.10	TRATAMIENTO.....	63
1.10.1	<i>Manejo de la fase reactiva y degenerativa</i>	65
1.10.2	<i>Abordaje activo: ejercicio terapéutico y educación</i>	66
1.11	JUSTIFICACIÓN.....	75
1.12	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	76
1.12.1	<i>Hipótesis y objetivo general</i>	76
1.12.2	<i>Hipótesis y objetivos específicos</i>	77

PRESENTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS INCLUIDOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA

2.1	PRIMER ARTÍCULO: “MODELLING AND IN VIVO EVALUATION OF TENDON FORCES AND STRAIN IN DYNAMIC REHABILITATION EXERCISES: A SCOPING REVIEW”	84
-----	---	----



2.1.1	<i>Antecedentes y contexto del primer artículo</i>	84
2.2	SEGUNDO Y TERCER ARTÍCULO: “PROGRESSION CRITERIA IN LOADING EXERCISE PROGRAMMES IN LOWER LIMB TENDINOPATHY: A PROTOCOL FOR A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS” Y “LOAD PROGRESSION CRITERIA IN EXERCISE PROGRAMMES IN LOWER LIMB TENDINOPATHY: A SYSTEMATIC REVIEW”	87
2.2.1	<i>Antecedentes y contexto del segundo y tercer artículo</i>	87
2.3	CUARTO ARTÍCULO: “EFFECT OF A COMMON EXERCISE PROGRAMME WITH AN INDIVIDUALISED PROGRESSION CRITERION BASED ON THE MEASUREMENT OF NEUROMUSCULAR CAPACITY VERSUS CURRENT BEST PRACTICE FOR LOWER LIMB TENDINOPATHIES (MALAGA TRIAL): A PROTOCOL FOR A RANDOMISED CLINICAL TRIAL”	90
2.3.1	<i>Antecedentes y contexto del cuarto artículo</i>	90
	RESULTADOS	93
3.1	RESULTADOS DEL PRIMER ARTÍCULO.....	95
3.1.1	<i>Metodologías de evaluación de cargas in vivo</i>	95
3.1.2	<i>Ejercicios dinámicos analizados</i>	105
3.2	RESULTADOS DEL SEGUNDO Y TERCER ARTÍCULO:.....	106
3.2.1	<i>Programas de ejercicio analizados</i>	106
3.2.2	<i>Criterios de progresión de la carga: propuesta para una nueva clasificación</i>	107
3.2.3	<i>Análisis de la efectividad de los criterios utilizados</i>	109
3.2.4	<i>Análisis de la calidad metodológica</i>	115
3.3	RESULTADOS DEL CUARTO ARTÍCULO	117
3.3.1	<i>Características generales del Protocolo MáLaGa</i>	118

3.3.2	<i>Entrenamiento neuromuscular por etapas</i>	119
3.3.3	<i>Entrenamiento aeróbico</i>	133
	DISCUSIÓN	139
4.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN DE LAS CARGAS APLICADAS	141
4.2	CRITERIOS DE PROGRESIÓN EN LA CARGA	146
4.3	DISEÑO DE PROGRAMAS DE EJERCICIO TERAPÉUTICO EN TENDINOPATÍAS	150
4.4	IMPLICACIONES PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA.....	152
4.5	FORTALEZAS Y LIMITACIONES	154
4.6	LÍNEAS FUTURAS	156
4.7	CONCLUSIONS (ENGLISH)	157
4.7.1	<i>General conclusions</i>	157
4.7.2	<i>Specific conclusions</i>	158
	REFERENCIAS	161
	HABILIDADES AQUIRIDAS	201
6.1	INVESTIGACIÓN.....	203
6.2	IDIOMAS	206
6.3	DOCENCIA	206
6.4	ÁMBITO CLÍNICO	207
6.5	DESARROLLO PERSONAL	207
	PERSPECTIVAS	209
	EXPANDED SUMMARY (ENGLISH)	213
8.1	INTRODUCTION	215

8.1.1 <i>Justification</i>	220
8.1.2 <i>Hypotheses and objectives</i>	221
8.2 PRESENTATION OF THE ARTICLES	224
8.2.1 <i>Methodology of the first article</i>	225
8.2.2 <i>Methodology of the second and third article</i>	227
8.2.3 <i>Methodology of the fourth article</i>	231
8.3 RESULTS.....	239
8.3.1 <i>Results of the first article</i>	239
8.3.2 <i>Results of the second and third articles</i>	239
8.3.3 <i>Results of the fourth article</i>	242
8.4 DISCUSSION	243
8.4.1 <i>Methods and techniques for quantifying the loads that act on the tendon</i> 243	
8.4.2 <i>Load progression criteria</i>	245
8.4.3 <i>Design of therapeutic exercise programmes in tendinopathies</i>	247
8.4.4 <i>Implications for clinical practice</i>	249
8.4.5 <i>Strengths and limitations</i>	250
8.4.6 <i>Future studies</i>	252
8.5 CONCLUSIONS	253
8.5.1 <i>General conclusions</i>	253
8.5.1 <i>Specific conclusions</i>	253
ANEXOS	255
ANEXO 1: METODOLOGÍA UTILIZADA EN LOS ESTUDIOS INCLUIDOS.....	257
<i>Anexo 1.1 Metodología utilizada en el primer artículo</i>	257



<i>Anexo 1.2 Metodología utilizada en el segundo y tercer artículo</i>	260
<i>Anexo 1.3 Metodología utilizada en el cuarto artículo</i>	265
ANEXO 2: INFORMACIÓN ADICIONAL DE LOS RESULTADOS DEL PRIMER ARTÍCULO	281
ANEXO 3: INFORMACIÓN ADICIONAL DE LOS RESULTADOS DEL SEGUNDO Y TERCER ARTÍCULO	291
COPIA DE LOS TRABAJOS QUE FORMAN PARTE DE LA TESIS	301



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cambios estructurales y moleculares identificados en la tendinopatía crónica. Datos obtenidos de Riley, 2008.....	23
Tabla 2. Factores de riesgo intrínsecos y extrínsecos generales para el desarrollo de tendinopatía.....	56
Tabla 3. Factores de riesgo intrínsecos específicos para el desarrollo de tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea.....	57
Tabla 4. Incidencia y prevalencia de tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea.....	58
Tabla 5. Métodos de evaluación de las fuerzas y estiramientos soportados por el tendón durante ejercicios dinámicos.....	96
Tabla 6. Ejercicios analizados en los estudios incluidos.....	105
Tabla 7. Tipo de ejercicio y fase de la contracción de los programas utilizados en los estudios incluidos.....	107
Tabla 8. D de Cohen, porcentaje de cambio y nivel de significación (comparación intergrupos) de las principales variables clínicas. Tabla de Escriche-Escuder et al., 2020 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.....	110
Tabla 9. D de Cohen, porcentaje de cambio y nivel de significación (comparación intergrupos) de las principales variables de rendimiento. Tabla de Escriche-Escuder et al., 2020 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.....	114
Tabla 10. Resultados del análisis de la calidad metodológica mediante la escala PEDro.....	116
Tabla 11. Ejercicios y parametrización de la Etapa 5.....	133
Tabla 12. Parámetros del entrenamiento aeróbico.....	136
Tabla 13. Valores de referencia para la estimación del consumo máximo de oxígeno a través del porcentaje de la frecuencia cardíaca de reserva. Datos calculados utilizando como referencia los resultados de Swain et al., 1994.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferencias en la composición tendinosa. Figura de Riley, 2008 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	14
Figura 2. Anatomía y arquitectura tendinosas. (A) Relación del tendón con músculo y hueso; (B) estructura del tendón vista desde diferentes niveles. Figura de Nourissat et al., 2015 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	16
Figura 3. Organización y cambios en el tendón normal y patológico. Figura de Millar et al., 2021 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	21
Figura 4. Representación de la curva estrés-estiramiento del tendón.....	31
Figura 5. Fases y relaciones del continuo de la patología del tendón (adaptado y traducido). Figura adaptada y traducida de J. L. Cook & Purdam, 2009 con permiso de los poseedores de los derechos.....	41
Figura 6. Imagen del tendón mediante caracterización ultrasónica tisular (UTC, por sus siglas en inglés). (A) Aspecto normal del tendón rotuliano; (B) desorganización leve del tendón rotuliano y (C) desorganización severa del tendón rotuliano. Figura de Rudavsky & Cook, 2014 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	44
Figura 7. Variedad de presentaciones en las afecciones tendinosas. Figura adaptada y traducida de J. L. Cook et al., 2016 con permiso de los poseedores de los derechos....	45
Figura 8. Imágenes de caracterización ultrasónica del tisular (UTC) un tendón rotuliano con tendinopatía degenerativa con presencia de un área preservada (A) que progresa a un estado reactivo (B). Figura de Rudavsky & Cook, 2014 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.....	47
Figura 9. Localizaciones habituales del dolor en tendinopatía del tendón de Aquiles..	53
Figura 10. Localización habitual del dolor en tendinopatía rotuliana (sombreado en rojo),	54
Figura 11. Área primaria de dolor en la tendinopatía glútea (sombreado en rojo).....	55
Figura 12. Etapas propuestas para los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías.....	70
Figura 13. Ejemplo de colocación de marcadores reflectantes para la evaluación de fuerzas en configuraciones experimentales para (A) ejercicios de peso libre y (B)	

ejercicios en dispositivo de Bromsman, ambos realizados sobre plano declinado. Figura de Frohm et al., 2007 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	98
Figura 14. Transductor de fuerza de hebilla con marco y punto de apoyo removible. A) Imagen de la inserción del transductor: el tendón se introduce entre los arcos semicirculares y se apoya sobre el punto de apoyo. B) Forma y tamaño del transductor de fuerza con inserción de galga extensiométrica en su extremo. Figura de Edsfeldt et al., 2015 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	100
Figura 15. Ejemplo de colocación de los filamentos de fibra óptica para la medición de fuerzas en el tendón rotuliano. Figura de Dillon et al., 2008 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	102
Figura 16. Ejemplo de diseño experimental que muestra cómo se midió y extrapoló la longitud del fascículo del vasto lateral del cuádriceps durante sentadilla con salto. Figura de Earp et al., 2016 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.....	104
Figura 17. Nueva propuesta de clasificación de los criterios de progresión en la carga en programas de ejercicio en tendinopatías de miembro inferior.....	109
Figura 18. Cuadro resumen de las características del Protocolo MáLaGa. ISOM= Isométricos; A.E.= Almacenamiento de energía.....	119
Figura 19. Imagen representativa de la posición de los pies en las cuatro variantes del movimiento en la prensa de piernas. A) Pies separados con el ancho de los hombros; B) pie izquierdo adelantado; C) pie derecho adelantado; D) pies separados con rotación tibial externa de 45°.....	120
Figura 20. Cuadro resumen de la metodología utilizada para la individualización de la carga. ISOM= Isométricos; A.E.= Almacenamiento de energía; P/= Para; MÍN= Mínimo; Tº= Tiempo; DJ= “Drop Jump” o salto con caída; REP= Repetidos.....	122
Figura 21. Cuadro resumen de la Etapa 1 del programa (ISOM= isométricos; R= descanso; v/sem= veces por semana; VO ₂ máx = consumo máximo de oxígeno).....	124
Figura 22. Cuadro resumen de la Etapa 2 del programa (R= descanso; RM: repeticiones máximas; v/sem= veces por semana; VO ₂ máx = consumo máximo de oxígeno).....	127
Figura 23. Cuadro resumen de la Etapa 3 del programa (R= descanso; v/sem= veces por semana; VO ₂ máx = consumo máximo de oxígeno).....	129
Figura 24. Cuadro resumen de la Etapa 4 del programa (R= descanso; v/sem= veces por semana; VO ₂ máx = consumo máximo de oxígeno).....	131



Figura 25. Ejemplo de ergómetro de miembros superiores.....	135
Figura 26. Promedio de 27 regresiones lineales en hombres en alta forma (%FCmáx = [0.636 ±0.017]%VO ₂ máx + [38.2 ±1.7]), con una r= 0.987 ±0.002, y de 27 regresiones lineales en hombres en baja forma (%FCmáx = [0.659 ±0.017]%VO ₂ máx + [34.6 ±1.8], con r = 0.991 ±0.002) Los puntos de origen representan la media de los valores obtenidos durante el primer minuto del protocolo de Bruce.....	137



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANOVA: Análisis de la varianza

CSI: Inventario de Sensibilización Central (en inglés, *Central Sensitisation Inventory*)

EQ-5D-5L: Versión de 5 niveles y 5 dimensiones del cuestionario EQ, anteriormente conocido como EuroQol

EVA: Escala visual analógica

FACS: Escala de Componentes de Miedo-Evitación (en inglés, *Fear-avoidance Components Scale*)

FAOS: Puntuación de pie y tobillo (en inglés, *Foot and Ankle Outcome Score*)

GRADE: Calificación de las Recomendaciones, Evaluación, Desarrollo y Evaluación (en inglés, *Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*)

HOOS: Puntuación de disfunción de cadera y artrosis (en inglés, *Hip dysfunction and Osteoarthritis Outcome Score*)

HSR: Heavy Slow Resistance

IPAQ-SF: Cuestionario Internacional de Actividad Física (en inglés, *International Physical Activity Questionnaire Short Form*)

LLFI: Índice Funcional de Miembros Inferiores (en inglés, *Lower Limb Functional Index*)

OHS: Puntuación de cadera de Oxford (en inglés, *Oxford Hip Score*)

ÖMPSQ: Cuestionario de dolor musculoesquelético de Örebro (en inglés, *Örebro Musculoskeletal Pain Questionnaire*)

PRISMA: Elementos preferidos para el informe de revisiones sistemáticas y metaanálisis (en inglés, *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)

PRISMA-ScR: Extensión para revisiones de alcance de la guía PRISMA

PROSPERO: Registro prospectivo internacional de revisiones sistemáticas (en inglés, *International prospective register of systematic reviews*)

RM: repetición máxima o repeticiones máximas



SPIRIT: Elementos estándar del protocolo: Recomendaciones para ensayos de intervención (en inglés, *Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials*)

UTC: Caracterización ultrasónica tisular (en inglés, *Ultrasound Tissue Characterisation*)

VISA: Cuestionario de evaluación del Victorian Institute of Sports (en inglés, *Victorian Institute of Sports Assessment*)

VISA-A: Versión para tendinopatía Aquiles del cuestionario VISA

VISA-P: Versión para tendinopatía rotuliana del cuestionario VISA

VISA-G: Versión para tendinopatía glútea del cuestionario VISA



LISTA DE ARTÍCULOS

La presente tesis doctoral se sustenta en la publicación de cuatro artículos. Estos trabajos, cuya copia se adjunta al final del documento, aparecen referidos durante el trabajo como primer, segundo, tercer y cuarto artículo.

Primer artículo

Escriche-Escuder, A., Cuesta-Vargas, A. I., & Casaña, J. (2022). Modelling and in vivo evaluation of tendon forces and strain in dynamic rehabilitation exercises: A scoping review. *BMJ Open*, 12(7), e057605. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-057605>

Segundo artículo

Escriche-Escuder, A., Casaña, J., & Cuesta-Vargas, A. I. (2019). Progression criteria in loading exercise programmes in lower limb tendinopathy: A protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 9(12), e032940. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-032940>

Tercer artículo

Escriche-Escuder, A., Casaña, J., & Cuesta-Vargas, A. I. (2020). Load progression criteria in exercise programmes in lower limb tendinopathy: A systematic review. *BMJ Open*, 10(11), e041433. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-041433>

Cuarto artículo

Escriche-Escuder, A., Cuesta-Vargas, A. I., & Casaña, J. (2021). Effect of a common exercise programme with an individualised progression criterion based on the measurement of neuromuscular capacity versus current best practice for lower limb tendinopathies (MaLaGa trial): A protocol for a randomised clinical trial. *BMJ Open*, 11(8), e046729. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046729>

RESUMEN





RESUMEN

Introducción

El término "tendinopatía" fue acordado en el International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus (ICON 2019) como el preferido para describir el cuadro de dolor tendinoso persistente y pérdida de función relacionado con la carga mecánica, como una mejor alternativa a otros términos tradicionalmente utilizados como tendinitis y tendinosis. El ejercicio y la educación terapéuticos, aplicados junto a un adecuado control de las cargas, son considerados tratamientos de primera línea en la tendinopatía, con numerosos estudios publicados en las últimas décadas. Uno de los aspectos fundamentales de los programas de ejercicio terapéutico es la metodología utilizada para el establecimiento y la progresión de las cargas aplicadas. Sin embargo, en la actualidad existe una importante heterogeneidad en las metodologías utilizadas, siendo necesario un mayor estudio y análisis de los criterios disponibles. Para una óptima elección y adecuación de las cargas, es de especial interés disponer de herramientas que permitan la cuantificación de las cargas soportadas por el tendón durante los ejercicios que el paciente realiza.

En este contexto, el objetivo general de esta tesis doctoral fue analizar la aplicación de cargas en los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías y diseñar un programa de ejercicio original para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea basado en la aplicación de estas. Los objetivos específicos fueron: 1) Analizar y describir los métodos y técnicas de cuantificación in vivo de las cargas soportadas por el tendón en los ejercicios habitualmente pautados, poniendo el foco en las ventajas y limitaciones de cada uno; 2) Analizar y describir los criterios de progresión utilizados en los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías de miembros inferiores (aquilea, rotuliana y





glútea), así como comparar su efectividad en variables relacionadas con el dolor, la función y el rendimiento; 3) Integrar el conocimiento adquirido durante la realización de la tesis doctoral junto con la evidencia actual y la experiencia clínica del doctorando y sus directores para desarrollar un protocolo de intervención mediante ejercicio terapéutico común para las principales tendinopatías de miembros inferiores (aquílea, rotuliana y glútea); 4) Desarrollar una sistematización del ejercicio basada en la diferenciación de etapas con diferentes objetivos en función de las diferentes adaptaciones del sistema neuromuscular; 5) Desarrollar una metodología para la cuantificación de la intensidad de las cargas basada en tests específicos para cada uno de los aspectos del sistema neuromuscular trabajados; y 6) Diseñar un ensayo controlado aleatorizado que permita estudiar la efectividad del protocolo planteado para el cumplimiento del tercer objetivo específico de este trabajo.

Presentación de los artículos

Las revisiones de alcance (primer artículo) y sistemática (segundo y tercer artículo), enfocadas en el análisis de los métodos de cuantificación de las cargas que actúan en el tendón durante los ejercicios y en los criterios de progresión en la carga en los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatía, respectivamente, han sido fundamentales para conocer, sintetizar y consolidar el conocimiento actual existente acerca de la aplicación de cargas en los programas de ejercicio terapéutico en esta población clínica.

Adicionalmente, el conocimiento adquirido durante la ejecución de estos estudios y mediante el estudio en profundidad de la tendinopatía durante el periodo de realización de la tesis ha sido aunado con la experiencia clínica de los directores de la tesis y el



doctorando para diseñar y plantear un nuevo programa de ejercicio terapéutico para tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea. Este nuevo programa, denominado “Protocolo MáLaGa”, ha sido integrado en uno de los brazos de intervención de un ensayo controlado aleatorizado para su comparación frente a la mejor práctica actual (cuarto artículo).

En conjunto, estas cuatro publicaciones conforman una unidad temática alrededor del estudio de las cargas aplicadas en el tratamiento de las tendinopatías en fisioterapia.

Resultados

En la revisión de alcance (primer artículo) se incluyeron 21 estudios que analizaron los métodos y técnicas utilizados para la evaluación de cargas in vivo durante ejercicios dinámicos. Entre las metodologías basadas en la cuantificación de las fuerzas destaca el uso de dinámicas inversas apoyadas en el uso de instrumentos de valoración cinética y cinemática, la aplicación de diferentes modelos de transductores de fuerza (de hebilla, con forma de S y células de carga) y la introducción de sensores de fibra óptica. Por otro lado, entre las metodologías que evaluaron el estiramiento tendinoso como medida de deformación destaca el uso de diferentes procedimientos ecográficos.

Los resultados del segundo y tercer artículo se abordan de manera conjunta por hacer referencia al protocolo de una revisión sistemática y a la versión completa de esta. En la mencionada revisión sistemática se incluyeron 30 estudios que utilizaron diversos criterios de progresión en programas de ejercicio terapéutico para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea. El análisis de los criterios de progresión utilizados en los diferentes programas de ejercicio terapéutico reveló un uso mayoritario de un criterio basado en el aumento gradual de la carga, mediante la incorporación de peso adicional,



cuando el dolor durante la ejecución de los ejercicios disminuye o desaparece. El análisis e integración de los criterios de progresión permitió el desarrollo de una propuesta de clasificación.

El cuarto artículo consiste en un protocolo de un ensayo controlado aleatorizado que integra un nuevo protocolo para las principales tendinopatías de miembros inferiores. Este protocolo (protocolo MáLaGa) se trata de un programa común para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea basado en el entrenamiento específico por etapas de diferentes adaptaciones neuromusculares.

Discusión

Aunque los métodos de cuantificación de cargas identificados en este trabajo permiten la estimación directa o indirecta de las fuerzas y la tensión aplicadas al tendón durante los ejercicios dinámicos, su propia naturaleza dificulta su aplicabilidad en un contexto clínico. El uso de estas técnicas en investigación puede permitir obtener información relevante sobre las cargas aplicadas en los ejercicios dinámicos.

Los resultados del tercer artículo subrayan un uso extendido de criterios basados en el dolor y la sintomatología que, sin embargo, no está apoyada por la evidencia científica. Alternativamente, criterios que tengan en cuenta la capacidad del paciente podrían suponer una mejor estimación de la capacidad funcional y neuromuscular del tendón y el individuo para soportar y asimilar las cargas aplicadas en los programas de ejercicio terapéutico.

El protocolo propuesto en el cuarto artículo de esta tesis doctoral integra una propuesta común para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea a través de un trabajo por etapas de diferentes adaptaciones neuromusculares esenciales para la función





tendinosa. El desarrollo de estudios como el propuesto en el cuarto artículo de esta tesis doctoral proporcionará a los fisioterapeutas evidencia directamente aplicable sobre los programas de ejercicio y sus parámetros.

Conclusiones

El presente proyecto de tesis doctoral aporta los resultados del estudio de la aplicación de cargas en el tratamiento de la tendinopatía, analizados desde diferentes perspectivas. Los resultados obtenidos proporcionan una mejor comprensión de la evaluación de las cargas y la progresión en su aplicación y proporcionan una metodología de intervención original basada en la evidencia científica y la experiencia clínica.

Las conclusiones específicas son: 1) Existe un uso predominante de métodos indirectos basados en dinámicas inversas, pero los transductores de fuerza, la fibra óptica y las estimaciones a partir de datos de deformación o estiramiento también han sido utilizados y descritos en la literatura previa. Aunque estas herramientas pueden ser utilizadas en la investigación para hacer estimaciones generales de las cargas tendinosas, la invasividad de algunos métodos y la pérdida de inmediatez de otros dificultan su implementación en la práctica clínica; 2) Existe un uso predominante de criterios de progresión en la carga basados en el dolor, pero la utilización de estos criterios no está respaldada por evidencia robusta. Es necesario desarrollar estudios de alta calidad que comparen diferentes criterios de progresión aplicados al mismo programa; 3) La integración de los conocimientos adquiridos junto con la evidencia científica y la experiencia clínica ha permitido el desarrollo de un protocolo común de ejercicio terapéutico de 14 semanas (70 sesiones) para las tendinopatías aquilea,





rotuliana y glútea; 4) La integración de los conocimientos adquiridos con la evidencia científica y la experiencia clínica ha permitido desarrollar una sistematización del ejercicio basada en la diferenciación de cinco etapas (isometría, entrenamiento general de fuerza, entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, entrenamiento de fuerza de alta carga y entrenamiento de fuerza explosiva mediante saltos y trabajo pliométrico) con diferentes objetivos; 5) La integración de los conocimientos adquiridos con la evidencia científica y la experiencia clínica ha permitido desarrollar una metodología para la cuantificación de la intensidad de las cargas basada en tests específicos diseñados para calcular la carga requerida para la aparición de fasciculaciones en un tiempo específico (Etapa 1), por la incapacidad de continuar moviendo la carga después de un cierto tiempo (Etapas 2 y 4), para obtener una pérdida de velocidad del 20% en un tiempo específico (Etapa 3) y para calcular la altura máxima que se puede alcanzar y mantener en saltos verticales repetidos durante un tiempo determinado (Etapa 5); 6) Se ha desarrollado y publicado el protocolo de un ensayo controlado aleatorizado, paralelo y con simple ciego que se llevará a cabo entre personas con tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea. El estudio ha sido diseñado para evaluar el efecto de un protocolo de ejercicio común para las tres tendinopatías predominantes de los miembros inferiores, basado en un control individualizado de la dosis y el entrenamiento de aspectos específicos del sistema neuromuscular versus la mejor práctica actual en el tratamiento de cada una de las tres tendinopatías de miembros inferiores estudiadas.



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición

En 2018 en Groningen (Países Bajos), en el International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus (ICON 2019), se acordó el término “tendinopatía” como el preferido para describir el cuadro de dolor persistente del tendón con pérdida de la función relacionado con la carga mecánica, frente a otros términos tradicionalmente utilizados como tendinitis y tendinosis (Scott et al., 2020).

Para entender la importancia del acuerdo sobre este término es necesario remontarse a su evolución histórica. “Tendinitis” fue el término utilizado inicialmente para describir el dolor y engrosamiento del tendón combinado con una pérdida de función. La elección de este término respondía a la creencia de que la inflamación era la responsable del proceso patológico. Esta hipótesis fue ampliamente aceptada y arraigada y se desarrollaron numerosas estrategias de tratamiento enfocadas en este proceso, basadas en gran medida en medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) y corticosteroides (K. M. Khan et al., 2002; Rees et al., 2014). Posteriormente, el término “tendinosis” adquirió popularidad tras su aparición en un reducido pero muy influyente número de publicaciones que mostraban, en el tejido afectado, la separación, adelgazamiento y disrupción del colágeno sin un aparente infiltrado de células inflamatorias (Aström & Rausing, 1995; Józsa & Kannus, 1997; K. M. Khan et al., 1999). De esta manera, los impulsores de este nuevo término defendían la presencia de desestructuración en el cuerpo del tendón con ausencia de células inflamatorias clásicas, subrayando que los enfoques basados en estrategias antiinflamatorias no estarían abordando adecuadamente la patología (K. M. Khan et al., 2002). Frente a estos dos

términos, que otorgaban a la afección un significado muy relacionado con su mecanismo patológico principal, aparece el término “tendinopatía” con un significado mucho más abierto. Así, el consenso alrededor de este término recoge, además de su idoneidad, la idea de que los cambios observables en los tejidos a nivel histológico o mediante pruebas de imagen podrían representar una captura puntual de una variedad de procesos morfológicos y fisiológicos sin una clara relevancia clínica (Scott et al., 2020). Incluso, que estos cambios podrían ser fisiológicos (debidos al envejecimiento, o a la adaptación o reparación tisular) más que patológicos, por lo que deben ser interpretados con cautela (Scott et al., 2020).

De esta manera, y ante la dificultad de establecer qué procesos concretos ocurren en cada caso, el término tendinopatía parece idóneo para describir esta afección que cursa con dolor persistente tendinoso y pérdida de funcionalidad asociados con la carga mecánica.

1.2 Anatomía, estructura y fisiología tendinosas

1.2.1 Composición y estructura tendinosas

La disposición anatómica del tendón, conectando el músculo con el hueso, es un reflejo de su función como transmisor de las fuerzas generadas durante la contracción del músculo esquelético para el movimiento. La unidad fundamental de esta transmisión de fuerzas se conforma por una red fibrilar de fibras de colágeno (principalmente colágeno tipo I), que se disponen densamente dentro de la matriz extracelular con una orientación predominantemente paralela al eje hueso-músculo (Millar et al., 2021; Nourissat et al., 2015). Estas fibras de colágeno están dispuestas más densamente que en otras



estructuras como los ligamentos (Brukner & Khan, 2016). Este hecho permite al tendón disponer de una mayor capacidad de resistencia a las cargas de tensión (Brukner & Khan, 2016). Alineadas a lo largo de las fibras de colágeno se dispone un número relativamente reducido de células entre las que destacan los tenocitos, una especie de fibroblastos de morfología aplanada, y los tenoblastos o tenocitos inmaduros (Millar et al., 2021). Además, la matriz extracelular está compuesta por proteoglicanos, glicosaminoglicanos y glucoproteínas, así como por pequeños proteoglicanos ricos en leucina (Millar et al., 2021).

1.2.2 Variaciones en la composición y estructura tendinosas

La estructura y composición tendinosas son heterogéneas, existiendo variaciones tanto por la localización de cada tendón como entre distintas zonas dentro de un mismo tendón. Especialmente, estas variaciones se dan entre la sustancia media del tendón, la unión miotendinosa y los puntos de inserción ósea, conocidos como entesis. La sustancia media del tendón se caracteriza por ser un tejido conectivo fibroso denso conformado por haces de fibras situados generando ondas y mayoritariamente paralelos al eje longitudinal tendinoso. En esta región, la matriz extracelular está compuesta principalmente por colágeno tipo I, pero también, en menor cantidad, por otros tipos de colágeno, proteoglicanos y otras glicoproteínas. Por el contrario, en las zonas de entesis existe una predominancia de células de forma más redondeada y alineadas, en las que se observa una transición gradual entre la zona de tendón (composición similar a la de la sustancia media), la zona de fibrocartílago, la zona de fibrocartílago calcificado y la zona ósea mineralizada. Así, en general, la composición de la matriz extracelular de la zona de inserción ósea es semejante a la de la sustancia media del tendón, pero con una



concentración mayor de colágeno tipo II, producido por células de características similares a los condrocitos no presentes en otras áreas del tendón, otros colágenos “menores” (tipo IX y XI) y de proteoglicanos como el agregano y el biglicano (Nourissat et al., 2015; Riley, 2008; Zelzer et al., 2014) (**Figura 1**).

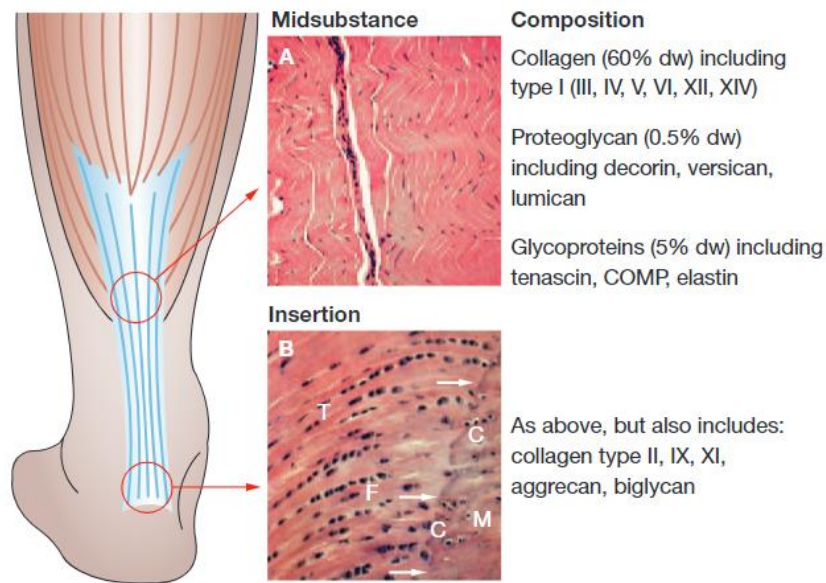


Figura 1. Diferencias en la composición tendinosa. Figura de Riley, 2008 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos. Traducción: composición de la porción media: colágeno (60% peso en seco) incluyendo tipo I, III, IV, V, VI, XII, XIV; proteoglicanos (0.5% peso en seco) incluyendo decorina, versicano y lumicano y glicoproteínas (5% peso en seco) incluyendo tenascina, proteína oligomérica de la matriz del cartílago y elastina. Composición de la inserción: como la porción media, incluyendo también colágeno tipo II, IX, XI, agregano y bliglicano.

Estas disparidades en la composición celular y molecular implican diferencias en la respuesta a la carga (Nourissat et al., 2015). Por este motivo, es común la existencia de variaciones en la estructura y composición en zonas en las que, por atravesar poleas de tejido blando o apoyarse en ligamentos, prominencias óseas u otras estructuras, el tendón se ve sometido a una mayor compresión o fricción (Benjamin et al., 2008). En estas zonas de mayor exposición, del mismo modo que ocurre en las zonas de entesis, se

generan como respuesta adaptativa regiones fibrocartilaginosas, con mayor expresión de moléculas asociadas con el cartílago articular como el colágeno tipo II y el agregano, que pretenden proteger al tendón del daño (Benjamin et al., 2008; O'Brien, 1997).

1.2.3 Síntesis y estructura del colágeno

La unidad estructural del colágeno es el tropocolágeno, que forma las conocidas como microfibrillas de colágeno. El tropocolágeno consiste en una proteína larga y delgada (280 nm de largo y 1,5 nm de ancho), cuya composición es fundamentalmente de colágeno tipo I. La unión de varias microfibrillas forma una fibrilla (50-200 nm de diámetro). En este proceso participan los genes Col1a, que codifican polipéptidos de colágeno $\alpha 1$ y $\alpha 2$, generando moléculas de triple hélice de colágeno tipo I que contienen dos cadenas $\alpha 1$ y una $\alpha 2$ y que se agrupan en fibrillas que se incrustan en la matriz extracelular para formar fibras de colágeno (Nourissat et al., 2015; O'Brien, 1997). Entre estas fibras de colágeno se sitúan fibroblastos tendinosos (Nourissat et al., 2015). En un nivel superior, las fibras de colágeno se agrupan en fascículos envueltos por una vaina de tejido conectivo areolar llamada endotendón. A través de esta vaina discurren los vasos sanguíneos y las estructuras nerviosas que irrigan e inervan el tendón, así como también se disponen fibroblastos adicionales. Todas estas estructuras se envuelven en una doble capa conocida como peritendón. La capa externa del peritendón se conoce como paratendón y la interna como epitendón. Entre ambas capas puede existir un líquido que ejerce una función de protección para evitar la fricción. En el caso de los tendones con vaina tendinosa verdadera (especialmente los flexores y extensores de manos y pies), este líquido está también presente entre las diferentes capas de la vaina (O'Brien, 1997). En la **Figura 2** se puede observar la anatomía y arquitectura tendinosas.

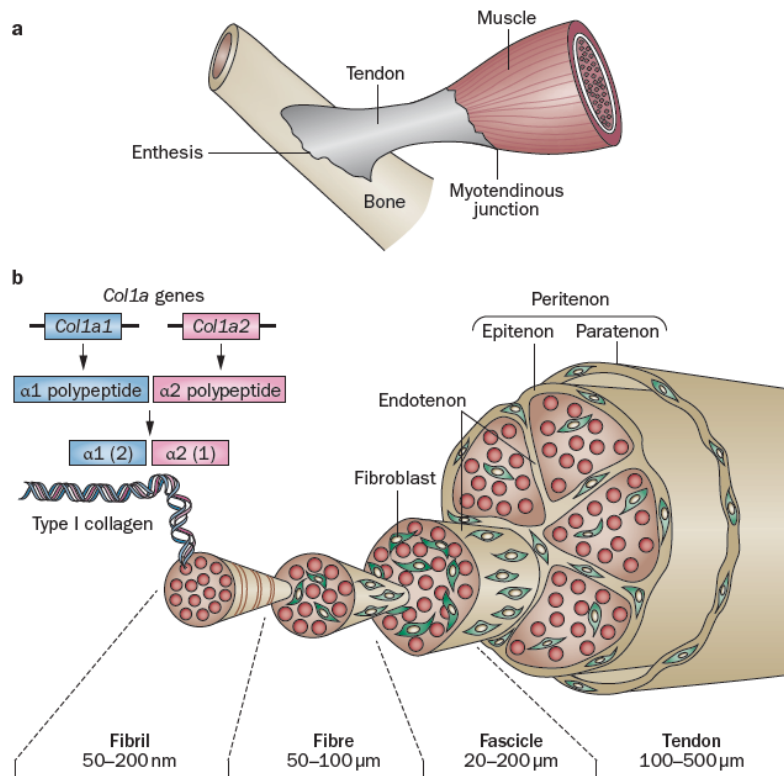


Figura 2. Anatomía y arquitectura tendinosas. (A) Relación del tendón con músculo y hueso; (B) estructura del tendón vista desde diferentes niveles. Figura de Nourissat et al., 2015 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos. Traducción: bone= hueso; endotenon= endotendón; enthesis= entesis; epitenon= epitendón; fascicle= fascículo; fibre= fibra; fibril= fibrilla; fibroblast= fibroblasto; myotendinous junction= unión miotendinosa; muscle= músculo; paratenon= paratendón; peritenon= peritendón; tendon= tendón; type I collagen= colágeno tipo I; $\alpha 1$ polypeptide= polipéptido $\alpha 1$; $\alpha 2$ polypeptide= polipéptido $\alpha 2$.

Como se describe en apartados anteriores, en la composición de los tendones coexisten diferentes tipos de colágeno. De esta manera, aunque los principales tipos que se encuentran son el I y el III, se pueden observar, en una menor proporción, otros tipos de colágeno como el II, IV, XI y XIV, así como los tipos IX, X y XI existentes en aquellas regiones más cartilaginosas (O'Brien, 1997).

La fibrillogénesis del colágeno tipo I del tendón está mediada por los tenoblastos, pero también participan en ella diversas moléculas de la matriz extracelular, incluyendo elastina, proteoglicanos y glicoproteínas (Nourissat et al., 2015). Este proceso, que



induce la síntesis de colágeno tanto en la etapa de desarrollo como durante la edad adulta, está mediado por diversos componentes entre los que se encuentran, entre otros, factores de crecimiento (factor de crecimiento transformante β y factores de crecimiento de fibroblastos) y factores de transcripción implicados en la expresión de los genes Col1a1 y Col1a2 y que a su vez codifican el colágeno $\alpha 1$ y $\alpha 2$ (Nourissat et al., 2015).

1.2.4 Adaptación y remodelación de la matriz extracelular

La estructura tendinosa se ve sometida, bajo determinadas circunstancias, a un proceso de remodelación de la matriz extracelular, afectando principalmente al colágeno y a los proteoglicanos. Este proceso está fundamentalmente mediado por los tenocitos, que actúan como controladores de la formación y degradación de la matriz. De esta manera, en el tendón normal los tenocitos responden a estímulos de carácter mecánico, principalmente de carácter tensil, con un aumento de la síntesis de colágeno, mientras que la ausencia de estos estímulos produce una inhibición de esta síntesis, obteniendo un balance negativo en el proceso de remodelación (Millar et al., 2021). Estos procesos de remodelación de la matriz extracelular están influenciados, además de por los estímulos mecánicos, por otros factores como la disponibilidad de oxígeno o el flujo sanguíneo (Millar et al., 2021).

Ha sido sugerido que las demandas funcionales de cada localización anatómica influyen en variaciones en la estructura, composición y fenotipo celular de cada tendón, lo que a su vez se refleja en la existencia de diferentes concentraciones de componentes como los proteoglicanos y el colágeno y en diferentes tasas de renovación de la matriz (Riley, 2008). De esta manera, aquellos tendones sometidos a niveles mayores de cargas o





tensión parecen mostrar también tasas más altas de remodelación del colágeno que otros tendones sometidos a menor tensión (Riley et al., 2002).

A pesar del creciente conocimiento en el campo y de la observación de los fenómenos anteriormente descritos, es todavía necesaria mayor investigación para dilucidar en qué casos se produce realmente un proceso claro de remodelación de la matriz. En este sentido, un estudio previo mostró, utilizando la técnica de carbono-14, que a partir de los 17 años de edad la remodelación de la matriz en el tendón sano es mínima o inexistente (Heinemeier et al., 2013). Sin embargo, esta remodelación sí se observa en el tendón patológico, en el que se ha estimado mediante la misma técnica de carbono-14 que la aparición de síntomas en el tendón patológico se precede de un largo periodo de años con una tasa de remodelación de la matriz anormal (Heinemeier et al., 2018).

1.2.5 Vascularización e inervación tendinosas

En general, los tendones maduros son estructuras poco vascularizadas en comparación a otras estructuras del sistema locomotor como el músculo esquelético (Benjamin et al., 2008; Fenwick et al., 2002). Esta vascularización, mucho menor que en su etapa de desarrollo, parece indicar que la nutrición de los tendones puede estar mediada más por procesos de difusión del líquido sinovial que por la perfusión de vasos sanguíneos (Fenwick et al., 2002). Sin embargo, en el tendón existe cierta vascularización y esta es todavía esencial para su correcto funcionamiento. Los vasos sanguíneos son, normalmente, pequeños y con paredes finas, y se sitúan en el tendón longitudinalmente, tanto entre los surcos fasciculares de colágeno, en el endotendón, como en el paratendón (Benjamin et al., 2008). Los tejidos que circundan el tendón, incluyendo las vainas están notablemente mejor vascularizados, y se ha sugerido que el aporte





sanguíneo tendinoso pueda proceder, en gran parte, desde estos tejidos (Benjamin et al., 2008). Así, se sugiere que gran parte del aporte sanguíneo del tendón proviene de la unión musculotendinosa, la unión osteotendinosa y los vasos sanguíneos del tejido conectivo circundante (Fenwick et al., 2002). Se ha mostrado, a través de la técnica ecográfica Doppler, que la vascularización tendinosa de cada persona es muy variable, pudiendo cambiar entre unos días y otros, hecho que parece estar relacionado con los niveles de actividad física realizados (J. L. Cook et al., 2005). Esta variabilidad en la vascularización no debe confundirse con la presencia de neovascularización, no habitual en los tendones en condiciones de normalidad (Fenwick et al., 2002).

Por su parte, la inervación tendinosa es también escasa en el tendón (Ackermann et al., 2016). Tradicionalmente, esta inervación tendinosa se ha considerado como principalmente aferente. Sin embargo, la evolución en el conocimiento ha permitido observar que distintas vías eferentes parecen participar en procesos regulatorios del propio tendón (Ackermann et al., 2016).

En circunstancias normales, la inervación tendinosa está localizada en el paratendón, el endotendón y el epitendón, con un mínimo aporte de fibras en el interior del propio tendón (Ackermann et al., 2016). Esta inervación accede al tendón a través de la unión miotendinosa, atravesando los tabiques endotendinosos. Desde el paratendón, las fibras forman plexos y penetran en el epitendón a través de pequeñas ramas. Estas fibras no acceden al tendón sino que acaban en pequeñas terminaciones nerviosas en las superficies del paratendón, epitendón y endotendón (Ackermann et al., 2016).

En el tendón patológico, durante el proceso de reparación, sí se produce un crecimiento de fibras nerviosas en el interior del tendón que participan en los procesos inflamatorios





y metabólicos. Sin embargo, una vez resuelto el proceso reparador, estas fibras se retraen de nuevo a la envoltura de este (Ackermann et al., 2016).

1.3 Fisiopatología tendinosa

Durante las últimas décadas, la fisiopatología tendinosa ha sido enfocada en numerosas ocasiones como si se tratase de algo binario: tendón normal o tendón anormal. Sin embargo, incluso desde esta perspectiva binaria, los procesos fisiopatológicos del tendón han sido interpretados desde diferentes modelos dependiendo de la década.

Mientras en las décadas previas a los años 90 las teorías “inflamatorias” dominaron el pensamiento en el área, en las posteriores décadas nuevas teorías “degenerativas” se impusieron sobre estas. Estas nuevas teorías descartaban, en su mayoría, una presencia de las principales células inflamatorias en la tendinopatía, reduciendo al mínimo la importancia del proceso inflamatorio en la fisiopatología de la tendinopatía.

1.3.1 Tendinopatía como proceso degenerativo

Desde esta nueva perspectiva degenerativa, se compara el tendón normal con el tendón patológico. El primero estaría formado por una red organizada de fibras de colágeno (principalmente colágeno tipo I) predominantemente alineadas en paralelo, una matriz extracelular densa y compuesta fundamentalmente por proteoglicanos, glicosaminoglicanos y glucoproteínas, tenocitos en forma de huso y una mínima vascularización (Millar et al., 2021). El tendón anormal, por el contrario, estaría conformado por una mayor proporción de fibras de colágeno tipo III (principalmente debido a una menor degradación de estas), alteradas y con un cierto grado de desorganización, con acumulación de glicosaminoglicanos entre las fibrillas, adelgazadas,



infiltrados de células inflamatorias y con abundante sustancia fundamental (Millar et al., 2021). Además, se produciría en este tendón un aumento de la activación y proliferación celular y la aparición de neovascularización y neoinervación, es decir, de la creación de nuevos vasos y fibras nerviosas no observables en el tendón sano (Millar et al., 2021). Los tenocitos, en el tendón afecto, adquirirían un menor volumen, siendo en este caso más largos y delgados, y observándose en ellos una mayor proporción de núcleos con respecto al citoplasma y una menor producción de matriz extracelular (Millar et al., 2021) (Figura 3).

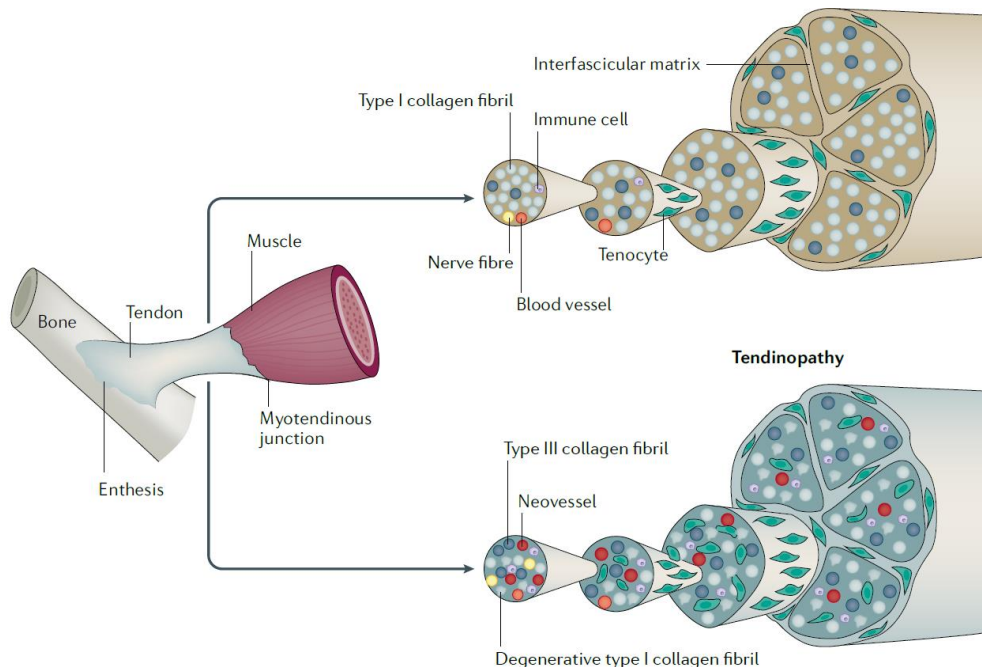


Figura 3. Organización y cambios en el tendón normal y patológico. Figura de Millar et al., 2021 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos. Traducción: blood vessel= vaso sanguíneo; bone= hueso; entesis= entesis; immune cell= célula inmunitaria; myotendinous junction= unión miotendinosa; muscle= músculo; neovessel= neovaso; nerve fibre= fibra nerviosa; tendinopathy= tendinopatía; tendon= tendón; tenocyte= tenocito; type I collagen fibril= fibrilla de colágeno tipo I; type III collagen fibril= fibrilla de colágeno tipo III.

El proceso de remodelación de la matriz extracelular ha sido responsabilizado, en ocasiones, de los cambios estructurales negativos producidos en la tendinopatía (Riley et al., 2002). En la tendinopatía, el balance en la remodelación de la matriz parece ser



negativo tras la aplicación de cargas, con una degradación de colágeno que supera a la capacidad de síntesis (Knobloch, 2007; Millar et al., 2021). En un primer momento, la producción de colágeno tipo III permite compensar este déficit de colágeno (Millar et al., 2021). Sin embargo, este colágeno se sitúa de forma desorganizada e irregular, contribuyendo a la disminución de la capacidad del tendón (Maffulli et al., 2000).

Se sugiere que, mientras en el tendón sano, con el tiempo, este colágeno tipo III es nuevamente reemplazado por colágeno tipo I, en la patología tendinosa este recambio no se produce y se observa una acumulación mayor de este tipo de colágeno, de calidad inferior (Millar et al., 2021). En este contexto, es relevante comprender que la relación de esta remodelación alterada del colágeno y la aparición de síntomas en la tendinopatía no se produce a corto plazo. Según hallazgos previos en estudios que han utilizado la técnica de carbono-14, parece que hasta un 50% del colágeno existente en la matriz de un tendón alterado ha experimentado un continuo pero lento proceso de remodelación durante años antes del inicio de esta sintomatología (Heinemeier et al., 2018; Millar et al., 2021). Esto sugiere que la aparición de síntomas podría ser un identificador de un estadio avanzado del proceso fisiopatológico (Millar et al., 2021).

Además de estos procesos, se estima que componentes del endotendón también juegan un papel esencial en la etiopatogenia, estando relacionados con cambios en la capacidad y el comportamiento viscoelástico del tendón, a través de la modulación de propiedades como la rigidez o “stiffness” o la resistencia a la fatiga (Millar et al., 2021). Así mismo, estudios bioquímicos y moleculares han permitido asociar la fisiopatología con aspectos relacionados con los niveles de diversas sustancias encontradas en el tendón y de ARN mensajero (Riley, 2008). Entre los hallazgos, destaca la observación de un incremento en el nivel de glicosaminoglicanos en la matriz (Riley, 2004, 2008) y una mayor expresión de



los proteoglicanos de sulfato de condroitina, agregano y biglicano en zonas donde el fibrocartílago no está presente (Corps et al., 2006; Riley, 2008). Según sugieren algunos autores, estos hallazgos podrían relacionarse con una respuesta adaptativa al cizallamiento o la compresión (Corps et al., 2006; Riley, 2008). En la **Tabla 1** se presentan, a modo de resumen, algunos de los hallazgos estructurales y moleculares identificados en la matriz, enzimas, citoquinas y factores de señalización celular del tendón patológico.

Tabla 1. Cambios estructurales y moleculares identificados en la tendinopatía crónica. Datos obtenidos de Riley, 2008.

Matriz	Cambio	Citoquinas y factores de señalización celular	Cambio	Enzimas	Cambio
Colágeno tipo I	↑	TGF-β	↑	MMP1	↑
Colágeno tipo III	↑	IGF-I	↑	MMP2	↑
Fibronectina	↑	PDGFR	↑	MMP23	↑
Tenascina C	↑	VEGF	↑	ADAM12	↑
Agregano	↑	COX2	↑	ADAMTS2	↑
Biglicano	↑	Glutamato	↑	ADAMTS3	↑
Versicano	≈	Sustancia P	↑	MMP3	↓
Decorina	≈	NMDAR	↑	MMP10	↓
Dermatán sulfato	↓	PGE ₂	≈	MMP12	↓
Pentosidina	↓	TGF-βR1	↓	MMP27	↓
				ADAMTS5	↓

Las flechas hacia arriba y hacia abajo indican un incremento y disminución en los niveles de expresión, respectivamente. El símbolo "≈" indica que los niveles no experimentan cambios significativos. ADAM= desintegrina y metaloproteasa; ADAMTS= ADAM con motivos de trombospondina; COX2= ciclooxigenasa 2; IGF-I= factor de crecimiento insulinoide; MMP= metaloproteinasas de la matriz extracelular; NMDAR= receptor del ácido N-metil-D-aspartico; PDGFR= receptor del factor de crecimiento derivado de las plaquetas; PGE₂= prostaglandina E₂; TGF-β= factor de crecimiento transformante beta; TGF-βR1= receptor tipo 1 del TGF-β; VEGF= factor de crecimiento endotelial vascular.

1.3.2 Papel de la inflamación en el proceso fisiopatológico

Mientras que la popularidad de las teorías degenerativas ha supuesto un cambio y un progreso para el desarrollo de intervenciones activas más allá de los abordajes



antiinflamatorios iniciales, las características descritas en estos modelos todavía no parecen explicar la fisiopatología completa de la tendinopatía. Así, en la últimas dos décadas, diferentes autores han recuperado la inflamación como un proceso relevante en la patología tendinosa (Abate et al., 2009; Dean et al., 2016; Millar et al., 2017; Rees et al., 2014).

De esta manera, diversos autores sugieren que en décadas previas se infirió erróneamente la ausencia de algunas células inflamatorias agudas en la tendinopatía crónica en la ausencia total de procesos inflamatorios en la tendinopatía (Dean et al., 2016; Rees et al., 2014). Sin embargo, el conocimiento actual, junto con el hallazgo de células y componentes relacionados con los procesos inflamatorios, sugiere que parte del proceso podría estar también mediado por elementos inflamatorios (Abate et al., 2009; Dean et al., 2016; Millar et al., 2017; Rees et al., 2014). En este sentido, en su trabajo de revisión, Dean et al. (2016) encontraron niveles mayores de algunas células inflamatorias en tendones patológicos cuando se compararon frente a tendones sanos. Concretamente, se encontró un nivel superior de macrófagos, mastocitos, células T y leucocitos (Dean et al., 2016). Otro hallazgo relevante fue que, en el propio tendón con tendinopatía, estos niveles eran menores en la zona degenerada que en la zona preservada (Dean et al., 2016). Es importante recalcar que estos autores no sugieren que la inflamación aguda sea el proceso dominante en todas las fases de la tendinopatía, sino que es posible que algunos elementos mediadores de la respuesta inflamatoria sí desempeñen un papel en el inicio o progresión del deterioro del tendón (Abate et al., 2009; Dean et al., 2016; Rees et al., 2014). Sin embargo, estos hallazgos están basados todavía en un número reducido de estudios y con una gran heterogeneidad en la



metodología y resultados por lo que, aunque se abre de nuevo una potencial vía para la comprensión de la fisiopatología tendinosa, todavía se requiere investigación adicional.

1.3.3 Etiopatogenia

Adicionalmente a la observación y análisis de los procesos que tienen lugar en el tendón patológico, aspecto descrito en los apartados anteriores, los diferentes modelos existentes tienen la difícil labor de explicar, en primer lugar, por qué se inicia la tendinopatía y, en segundo lugar, por qué los mecanismos de reparación propios del organismo no son efectivos en su detención. Actualmente, y pese al progreso en este campo del conocimiento, las causas del inicio de la tendinopatía todavía no han sido totalmente esclarecidas. Si bien las diferentes teorías que se han desarrollado han sido de interés para facilitar la integración y comprensión de los hallazgos en investigación dentro del contexto de la presentación clínica de la patología, no parece que sea un único modelo sino componentes de varios de ellos lo que, probablemente, nos permita explicar con mayor precisión el proceso de la fisiopatología tendinosa.

En este sentido, destacan tres modelos conceptuales que tratan de responder a estas preguntas con mayor o menor precisión (Cardoso et al., 2019; J. L. Cook et al., 2016): el modelo de respuesta primaria de las células tendinosas, el modelo de alteración/degeneración del colágeno (teoría mecánica) y el modelo de inflamación.

- **Modelo de respuesta primaria de las células tendinosas:** esta teoría plantea el inicio de la patología como una respuesta primaria de los tenocitos a una sobrecarga. En esta respuesta celular se produciría una cascada de respuestas que conllevaría una activación y proliferación de las células tendinosas, un aumento en los niveles de proteoglicanos, cambios en el tipo de colágeno y el



aumento de la vascularización (Cardoso et al., 2019; J. L. Cook & Purdam, 2012). Esta teoría es coherente con el desarrollo de fibrocartílago, como mecanismo de adaptación, en tendones con sobrecarga transitoria o crónica (J. L. Cook et al., 2016).

- **Modelo de inflamación:** esta teoría tuvo una gran influencia en las décadas anteriores a los años 90, sugiriendo que los cambios patológicos en la tendinopatía tenían su origen en procesos inflamatorios. Aunque en la década de los 90 la aparición de algunos estudios en los que no se encontró presencia de algunas de las principales células inflamatorias popularizó la idea y el concepto de “tendinosis”, cuestionando la existencia de inflamación en el proceso y extendiendo ampliamente la teoría mecánica y degenerativa de la patología, hipótesis recientes basadas en nuevos estudios apoyan, de nuevo, la presencia de mediadores inflamatorios complementarios a la teoría del uso excesivo y la degeneración (Abate et al., 2009; Dean et al., 2016; Rees et al., 2014; Millar et al., 2021). Otros autores, sin embargo, sugieren que, teniendo en cuenta que la respuesta no parece ser una tradicional respuesta inflamatoria (que sí se aprecia cuando existe ruptura o laceración tendinosa), los niveles elevados de citoquinas inflamatorias podrían reflejar la señalización de las células tendinosas en respuesta a los estímulos mecánicos, que tendría como resultado la alteración de la síntesis y degradación del tendón (J. L. Cook et al., 2016).
- **Modelo de alteración/degeneración del colágeno (teoría mecánica):** esta teoría, propuesta en 1978 (Burry, 1978), fue una de las bases para la comprensión de la patología tendinosa como una degeneración o “tendinosis”, siendo esta el resultado de una estimulación mecánica excesiva provocada por fuerzas de



tracción o compresión repetitivas o de un desencadenante nocivo en los tenocitos. De esta manera, esta teoría explica el inicio de la patología como una cicatrización deficiente de las lesiones tendinosas que se traduce en una mayor demanda en aquellos tendones inadecuadamente reparados y en la consiguiente muerte celular progresiva (K. M. Khan et al., 1999; Leadbetter, 1992; Millar et al., 2021). Sin embargo, uno de los puntos comprometidos de esta teoría es que, según la evidencia actual, las fibras de colágeno normales no se pueden desgarrar in vivo en ausencia de alteraciones sustanciales en la matriz no colágena, por lo que no parece una opción probable que puedan desgarrarse con la carga diaria habitual (J. L. Cook et al., 2016). Por este motivo, las corrientes más recientes sugieren que el punto clave de este proceso podría estar en un retorcimiento de las fibras y una pérdida de capacidad mecánica de la matriz de colágeno (J. L. Cook et al., 2016). Esto produciría, a su vez, una estimulación insuficiente de las células tendinosas por la disminución en la transmisión de la carga de estas fibras desorganizadas o degeneradas (Arnoczky et al., 2007), explicando también la escasa reversibilidad de la tendinopatía en fases avanzadas y la ausencia de remodelado en el área afectada incluso mediante la aplicación de cargas en programas de ejercicio (J. L. Cook et al., 2016; Drew et al., 2014).

Además de las tres corrientes principales, otros modelos han tratado de explicar la etiopatogenia de la tendinopatía desde diferentes perspectivas (Millar et al., 2021):

- **Teoría de la apoptosis:** esta teoría desarrolla un continuo en el que se interpretan las altas dosis de carga aplicadas de manera repetitiva como fuente de un estrés oxidativo que, a su vez, induciría la adquisición de un fenotipo de cartílago y la



activación de metaloproteinasas, produciéndose la degeneración estructural y funcional del tendón (Millar et al., 2021; Yuan et al., 2002, 2003).

- **Teoría vascular:** este modelo sugiere que el deterioro funcional de los tendones patológicos podría estar causado por un crecimiento vascular (Millar et al., 2021; Pufe et al., 2005). Esta teoría ha tenido un peso relevante en décadas anteriores, situando a la neovascularización como uno de los cambios patológicos principales y uno de los principales causantes del dolor (Alfredson et al., 1998), aspecto que no ha podido demostrarse.
- **Teoría neurogénica:** mediante esta teoría, algunos autores han sugerido que la inflamación neurogénica podría participar como mediadora en las respuestas adaptativas de los tendones a la sobrecarga mecánica (Fredberg & Stengaard-Pedersen, 2008; Millar et al., 2021).

Como se extrae del análisis conjunto de estos modelos, en la mayoría de ellos se asocia el inicio de la patología con el uso excesivo del tendón, dando lugar a diferentes procesos relacionados con la desestructuración o degeneración del tejido tendinoso, respuestas celulares, la inflamación, el dolor o la pérdida de rendimiento. Este proceso patológico, además, parece ser el mismo independientemente de la etiopatología (J. Cook et al., 2021). Sin embargo, es relevante tener en cuenta que el origen de la tendinopatía puede estar también asociado al consumo de ciertas sustancias farmacológicas (por ejemplo, antibióticos, fluoroquinolonas o corticosteroides), a trastornos metabólicos o sistémicos (por ejemplo, diabetes o espondiloartropatías seronegativas) o a alteraciones genéticas (por ejemplo, polimorfismo en el gen COL5 α 1) (Millar et al., 2021).



1.4 Biomecánica y función del tendón

1.4.1 Biomecánica y función del tendón

Las características de la estructura y arquitectura molecular tendinosa están estrechamente relacionadas con la función principal del tendón, la transmisión de cargas tensiles. Con una disposición paralela de las fibras de colágeno, con una densidad mayor que la estructura de los ligamentos, los tendones presentan una gran capacidad de resistencia a las cargas, especialmente a las cargas provenientes de fuerzas de tracción (Brukner & Khan, 2016). En este sentido, el tendón sano es capaz de soportar la tensión de tal manera que parece ser más probable la fractura por avulsión o la lesión en la unión miotendinosa que el desgarro agudo o ruptura parcial o completa del cuerpo del tendón (Brukner & Khan, 2016). Sin embargo, los tendones cumplen otros cometidos como es la estabilización articular y la absorción de fuerzas en actividades con impacto, protegiendo así otras estructuras del sistema musculoesquelético (Riley, 2008). Así, de una manera general, los tendones pueden clasificarse en aquellos con una función primaria de transmisión de cargas y aquellos con una función principal de transmisión del movimiento (Wang et al., 2012). Los principales tendones analizados en esta tesis doctoral (Aquiles, rotuliano y glúteo) se enmarcarían en el primer grupo, mientras que otros tendones, especialmente los tendones flexores, quedarían enmarcados en el segundo grupo (Wang et al., 2012).

La capacidad de soportar cargas tensiles está ligada a la rigidez tendinosa, propiedad relacionada con el módulo de elasticidad, conocido como módulo de Young. Este parámetro, que define el comportamiento de las estructuras elásticas, es una constante independiente del esfuerzo aplicado que determina la deformación producida con un



estrés determinado (a mayor módulo de Young, mayor rigidez y mayor requerimiento de estrés para un mismo estiramiento). Este módulo difiere entre los diferentes tendones y existe variabilidad entre individuos. Aunque no ha sido calculado para todas las localizaciones, sí existen valores de referencia para aquellas más frecuentes, habiéndose obtenido, por ejemplo, un valor aproximado de 816 ± 218 MPa para el tendón de Aquiles (Wren et al., 2001) y de 660 ± 266 MPa para el tendón rotuliano (Wang et al., 2012).

Otra de las propiedades biomecánicas asociada a la estructura y composición tendinosas es su comportamiento viscoelástico, que permite responder de manera diferente a la carga dependiendo de la ratio de deformación o estiramiento que se produce. En este sentido, los tendones se deforman en mayor medida mediante la aplicación de bajas ratios de estrés durante largos periodos que con ratios más altas, ante los que el tendón responde con una mayor rigidez (Wang et al., 2012).

La capacidad de almacenamiento de energía, asociada a este comportamiento viscoelástico, puede ser utilizada para asegurar una transmisión efectiva de las fuerzas desde el músculo al hueso pero, también, la posterior liberación de la energía acumulada puede ser utilizada como componente complementario a la fuerza producida por el músculo (Wang et al., 2012). En este contexto, se ha descrito la biomecánica y la función de algunos tendones, especialmente del tendón de Aquiles, de manera similar al comportamiento de un muelle, el cual se estira y almacena energía durante el aumento de su longitud (por ejemplo, en la fase de apoyo de la marcha o la carrera), recuperando su forma y liberando energía en la fase de despegue (Arampatzis et al., 2006; Hof et al., 2002; Lichtwark et al., 2007).



El conjunto de la estructura tendinosa y sus propiedades se refleja en una curva estrés-estiramiento característica conformada por cuatro regiones: una primera región, conocida en inglés como “*toe región*”, caracterizada por un aumento aparente en la longitud asociado a un estrés de pequeña intensidad (estiramiento menor a un 2%), causada por la pérdida de los pliegues u ondulaciones que las fibrillas tendinosas mantienen en reposo (Franchi et al., 2010); una segunda fase lineal hasta el límite del estiramiento fisiológico del tendón (aproximadamente 4%), en la que las fibrillas de colágeno quedan totalmente orientadas en dirección a la fuerza tensil aplicada, que está mediada por el módulo de elasticidad o de Young tendinoso; una tercera fase, producida en estiramientos superiores al 4%, en la que empiezan a ocurrir desgarros microscópicos en las fibras tendinosas; y una última fase, producida por estiramientos superiores al 8-10%, en la que se producen lesiones macroscópicas en el tendón y se puede producir la ruptura parcial o completa del mismo (Wang, 2006) (**Figura 4**).

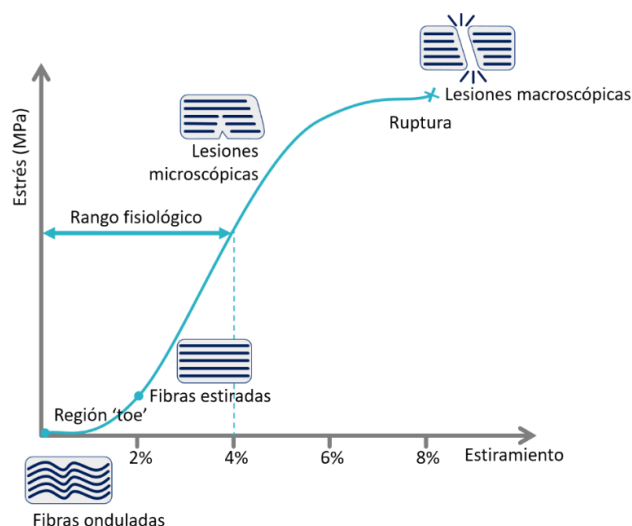


Figura 4. Representación de la curva estrés-estiramiento del tendón. Fuente: elaboración propia.

1.4.2 Respuesta a la carga

Adicionalmente a estas características generales, los tendones son tejidos mecanosensibles que responden a la aplicación de estímulos mecánicos mediante cambios en su composición y estructura, y este hecho repercute en sus propiedades mecánicas y viscoelásticas (Wang et al., 2012). Las células tendinosas son sensibles a



estímulos tensiles, de comprensión y de cizalla. Sin embargo, parece que son los estímulos tensiles los que producen una mayor modulación de los procesos fisiológicos tendinosos a través del mecanismo de mecanotransducción (Merry et al., 2022). Los cambios producidos como resultado de estos procesos pueden ser positivos, cuando responden a la aplicación de cargas en un rango fisiológico adecuado, o pueden ser perjudiciales como respuesta a cargas excesivas o insuficientes. Concretamente, y aunque existen variaciones interindividuales por la participación de diversos factores intrínsecos y extrínsecos, parece que estímulos mayores a un 70% de la máxima contracción voluntaria o estiramientos tendinosos en un rango aproximado entre 4.5-6.5%, estimulan de la manera más apropiada la producción de estos procesos de mecanotransducción (Merry et al., 2022; Pizzolato et al., 2019).

Como respuesta aguda a la aplicación de cargas se producen cambios en el tendón observables mediante la técnica ecográfica de caracterización ultrasónica tisular (UTC). Estos cambios se han observado en tendones humanos (por ejemplo, el tendón de Aquiles) (Rosengarten et al., 2015) y animales (Docking et al., 2012), mostrándose en este caso evidentes en todo el cuerpo del tendón durante los dos primeros días y resolviéndose en no más de cuatro (Docking et al., 2012). En este sentido, se ha sugerido que estos cambios agudos suceden en la matriz interfascicular, lugar donde principalmente se produce el almacenamiento y liberación de energía, están relacionados con cambios en el contenido de agua y proteoglicanos y se revierten adecuadamente si la carga no se mantiene (J. Cook et al., 2021).

Si la aplicación de cargas persiste en un rango determinado de frecuencia, ratio, duración e intensidad, el tendón requiere de cambios estructurales o en sus propiedades mecánicas para preservar su integridad (J. Cook et al., 2021; Sichtung et al., 2021). Estos





cambios, en los que parecen influir otros factores como la genética, tienen el objetivo de mejorar la capacidad tendinosa para tolerar las propias cargas y tienen lugar, principalmente, en forma de un aumento de la rigidez y el módulo de elasticidad y, en el caso de las personas jóvenes, del aumento del área de sección transversa (Sichting et al., 2021). Los cambios en las propiedades mecánicas repercuten, directamente, en una mayor resistencia a las fuerzas tensiles y una mejor capacidad de almacenamiento de energía, lo que a su vez se refleja en una mejor capacidad funcional global del tendón (J. Cook et al., 2021).

En el caso de una aplicación excesiva de cargas o una falta de estímulos se pueden producir cambios maladaptativos en el tendón, suponiendo desde diversas vías una disminución en la capacidad funcional del mismo que se relaciona con estados degenerativos del tendón. Estos cambios se asocian con procesos que modifican el tipo y el número de componentes celulares del tendón y la matriz y la alineación de las fibras de colágeno (Wang et al., 2012).

Así, el tendón es sensible a cambios bruscos en la carga, por lo que se hace necesario un incremento progresivo para asegurar una correcta adaptación a las mismas (J. Cook et al., 2021). Por este motivo, es esencial el manejo adecuado de las cargas teniendo en cuenta parámetros de frecuencia, intensidad, volumen y tiempo de descanso, tanto desde el enfoque típico de la preparación física y el rendimiento como en la prevención y recuperación de lesiones (J. Cook et al., 2021).

1.4.3 Tipos de cargas

Como se desprende de apartados anteriores, la aplicación de cargas es esencial para el correcto funcionamiento del tendón. Además, estas cargas se deben mantener dentro



de unos márgenes adecuados, dado que el exceso en las cargas a las que el tendón se somete se ha relacionado con la patología tendinosa. Sin embargo, este concepto de carga puede hacer referencia a diferentes tipos de estímulos.

De esta manera, el tendón se ve sometido durante el día a día a diferentes tipos de carga (tensión, compresión y fricción o cizalla) que pueden presentarse de manera aislada o combinada, siendo este último supuesto el que parece ser más agresivo para la integridad tendinosa (J. Cook et al., 2021).

Para la comprensión de estas cargas, es relevante diferenciar conceptos como fuerza aplicada y deformación. Las fuerzas hacen referencia a la carga absoluta que actúa sobre el tendón. Dependiendo del carácter de estas fuerzas (tensiles, de compresión o de cizalla), se produce una deformación asociada a cada uno de estos tipos (deformación tensional, de compresión o de cizalla), siendo los estímulos de deformación tensional los que parecen producir una mayor respuesta en las células tendinosas (Wang et al., 2012).

1.4.3.1 Cargas tensiles

La estructura y propiedades de los tendones hace que sean especialmente aptos para soportar y transmitir cargas tensiles (Cardoso et al., 2019). Sin embargo, estas cargas se manejan de diferente manera dependiendo de su carácter. En contexto de cargas pequeñas, el tendón actúa, principalmente, como un transmisor de las fuerzas desde el músculo al hueso (J. Cook et al., 2021). En el caso de contextos con cargas y ratios más altas, los tendones se comportan como un muelle, almacenando una parte importante de estas fuerzas tensiles para después liberarlas de forma explosiva, colaborando con la musculatura en actividades explosivas como correr, saltar o la realización de cambios de dirección (Cardoso et al., 2019; J. Cook et al., 2021).



Las cargas tensiles son, por lo tanto, el tipo de carga principal en el funcionamiento del tendón, y esto hace especialmente relevante su análisis en la evaluación, prevención y tratamiento de los procesos patológicos tendinosos. Las diferencias interindividuales hacen compleja la determinación de rangos adecuados o inadecuados de fuerza tensil o estiramiento. Aunque estudios previos han sugerido la existencia de un rango óptimo de estiramiento (aproximadamente un 4.5-6.5%) para la consecución de las mayores adaptaciones tendinosas (Merry et al., 2022; Pizzolato et al., 2019), parece apropiado tener en cuenta el contexto del paciente en sus actividades del día a día para localizar e interpretar un exceso o defecto de este tipo de estímulos en el tendón.

No obstante, pese al protagonismo de este tipo de cargas, algunos estudios sugieren que un exceso de carga tensil, por sí sola, no tiene la capacidad de producir el grueso de cambios maladaptativos generados en procesos como la tendinopatía glútea (Grimaldi & Fearon, 2015) o la tendinopatía insercional (J. Cook et al., 2021), estando estos procesos también participados por una acumulación excesiva de otro tipo de cargas, especialmente compresivas (J. L. Cook & Purdam, 2012).

1.4.3.2 Cargas compresivas

Aunque, principalmente, los tendones están diseñados para soportar y transmitir cargas tensiles, estas estructuras cuentan con mecanismos específicos para soportar las cargas compresivas. El tejido conectivo compuesto de colágeno puede sufrir alteraciones en su estructura para hacerlo más resistente a este tipo de cargas. En este sentido, y como se describe en apartados anteriores, en zonas sometidas a una mayor compresión o fricción se observa un tejido de carácter fibrocartilaginoso (Benjamin et al., 2008; J. L. Cook & Purdam, 2012; O'Brien, 1997).





Las cargas compresivas se producen, habitualmente, por el contacto del tendón frente a prominencias óseas, como ocurre en el caso del tendón glúteo o en la zona insercional del tendón de Aquiles, pero también en otros tendones como los isquiosurales y los aductores (J. Cook et al., 2021). Otras causas de compresión excesiva pueden estar derivadas de elementos externos como vendajes, calzados inadecuados u otros elementos que las personas portan junto a su cuerpo (J. Cook et al., 2021).

En el caso del tendón aquileo, la zona insercional se ve comprimida frente al aspecto superior del calcáneo en movimientos de dorsiflexión (J. Cook et al., 2021). Por este motivo, el control de rangos elevados de dorsiflexión juega un papel esencial en el manejo de la tendinopatía insercional. En el mismo tendón aquileo, en su porción media, a priori considerada libre de compresión, algunos autores han sugerido que pueden producirse potenciales fuerzas compresivas y de cizalla entre este tendón y otros tendones como el plantar (J. L. Cook & Purdam, 2012). En el tendón glúteo, el tendón se comprime frente al trocánter mayor, especialmente en posiciones que requieren de aducción de cadera (por ejemplo, piernas cruzadas), tanto en bipedestación, como en sedestación y en decúbito lateral (Grimaldi & Fearon, 2015). En este sentido, el manejo incluye una intervención educativa para minimizar las situaciones que generan una compresión elevada en el tendón (Grimaldi & Fearon, 2015). También, diversos autores sugieren que la realización de estiramientos de algunos músculos produce un incremento en las cargas compresivas, por lo que habitualmente se desaconseja su uso como parte del tratamiento (J. Cook et al., 2021). En el tendón rotuliano, por su parte, no son habituales las situaciones de compresión debidas a componentes internos (J. Cook et al., 2021), aunque sí pueden producirse debido al uso de elementos externos como vendajes.





Debe ser entendido que, dentro de unos rangos, este tipo de cargas son normales en la biomecánica del cuerpo humano y no deberían de suponer el inicio de un proceso patológico o la producción de sintomatología. Sin embargo, en ocasiones, el contexto, volumen o repetición de estos estímulos favorecen cambios maladaptativos o las estructuras se vuelven más sensibles a ellos, siendo necesario un manejo adecuado.

Así mismo, cuando los estímulos tensionales y de compresión se producen de manera conjunta, su efecto parece ser más dañino para el tendón. En este sentido, un estudio previo en el tendón del supraespinoso encontró que, mientras que la inducción de fuerzas compresivas producía efectos menores en el tendón, la implementación de las fuerzas tensiles y especialmente la combinación de ambas era claramente perjudicial para su integridad (Soslowsky et al., 2000).

1.4.3.3 Cargas de fricción

Las cargas de fricción son el resultado del contacto entre el tendón y las estructuras circundantes. Las capas externas tendinosas tienen como objetivo reducir esta fricción y en aquellas localizaciones con mayor contacto existe una adaptación arquitectónica de los mismos para aumentar la tolerancia a estas cargas, incluyendo la existencia de membranas sinoviales en el peritendón o el desarrollo de regiones fibrocartilaginosas (Benjamin et al., 2008; O'Brien, 1997).

Sin embargo, en ocasiones estos sistemas no son suficientes y se desarrollan procesos patológicos como la peritendonitis que, como se describe más adelante, hace referencia a la afectación de las capas externas tendinosas (peritendón) a través de mecanismos inflamatorios (Järvinen et al., 1997).





Este tipo de afectación es común en individuos que realizan acciones repetitivas con un componente de fricción, más que en aquellos con aparente exceso de cargas tensionales (Cardoso et al., 2019; J. Cook et al., 2021).

1.5 Clasificación

La heterogeneidad en la presentación de la afección tendinosa, abordada en el apartado **1.6**, tiene su reflejo en la dificultad para clasificar los distintos tipos de tendinopatía. Actualmente, coexisten diferentes clasificaciones dependiendo de los criterios considerados. Entre estas, destacan las clasificaciones basadas en la estructura afectada y las clasificaciones que integran, además, un punto de vista funcional y clínico. Así, mientras es posible establecer una clasificación considerando la localización, calidad y nivel de alteración del tejido, otras clasificaciones abordan la tendinopatía según la existencia de sintomatología y disfunción.

1.5.1 Clasificación según estructura o localización

Desde la perspectiva estructural brindada por las pruebas de imagen, es posible el uso de términos relacionados con la afectación tendinosa o de los tejidos que lo circundan:

- **Tendinitis:** afectación tendinosa que se produce, principalmente, mediante mecanismos inflamatorios (Järvinen et al., 1997). Se puede presentar junto a una afectación de las capas externas tendinosas (paratendonitis). Según el conocimiento actual, la inflamación no parece ser el mecanismo principal en una mayoría de los casos de afectación tendinosa.
- **Tendinosis:** afectación tendinosa mediante mecanismos degenerativos sin signos de respuesta inflamatoria en el tendón o su paratendón (Järvinen et al., 1997).





Aunque durante algunas décadas se planteó la hipótesis de una tendinosis con ausencia total de inflamación, el conocimiento actual sugiere la participación de mediadores inflamatorios en los procesos degenerativos del tendón (Abate et al., 2009; Dean et al., 2016; Rees et al., 2014).

- **Peritendonitis:** afectación de las capas externas tendinosas a través de mecanismos inflamatorios. Para algunos autores, este término integra otras entidades clínicas como “paratendonitis”, “tenosinovitis” y “tendovaginitis” (Järvinen et al., 1997).
- **Peritendonitis con tendinosis:** afectación del interior del tendón a través de mecanismos degenerativos junto con afectación mediante mecanismos inflamatorios de las capas externas tendinosas (Järvinen et al., 1997).
- **Tenosinovitis o tendovaginitis:** subclasificación de la peritendonitis específica de aquellos tendones con vaina sinovial en la que se produce una inflamación del revestimiento de la vaina que rodea el tendón (Goerl, 2020).
- **Entesopatía:** afectación tendinosa localizada en la unión osteotendinosa. Esta área se caracteriza por soportar grandes cargas compresivas (Cardoso et al., 2019).
- **Desgarro o ruptura parcial del tendón:** ruptura no completa del tendón. No existen criterios estandarizados para la diferenciación de los desgarros parciales, mediante pruebas de imagen, frente a otras afectaciones tendinosas como la tendinosis (Cardoso et al., 2019).
- **Ruptura completa del tendón:** solución de continuidad en el cuerpo del tendón. La ruptura del tendón es más común en aquellos tendones que no presentan sintomatología previa (J. L. Cook et al., 2016).





1.5.2 Clasificación integradora de hallazgos histológicos y pruebas de imagen junto con sintomatología y función: teoría del continuo

Entre las clasificaciones basadas en hallazgos histológicos y pruebas de imagen pero que tienen en cuenta la sintomatología y la función destaca la teoría del continuo, propuesta por Cook y Purdam en 2009 (J. L. Cook & Purdam, 2009) y actualizada en 2016 (J. L. Cook et al., 2016), que plantea la patología tendinosa como un proceso continuo tratando de integrar ambas perspectivas. Este modelo, que cuenta con un amplio apoyo a nivel internacional, divide el proceso de la tendinopatía en tres fases continuas denominadas “tendinopatía reactiva”, “fase de reparación fallida” o “tendón desestructurado” y “fase degenerativa” (J. L. Cook et al., 2016; J. L. Cook & Purdam, 2009).

Desde la perspectiva de este continuo, un correcto manejo de la patología podría hacer retroceder el nivel de afectación, especialmente en estadios iniciales, mientras que la perpetuación de las causas y factores que han iniciado el proceso podría favorecer el progreso hacia fases avanzadas, con limitada capacidad de reversibilidad (**Figura 5**):



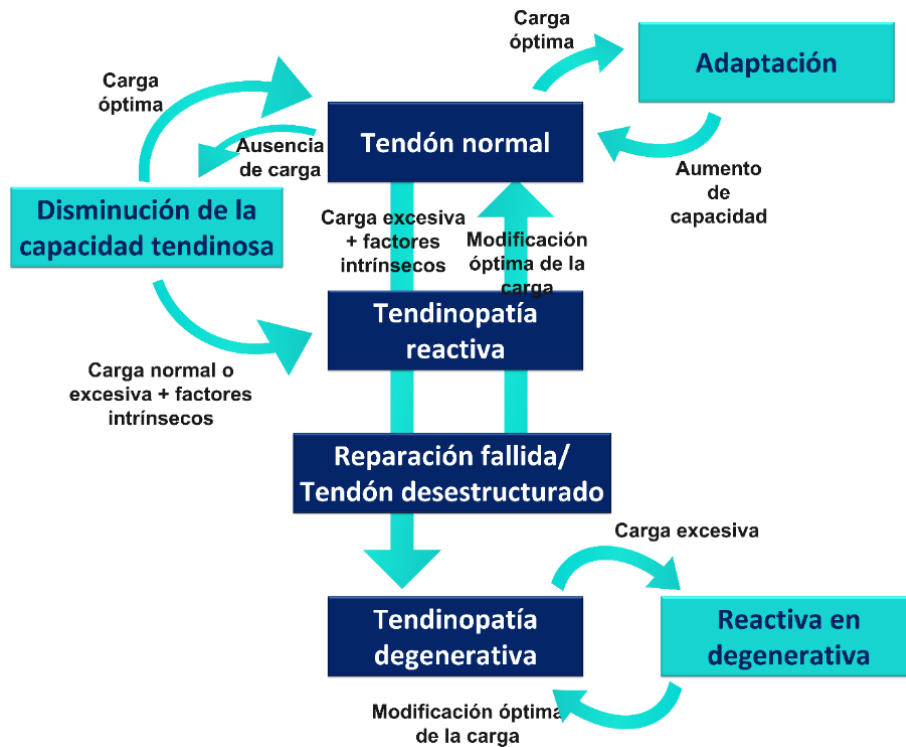


Figura 5. Fases y relaciones del continuo de la patología del tendón (adaptado y traducido).

Figura adaptada y traducida de J. L. Cook & Purdam, 2009 con permiso de los poseedores de los derechos.

- **Tendinopatía reactiva:** fase aguda, a priori reversible, originada por una sobrecarga puntual o por cargas anteriormente bien toleradas pero a las que el tendón es expuesto tras un periodo de inactividad y el consiguiente descenso de la capacidad (J. L. Cook & Purdam, 2009). Sus autores sugieren que se trata de una respuesta proliferativa no inflamatoria en la célula y la matriz. Con el objetivo de aumentar la producción de proteínas, en este proceso las células tendinosas adquieren una forma más redondeada, con un mayor número de orgánulos citoplasmáticos. Se producen también cambios en la matriz con un aumento de la absorción de agua asociada con el predominio de proteoglicanos grandes. En general, la integridad del colágeno es preservada, a excepción de alguna separación longitudinal. No se observa alteración en las estructuras nerviosas ni



vasculares (J. L. Cook & Purdam, 2009). Aparentemente, como respuesta adaptativa, se produce un engrosamiento a corto plazo de una parte del tendón con el objetivo de reducir la tensión soportada a través del aumento del área de la sección transversa. Esta adaptación es diferente de la adaptación crónica a la carga, mediante la que se producen cambios en la rigidez tendinosa con cambios mínimos en su grosor (J. L. Cook & Purdam, 2009). En esta etapa, el modelo sugiere que es posible recuperar la estructura normal del tendón con un manejo óptimo de las cargas (J. L. Cook & Purdam, 2009).

Clínicamente, esta fase, dolorosa y parcialmente incapacitante, se asocia a situaciones agudas de sobrecarga y puede resolverse en algunos días con un control del estímulo que ha provocado la sobrecarga y un manejo adecuado de la misma. Se observa, principalmente, en personas jóvenes, pero también puede asociarse a personas de otros grupos de edad que aumentan drásticamente el nivel de actividad (J. L. Cook & Purdam, 2009).

- **Fase de reparación fallida o tendón desestructurado:** según la propuesta de sus autores, esta fase se relaciona con el intento de reparación del tendón y, a diferencia de lo ocurrido en la fase anterior, se producen alteraciones mayores en la integridad de la matriz con una creciente desorganización del colágeno. Se produce, de nuevo, un aumento en el número de células (principalmente condrocíticas y algunos miofibroblastos) y en la producción de proteínas (proteoglicanos y colágeno) (J. L. Cook & Purdam, 2009). Este incremento en el número de proteoglicanos se asocia, así mismo, con una mayor separación del colágeno y una significativa desorganización de la matriz (J. L. Cook & Purdam, 2009). Se puede observar la aparición de nuevos vasos sanguíneos, evidente



mediante la técnica ecográfica de Doppler, y fibras nerviosas asociadas a estos. Mediante pruebas de imagen se pueden identificar pequeñas áreas focales de hipoeogenicidad con cierta discontinuidad de los fascículos de colágeno (J. L. Cook & Purdam, 2009). Clínicamente, se sugiere que el tejido en esta fase puede ser asintomático cuando no coexiste con áreas preservadas del tendón en fase reactiva (J. L. Cook et al., 2017). Esta fase se asocia a jóvenes en los que se ha producido una sobrecarga crónica del tendón, pero también puede encontrarse en otros grupos de edad (J. L. Cook & Purdam, 2009). Su diagnóstico diferencial con respecto a la fase previa es más clínico, basado en la historia clínica y el historial de carga, que basado en tests o pruebas de imagen. Se considera que en esta fase todavía existe cierto margen de reversibilidad a través de la aplicación óptima de cargas y un manejo adecuado (J. L. Cook & Purdam, 2009).

- **Tendinopatía degenerativa:** los autores de este modelo sugieren que, en esta fase, debido a la desorganización fibrilar, la parte del tendón afectada es incapaz de percibir y transmitir la carga tensil (J. L. Cook et al., 2016), por lo que se convierte en un tejido mecánicamente inútil, incapaz de responder a los estímulos (incluidas las intervenciones mediante ejercicio), reduciendo significativamente la capacidad de reversibilidad de esta zona dañada (J. L. Cook et al., 2016; Drew et al., 2014; Malliaras et al., 2010). La alteración en la matriz es considerable y se aprecia una formación significativa de nuevos vasos sanguíneos y de mayor tamaño, observables en la imagen ecográfica mediante la técnica Doppler pero también a través de áreas hipoeoicas con escasez de reflejos de mayor ecoicidad correspondientes a fibras de colágeno (J. L. Cook & Purdam, 2009). Estos cambios también se observan mediante la técnica de UTC (**Figura 6**)

y mediante imagen de resonancia magnética, en la que se observa un mayor tamaño del tendón (J. L. Cook & Purdam, 2009). Es relevante tener en consideración que en un mismo tendón pueden existir una o diversas áreas afectadas, pero en la estructura tendinosa se conserva habitualmente un área considerable de tejido conservado capaz de compensar la pérdida producida si es ejercitado adecuadamente (Docking et al., 2015) (**Figura 6**).

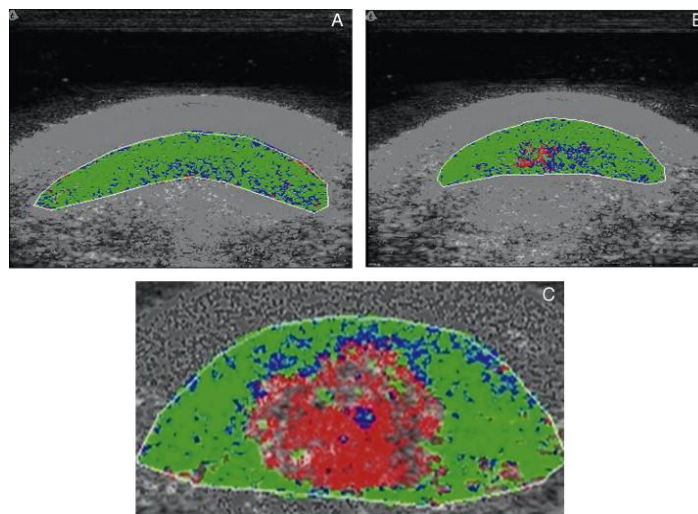


Figura 6. Imagen del tendón mediante caracterización ultrasónica del tisular (UTC, por sus siglas en inglés). (A) Aspecto normal del tendón rotuliano, (B) desorganización leve del tendón rotuliano y (C) desorganización severa del tendón rotuliano. Figura de Rudavsky & Cook, 2014 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.

Nota: el color verde representa una buena estructura del tendón; azul, rojo y negro representan una creciente disrupción estructural.

Se considera que esta fase es asintomática por sí misma, siendo más frecuente hallarla en el contexto clínico cuando cursa junto con una tendinopatía reactiva sintomática del tejido preservado que circunda al tejido ya degenerado, fenómeno recogido en la teoría del donut (J. L. Cook et al., 2016; Rudavsky & Cook, 2014) descrita en el siguiente apartado. Clínicamente, es común identificar esta fase en adultos con un historial deportivo, recreativo o laboral de carga y

antecedentes de episodios repetidos de dolor en el tendón, pero también se observa en personas jóvenes o de mediana edad con actividad laboral de alta carga o deportistas de élite en los que se ha producido una sobrecarga crónica del tendón (J. L. Cook & Purdam, 2009).

1.6 Presentación y evolución

1.6.1 Variedad de presentaciones

La presentación de patología o sintomatología en el tendón puede ser muy variada, como puede observarse en el esquema representado en la **Figura 7**, adaptado y traducido de la versión publicada por J. L. Cook et al. (2016).

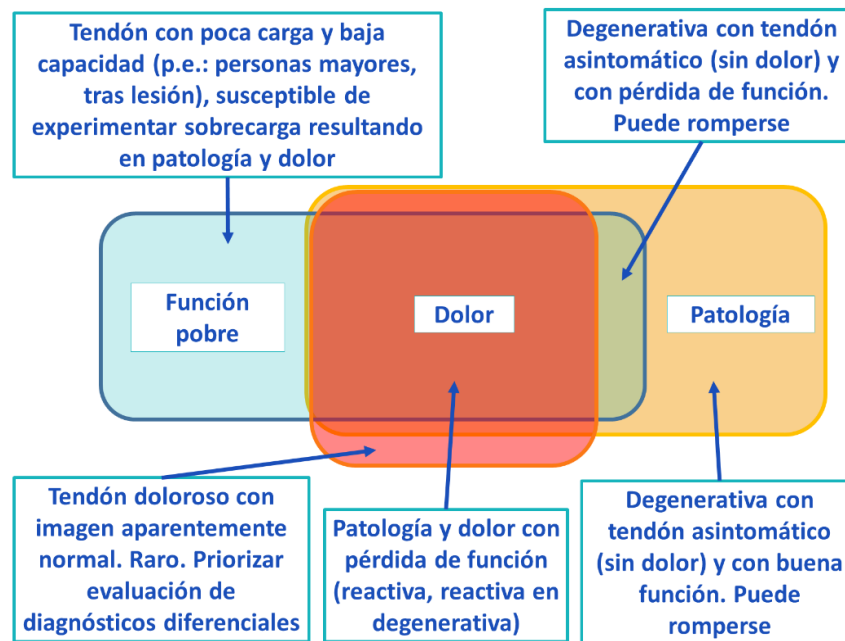


Figura 7. Variedad de presentaciones en las afecciones tendinosas. Figura adaptada y traducida de J. L. Cook et al., 2016 con permiso de los poseedores de los derechos.

Tal y como se desprende de este esquema y, aunque se tiende a buscar la existencia conjunta de degeneración, pérdida de función y dolor en la patología tendinosa, la



realidad clínica muestra que es posible encontrar diferentes presentaciones en el contexto del tendón. La existencia de tendones degenerados sin sintomatología, ya sea con o sin evidente pérdida de función, se incluye dentro de la clínica esperable en la fase degenerativa de la tendinopatía. En estos casos, un tendón con una o más áreas afectadas a nivel estructural pero que no presentan sintomatología, puede padecer una fase reactiva del tejido circundante conservado, provocando la sintomatología típica de la fase reactiva. Este fenómeno, que asocia las fases degenerativa y reactiva de la tendinopatía, ha sido descrito como la teoría del Donut (J. L. Cook et al., 2016; Rudavsky & Cook, 2014), y explica cómo en el tendón patológico existiría también una zona del tendón preservada, con niveles aceptables de estructura fibrilar alineada y organizada (Docking & Cook, 2016). Por lo tanto, de manera similar a lo que ocurre en el caso del tendón sano, en una tendinopatía en fase degenerativa se podría producir una fase reactiva en la zona preservada del tendón. En esta situación, coexistirían temporalmente una zona degenerada, asintomática, con una fase reactiva de la zona preservada (**Figura 8**). Desde otra perspectiva, esta zona preservada puede ser un importante aliado en el enfoque terapéutico ya que, según estudios existentes (Docking & Cook, 2016), esta área conservada podría ser suficiente para compensar la desorganización producida en la zona degenerada aumentando el grosor del tendón, permitiendo así alcanzar y mantener una funcionalidad plena.



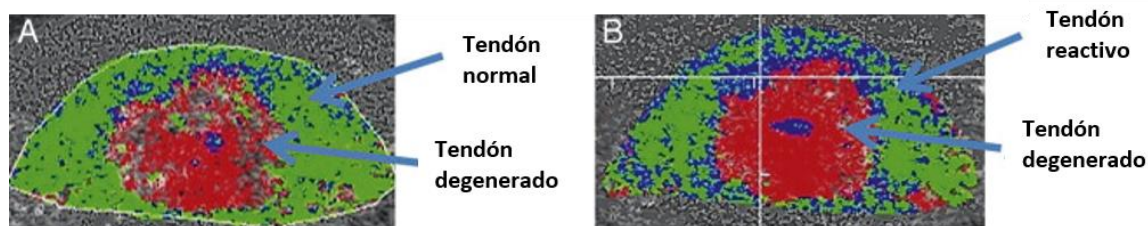


Figura 8. Imágenes de caracterización ultrasónica del tisular (UTC) un tendón rotuliano con tendinopatía degenerativa con presencia de un área preservada (A) que progresa a un estado reactivo (B). Figura de Rudavsky & Cook, 2014 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.

Nota: se observa el aumento de la pixelación azul en un área anteriormente visualizada como una estructura normal (verde).

Aunque se trata de una opción significativamente menos común que la anterior, los tendones degenerados asintomáticos pueden ser la situación previa a rupturas tendinosas, ya que se ha observado que un significativo porcentaje de estas no presenta sintomatología previa a la ruptura (Noback et al., 2018).

También, es posible la observación de un tendón aparentemente sano en estructura y sin dolor pero que, sin embargo, experimenta una significativa pérdida de función debido, por ejemplo, a un periodo de baja actividad por lesión o enfermedad. Aunque este tendón no se considera patológico, es susceptible de experimentar síntomas con la vuelta a una carga anteriormente considerada normal y bien tolerada y de desarrollar, por lo tanto, una tendinopatía (J. L. Cook et al., 2016). La opción de un tendón doloroso y con buena estructura (obviando los cambios agudos producidos en una tendinopatía reactiva) es inusual, por lo que debería previamente descartarse la existencia de otros diagnósticos diferenciales (J. L. Cook et al., 2016).

Aunque con el consenso actual, solo se entendería como tendinopatía aquellas presentaciones clínicas en las que coexiste dolor tendinoso con pérdida de función, con



independencia de la degeneración existente, es importante conocer y comprender el resto de las situaciones relacionadas con el tendón para un correcto diagnóstico diferencial y posterior manejo.

En el contexto de las fases del continuo de la tendinopatía, y tal y como se describe en el apartado anterior, cada una de las fases presenta diferentes presentaciones clínicas dependiendo del momento evolutivo de la afección y la situación dentro del propio continuo, siendo también predominantes en un rango de edades y un espectro de cargas específico.

1.6.2 Dolor y alteraciones sensoriales en la tendinopatía

El dolor es una de las características clínicas principales de la tendinopatía. Tal y como se describe en los apartados anteriores, es común la observación de síntomas y dolor en dos presentaciones: la tendinopatía reactiva primaria en tendón sano y la tendinopatía reactiva sobre una tendinopatía degenerativa en fases avanzadas (J. L. Cook et al., 2016). Se sugiere que la fase degenerativa es, por sí misma, asintomática (J. L. Cook et al., 2017). También, es posible la observación de dolor tendinoso en entidades relacionadas como la paratendonitis, en sus diversas formas, o en la entesitis, donde diversas estructuras pueden verse irritadas y ser fuente de dolor.

Las causas para la aparición del dolor en el tendón no han sido totalmente esclarecidas, pero diversos aspectos han sido sugeridos como potenciales fuentes de este dolor. Entre estas fuentes, se han sugerido durante las décadas previas mecanismos relacionados con la neovascularización y el crecimiento asociado de nuevas fibras nerviosas, la presencia de sustancias bioquímicas que podrían actuar sobre los nervios sensibilizados de la



matriz, o la segregación y actuación de catecolaminas, acetilcolina y glutamato que se asociaría a la señalización de autocrina y paracrina (J. L. Cook & Purdam, 2009).

Aunque han sido el foco de los tratamientos durante décadas, los cambios estructurales tienen una relación compleja con el dolor y otros síntomas ya que, aunque es rara la presencia de dolor en ausencia de patología, no es infrecuente encontrar cambios patológicos en ausencia de dolor (Corrigan et al., 2018, 2020; de Jonge et al., 2015; Gisslèn et al., 2005; Rio et al., 2014). Esta observación sugiere que las alteraciones patológicas en el tendón no son la única fuente de dolor.

La predominancia de mecanismos de dolor nociceptivos, y su relación con los cambios estructurales producidos en el tendón, también son una hipótesis cuestionada por el conocimiento existente. Tradicionalmente, signos clínicos comunes de la tendinopatía como la existencia de dolor a la presión localizado y dolor asociado con la carga se han considerado sugestivos de dolor nociceptivo (Rio et al., 2014; Smart et al., 2010). Sin embargo, el análisis de las pruebas de imagen sugiere que las alteraciones visibles en la morfología y estructura del tejido tendinoso no se relacionan de manera consistente con los síntomas clínicos (Corrigan et al., 2018). Así, como se ha comentado en líneas anteriores, los cambios en los tendones pueden estar presentes en ausencia de dolor y el dolor puede estar presente en ausencia de cambios en los tendones (Corrigan et al., 2018, 2020; de Jonge et al., 2015; Gisslèn et al., 2005; Rio et al., 2014). Además, aunque se han identificado algunos mediadores nociceptivos en la tendinopatía (Millar et al., 2021), los responsables de la nocicepción a nivel local y las vías involucradas en la percepción del dolor no han sido totalmente esclarecidos (Cardoso et al., 2019). Por lo tanto, las tendinopatías dolorosas persistentes no parecen explicarse completamente por el daño y/o la inflamación local del tendón (Plinsinga et al., 2015; Rio et al., 2014).



Adicionalmente, se ha sugerido la sensibilización periférica y central como un mecanismo de perpetuación de dolor potencialmente involucrado en la tendinopatía (Jayaseelan et al., 2019; Plinsinga et al., 2015; Rio et al., 2014). En este sentido, estudios previos han detectado perfiles somatosensoriales alterados en la tendinopatía, incluyendo mecanismos de sensibilización del sistema nervioso (Eckenrode et al., 2019; Heales et al., 2014; Plinsinga et al., 2021; Tompra et al., 2016; Vallance et al., 2021; C. P. van Wilgen et al., 2013). También, revisiones previas han encontrado hallazgos que sugieren la presencia de hiperalgesia, principalmente a nivel local pero en menor medida también en otras zonas del cuerpo más alejadas, lo que sería sugestivo de sensibilización central (Heales et al., 2014; Nijs et al., 2021; Plinsinga et al., 2015; Rio et al., 2021).

En este contexto, los mecanismos del dolor en tendinopatía deben ser todavía estudiados y mejor comprendidos, pudiendo intervenir en los mismos diferentes procesos complejos. Sin embargo, debe considerarse

1.6.3 Influencia de factores psicosociales

En el contexto del dolor persistente, es necesario considerar mecanismos que pueden favorecer la progresión y perpetuación del dolor. Entre otros, factores psicológicos, psicosociales y comportamentales están siendo estudiados para comprender mejor su relación con los hallazgos obtenidos en la patología tendinosa (Mc Auliffe et al., 2022). Ejemplos de estos factores contribuyentes en el proceso pueden ser el miedo al movimiento o el catastrofismo ante el dolor (Chimenti et al., 2020; Wong et al., 2020), pero también otros como las creencias y percepciones sobre el dolor y la patología, la ansiedad o el estrés (Edgar et al., 2022; C. P. van Wilgen et al., 2010).



Sin embargo, es necesario tener en cuenta que existe una gran heterogeneidad entre los pacientes con tendinopatía. Así, un estudio previo identificó y agrupó a los pacientes con tendinopatía aquilea en tres subgrupos considerando sus características clínicas: un subgrupo con predominancia de alteraciones psicosociales, un subgrupo con predominancia de alteraciones estructurales y un subgrupo con predominancia de alteraciones en los niveles de actividad física (Hanlon et al., 2021).

Estas diferencias pueden sugerir que se necesita de un enfoque individualizado para cada uno de estos subgrupos y, de manera más precisa, para cada paciente. Así, las características observadas en el grupo con predominancia de alteraciones psicosociales podrían sugerir, además de una contribución de estos factores al incremento y perpetuación de los niveles de dolor, una aversión hacia el movimiento y el ejercicio que dificulte la implementación y el éxito del tratamiento, de un carácter principalmente activo. Por este motivo, en estos pacientes, la eliminación de barreras cognitivas y emocionales a través de una intervención educativa puede ser indispensable para facilitar la participación y la introducción en partes más activas del tratamiento, como son los programas de ejercicio terapéutico.

1.6.4 Evolución

En las etapas iniciales, la tendinopatía no suele afectar el trabajo, los deportes o las actividades de la vida diaria de los pacientes, ya que estos a menudo no sienten síntomas una vez que inician la actividad o realizan un calentamiento (Millar et al., 2021), aunque estos sí aparecen o empeoran tras el cese de la actividad o en las 24 horas posteriores.



En fases posteriores, el dolor y la rigidez asociados con el inicio de la actividad progresan hacia un dolor debilitante que persiste durante la actividad, pudiendo ser incapacitante y que obliga, en algunos casos, al abandono prematuro de la misma (Millar et al., 2021). Pese a que durante el proceso se suelen alternar momentos con un nivel de síntomas menor que puede confundirse con una recuperación, estos están en muchos casos asociados a un descenso en la actividad que no impide el retorno de los síntomas cuando se retoman los niveles de actividad previos. Según el conocimiento actual, un manejo adecuado que incluya un abordaje activo puede mejorar la función y reducir la sintomatología en un porcentaje alto de los pacientes (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009; Mellor et al., 2018). Sin embargo, un porcentaje todavía importante de los pacientes (10-58%) reportan no haber experimentado una recuperación completa tras el tratamiento, según algunos estudios (Chimenti et al., 2017)]. En este sentido, se estima que las ratios de recurrencia de la tendinopatía son altas, con una tasa aproximada del 49% (Sprague et al., 2018), siendo esta patología la causa de la retirada de hasta un 50% de deportistas (Sprague et al., 2018).

1.6.5 Características clínicas de la tendinopatía aquilea

La tendinopatía del tendón de Aquiles presenta unas características propias, entre las que se incluyen (J. Cook et al., 2021): dolor localizado en la porción media (entre los 2 y 6 cm desde su inserción) o en la inserción tendinosa (inserción proximal tendinosa en el tríceps sural) asociado a la carga (**Figura 9**); rigidez y dolor matutinos localizados (la rigidez matutina superior a los 60 minutos está más relacionada con causas reumatológicas [Cardoso et al., 2019]); dolor que se agrava durante la carrera y con la ejecución de ejercicios pliométricos; y sintomatología que, especialmente en estadios

iniciales, mejora incluso hasta la desaparición tras el calentamiento y la actividad, pero empeora al día siguiente. Además, la sintomatología también puede aparecer tras períodos prolongados de inactividad (por ejemplo, tras permanecer un durante largo tiempo en sedestación) (J. Cook et al., 2021).

En la tendinopatía aquilea es relevante la diferenciación entre las dos localizaciones principales ya que, según la evidencia actual, la respuesta al tratamiento de ambas localizaciones no es igual, con una respuesta mucho más heterogénea en el caso de la tendinopatía aquilea insercional (Cardoso et al., 2019). La tendinopatía aquilea insercional comparte la mayoría de características con la tendinopatía de la porción media, siendo adicionalmente común la limitación y/o la provocación de síntomas con actividades que conllevan una mayor flexión dorsal de tobillo (Maffulli et al., 2019).



Figura 9. Localizaciones habituales del dolor en tendinopatía del tendón de Aquiles.

Nota: se muestra, sombreada en azul, la localización de la tendinopatía insercional y, en rojo, la localización de la tendinopatía de la porción media. Fuente: elaboración propia.

1.6.6 Características clínicas de la tendinopatía rotuliana

En la presentación clínica del tendón rotuliano destaca (J. Cook et al., 2021): dolor sordo localizado distal al polo inferior de la rótula asociado a la carga (**Figura 10**); dolor

agravado por actividad que incluya saltos, sentadilla (especialmente monopodal), zancadas o cambios de dirección, así como por períodos prolongados en sedestación que incluyan flexión de rodilla mantenida. El dolor a la palpación es más evidente cuando la exploración se lleva a cabo con extensión de rodilla y el músculo cuádriceps relajado,



Figura 10. Localización habitual del dolor en tendinopatía rotuliana (sombreado en rojo). Fuente: elaboración propia.

siendo menor el nivel de dolor cuando se realiza la misma exploración en posición de flexión de rodilla o con el cuádriceps contraído (Rath et al., 2010). Esta sintomatología se acompaña, en ocasiones, de un déficit de fuerza y/o una evidente atrofia cuadricepsal y el paciente puede referir rigidez en la rodilla durante los saltos y otras actividades.

1.6.7 Características clínicas de la tendinopatía glútea

La tendinopatía de glúteo medio se caracteriza por la presencia de dolor e hipersensibilidad en la zona peritrocantérea (**Figura 11**), pudiendo referirse este en otras zonas de la pierna (Grimaldi & Fearon, 2015; Mellor et al., 2018). La afectación de este tendón es común, especialmente, en mujeres en periodo postmenopáusico, debido al cambio hormonal producido en esta etapa (Grimaldi & Fearon, 2015). El dolor aparece o se agrava con posiciones que conllevan una compresión del tendón en la zona del trocánter mayor, incluyendo posiciones de bipedestación y sedestación con las piernas

cruzadas y posiciones que conllevan aducción de cadera, tanto en bipedestación como en sedestación y en decúbito lateral (Grimaldi & Fearon, 2015; Mellor et al., 2018).



Figura 11. Área primaria de dolor en la tendinopatía glútea (sombreado en rojo). Fuente: elaboración propia.

También es posible la provocación de síntomas en actividades de la vida diaria como la subida y bajada de escaleras (Grimaldi & Fearon, 2015). Los pacientes refieren en ocasiones problemas para conciliar el sueño, lo que se relaciona habitualmente con la posición adoptada para dormir (Mellor et al., 2018).

1.7 Factores de riesgo

El origen de la tendinopatía es multifactorial, debiendo considerarse en su estudio diferentes factores de riesgo modificables y no modificables. Entre estos, puede destacarse la existencia de factores intrínsecos y extrínsecos que han sido relacionados con mayor o menor grado de evidencia con el desarrollo de tendinopatías. La **Tabla 2** recoge los principales factores de riesgo intrínsecos y extrínsecos generales para el desarrollo de esta patología.

Adicionalmente, se han correlacionado algunos factores de riesgo intrínsecos con el desarrollo específico de tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea, aunque existe cierta controversia en la relevancia de estas relaciones (**Tabla 3**).

Tabla 2. Factores de riesgo intrínsecos y extrínsecos generales para el desarrollo de tendinopatía.

Tipo de factores	Factores identificados
Factores intrínsecos	<ul style="list-style-type: none"> • Edad (mayor edad asociada a tendinopatía degenerativa) <ul style="list-style-type: none"> • Sexo masculino (excepto en tendinopatía glútea) • Trastornos metabólicos/médicos (espondiloartropatías seronegativas, condiciones inflamatorias y autoinmunes, diabetes tipo 2, exceso de adiposidad e hiperlipidemia, hiperostosis esquelética idiopática difusa) (Millar et al., 2021) • Alteraciones genéticas (polimorfismos en COL5α1 y tenascin-C) (Kozlovskaiia et al., 2017; September et al., 2016) • Patología observable mediante pruebas de imagen (Fredberg & Bolvig, 2002; McAuliffe et al., 2016) <ul style="list-style-type: none"> • Historia previa de lesiones (J. Cook et al., 2021) • Debilidad muscular (Millar et al., 2021) • Reducción de la fuerza tras inactividad (J. Cook et al., 2021)
Factores extrínsecos	<ul style="list-style-type: none"> • Fármacos (antibióticos como las fluoroquinolonas, corticosteroides, inhibidores de la aromatasa, estatinas) (Abate et al., 2013) • Carga aplicada en el tendón y carga general de trabajo, generalmente por sobreuso (Malliaras & O'Neill, 2017) • Cambios repentinos en el volumen o intensidad de la actividad (Millar et al., 2021) <ul style="list-style-type: none"> • Inicio de nuevas actividades (Millar et al., 2021) • Descanso inadecuado (Millar et al., 2021) • Movimientos repetitivos (Millar et al., 2021) • Cambios en la biomecánica de la actividad (Cardoso et al., 2019) • Clima y condiciones de la superficie (deporte) (J. Cook et al., 2021)

Tabla 3. Factores de riesgo intrínsecos específicos para el desarrollo de tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea.

Tipo de factores	Factores identificados
Factores intrínsecos tendinopatía aquilea (Malliaras & O’neill, 2017; Vlist et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Rango articular limitado de dorsiflexión • Aumento del balanceo lateral del pie durante la carrera <ul style="list-style-type: none"> • Déficit de fuerza en la flexión plantar <ul style="list-style-type: none"> • Pie pronado o cavo
Factores intrínsecos tendinopatía rotuliana (Sprague et al., 2018; Van Der Worp et al., 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Rango articular limitado de dorsiflexión • Asimetría en la longitud de los miembros inferiores <ul style="list-style-type: none"> • Altura del arco del pie • Flexibilidad limitada de la musculatura anterior y posterior del muslo <ul style="list-style-type: none"> • Déficit de fuerza muscular de cuádriceps • Actividad que implique saltos (especialmente saltos verticales)
Factores intrínsecos tendinopatía glútea (Grimaldi & Fearon, 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Sexo femenino • 40 años • Período perimenopáusico (especialmente postmenopausia) <ul style="list-style-type: none"> • Morfología de la pelvis (especialmente coxa vara) • Actividades que favorezcan compresión en tendón glúteo (bipedestación con apoyo predominante en una pierna que favorezca la aducción de cadera, bipedestación o sedestación con piernas cruzadas, sedestación con las rodillas juntas [rotación interna de cadera] estiramientos que supongan aducción de cadera junto con flexión o extensión de cadera, decúbito lateral)

1.8 Incidencia y prevalencia

Las cifras de incidencia y prevalencia de la tendinopatía no se conocen con precisión debido a que, por la diversidad y complejidad de sus presentaciones, muchas de ellas no son debidamente diagnosticadas, generando un problema significativo de sobrediagnóstico e infradiagnóstico. Además, estos datos varían dependiendo de la

localización corporal analizada, la edad, el sexo, el tipo de actividad desempeñada (laboral, deportiva y recreativa) y la presencia de comorbilidades (Millar et al., 2021).

Sin embargo, algunos estudios han tratado de aproximar este conocimiento aportando valores que, aunque significativamente heterogéneos, pueden ser tomados como referencia (**Tabla 4**). En general, los datos indican que la incidencia y prevalencia de las tendinopatías de miembros inferiores rondan los 11.83 y 10.52 casos por cada 1000 personas-año, respectivamente (Albers et al., 2016). En el caso de deportistas, las tasas de prevalencia aumentan hasta un 45% en la tendinopatía rotuliana en jugadores de voleibol masculinos de élite (Lian et al., 2005). Las localizaciones más afectadas son el tendón rotuliano, el tendón aquileo y el tendón glúteo, en los miembros inferiores, y el manguito rotador y los tendones extensores del antebrazo, en los miembros superiores (Magnusson et al., 2010).

Tabla 4. Incidencia y prevalencia de tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea.

Localización (condición)	Prevalencia	Incidencia
Tendinopatía aquilea (deportistas)	6.2-23.9% (Kujala et al., 2005; Murphy et al., 2018)	1.7‰ (Riel et al., 2019)
Tendinopatía aquilea	5-9-11.83 % (Kujala et al., 2005; Murphy et al., 2018)	
Tendinopatía rotuliana	-	0.5‰ (Riel et al., 2019)
Tendinopatía rotuliana (deportistas recreacionales baloncesto y voleibol)	11.8-14.4% (Sprague et al., 2018)	
Tendinopatía rotuliana (deportistas élite)	32-45% (Lian et al., 2005; Sprague et al., 2018)	-
Tendinopatía glútea	10-25% (Mellor et al., 2018) *Mayor prevalencia entre las mujeres postmenopáusicas (Grimaldi & Fearon, 2015)	1.6‰ (Riel et al., 2019)

1.9 Diagnóstico, evaluación y seguimiento

El diagnóstico de la tendinopatía es fundamentalmente clínico. Este se basa, principalmente, en la historia clínica y en los datos recabados en el examen físico y funcional (Cardoso et al., 2019). Para ello, se tienen en cuenta los aspectos y las características clínicas específicas desarrollados en el apartado **1.6** que permiten que, a través de la anamnesis, historia clínica y exploración física, junto con la realización de pruebas subjetivas y objetivas, se pueda establecer un diagnóstico orientativo que deberá posteriormente ser confirmado (Cardoso et al., 2019).

Entre los hallazgos más determinantes para el establecimiento del diagnóstico de tendinopatía es posible encontrar: dolor en el tendón localizado que el paciente puede señalar usando solo uno o dos dedos; dolor asociado temporalmente y en intensidad con la realización de actividad y aplicación de cargas de tensión y compresivas, aunque la aparición del mismo puede presentar latencia; en primeras fases, mejora del dolor tendinoso con la actividad y empeoramiento tras el cese de la misma o en las 24 horas posteriores, en fases avanzadas el dolor no desaparece con la actividad y limita su ejecución; y no aparición de dolor sin antecedente previo de actividad y carga (Cardoso et al., 2019).

Otros datos relevantes en el proceso de evaluación y diagnóstico son la edad, el historial deportivo o laboral (historial de carga), el historial de lesiones previas y los antecedentes personales y familiares, con especial atención a la existencia de posibles episodios previos y la contextualización de los síntomas (comportamiento del dolor, existencia de dolor nocturno, qué situaciones lo agravan, qué situaciones lo alivian y respuesta del dolor y otros síntomas existentes durante y tras el cese de la actividad, así como a las 24 horas de su realización). Así mismo, es relevante conocer cambios en el nivel de actividad



en los últimos días, semanas o meses y posibles cambios en la cadena cinética, que podrían deberse a la existencia de lesiones, enfermedades o periodos de inmovilización o inactividad. En este sentido, es relevante conocer de la existencia de lesiones previas en esta u otras regiones, así como enfermedades que hayan podido provocar estos periodos de inmovilización.

1.9.1 Pruebas de imagen y palpación

El consenso internacional actual sobre tendinopatía no considera a las pruebas de imagen como elemento necesario para el establecimiento del diagnóstico, apoyando el diagnóstico clínico (Scott et al., 2020). Una de las razones principales para esta posición es el conocimiento actual de que estas pruebas de imagen no tienen una correlación suficiente con la clínica de la patología, pudiendo observarse cambios estructurales en los tendones en ausencia de clínica y presencia de clínica en ausencia de cambios (Corrigan et al., 2018, 2020; de Jonge et al., 2015; Gisslèn et al., 2005; Rio et al., 2014). Por este motivo, los hallazgos en estas pruebas no son considerados determinantes para el pronóstico ni válidos para el seguimiento de los pacientes. Sin embargo, las pruebas de imagen sí pueden ser útiles para el establecimiento de algunos diagnósticos diferenciales y pueden ser de interés para la planificación de estrategias de prevención, dado que sí se ha correlacionado la presencia de cambios estructurales visibles en las pruebas de imagen con el desarrollo futuro de síntomas (Fredberg & Bolvig, 2002; McAuliffe et al., 2016).

Por su parte, el diagnóstico por palpación ha sido una estrategia de valoración ampliamente utilizada pero que, por sus características, presenta una cierta sensibilidad





que se asocia con una baja especificidad y fiabilidad, por lo que su uso como herramienta diagnóstica es controvertido (Cardoso et al., 2019).

1.9.2 Pruebas, tests y cuestionarios

1.9.2.1 Escalas de dolor y umbrales de dolor a la presión

El dolor, principal síntoma de la tendinopatía, puede evaluarse utilizando una escala visual analógica (EVA) o numérica (Carlsson, 1983; Price et al., 1983). Estas herramientas pueden utilizarse para valorar el nivel de dolor en situación de reposo, durante diferentes actividades o tests de provocación, tras el cese de la actividad o durante las 24 horas posteriores. Este indicador puede ser útil para valorar la asimilación de cargas por parte del tendón y el paciente y es utilizado por algunos autores para guiar el progreso en el abordaje y seguimiento de la patología tendinosa (Silbernagel et al., 2007b).

1.9.2.2 Tests de provocación

La severidad de la tendinopatía puede ser evaluada, tanto en el inicio de la intervención fisioterápica como durante las distintas etapas del seguimiento, a través de tests de carga o provocación. Estos tests de carga, específicos para cada localización tendinosa, aportan información esencial para el diagnóstico, siendo también de utilidad para la evaluación de la funcionalidad del paciente. Utilizados en el seguimiento, son útiles para valorar la evolución de la patología. Se trata, generalmente, de ejercicios o actividades que aumentan la tensión sobre el tendón, lo que supone la aplicación de cargas de menor o mayor intensidad dependiendo de la etapa.

En el tendón de Aquiles, se pueden utilizar como tests de carga, ordenados de menor a mayor carga aplicada, la elevación y descenso de talones bilateral, la elevación y





descenso de talón unilateral, el salto bilateral o el salto unilateral (Alfredson & Cook, 2007).

En el tendón rotuliano, ordenados de menor a mayor carga aplicada, se utilizan habitualmente la sentadilla bilateral, la zancada frontal o la sentadilla unilateral, así como distintas variedades de saltos (Breda et al., 2021).

Como tests provocativos para la tendinopatía glútea es posible utilizar el apoyo monopodal, así como ejercicios entre los que se incluyen la sentadilla bilateral y unilateral, la zancada frontal y lateral, actividades de sentarse y levantarse, subida y bajada de escaleras, saltos y aterrizajes (Grimaldi & Fearon, 2015).

1.9.2.3 Cuestionarios autoadministrados

El uso de cuestionarios autoinformados por parte del propio paciente permite que se contemplen mejor algunos constructos humanos como el dolor, la fatiga, la función o el miedo que utilizando otras variables objetivas simples. En tendinopatías de miembros inferiores está ampliamente extendido el uso de un cuestionario específico y validado conocido como cuestionario Victorian Institute of Sport Assessment (VISA). Este cuestionario dispone de versiones específicas para el tendón aquileo (VISA-A [Robinson et al., 2001]), el tendón rotuliano (VISA-P [Visentini et al., 1998]) y el tendón glúteo (VISA-G [Fearon et al., 2015]), además de para otras localizaciones.

El cuestionario VISA funciona a modo de índice de severidad utilizando ítems que relacionan la funcionalidad y el dolor, con un rango de puntuación que varía entre 0 y 100, siendo 100 la mejor puntuación posible. Según estudios realizados en España, es habitual en tendinopatía rotuliana encontrar puntuaciones cercanas a 50, obteniendo puntuaciones cercanas a 95 puntos en sujetos sanos. Una puntuación de 90 se considera de riesgo, siendo necesaria la interpretación del contexto clínico del paciente



(Hernández-Sánchez et al., 2018). Según análisis previos, se sugiere que cambios de entre 6.5 y 20 puntos pueden ser sugestivos de cambios clínicamente significativos, dependiendo de la población y el tendón analizado (Hernandez-Sanchez et al., 2014; Hernández-Sánchez et al., 2018). Este tipo de cuestionarios, utilizado tras varias semanas o meses, permite aportar información esencial para el seguimiento.

Adicionalmente, existen otros cuestionarios de miembros inferiores no específicos de tendinopatías útiles para la evaluación en esta patología y que comprenden diferentes constructos como la calidad de vida, en el caso del EQ de cinco dimensiones y cinco niveles o EQ-5D-5L (Rabin & de Charro, 2001), la funcionalidad, en el caso del Índice Funcional de Miembros Inferiores o LLFI, por sus siglas en inglés (Gabel et al., 2012), componentes de miedo evitación como la Escala de Componentes de Miedo-evitación o FACS, por sus siglas en inglés (Neblett et al., 2016), o la posible presencia de sensibilización central, como es el caso del Inventario de Sensibilización Central o CSI, por sus siglas en inglés (Mayer et al., 2012).

1.10 Tratamiento

En las décadas previas a los años 90, los abordajes basados en métodos antiinflamatorios fueron los protagonistas del tratamiento de la patología tendinosa, estando estos fuertemente influidos por el componente inflamatorio asociado al término “tendinitis” (Rees et al., 2014). Posteriormente, la popularidad del nuevo paradigma del término “tendinosis” influyó en el cambio hacia un abordaje más activo pero que, sin embargo, también se ha centrado principalmente en un componente, la degeneración estructural, obviando otros potenciales mecanismos relacionados con la patología y la producción de



síntomas (Rees et al., 2014). En este sentido, los tratamientos se han dividido, principalmente, en aquellos orientados a recuperar la zona afectada del tendón y aquellos orientados a mejorar la capacidad de la zona preservada.

En este contexto, y a pesar de la heterogeneidad de enfoques y mecanismos de acción utilizados en el abordaje de la tendinopatía, el objetivo general del tratamiento en esta patología es la reducción de la sintomatología, con especial énfasis en el nivel de dolor, la mejora de la funcionalidad y, en caso de ser posible, la búsqueda de la reversibilidad de los cambios producidos en el tendón (Millar et al., 2021).

El ejercicio y la educación terapéuticos, aplicados con un adecuado control de las cargas, son considerados tratamientos de primera línea en la tendinopatía, con decenas de estudios publicados en las últimas décadas (Docking & Cook, 2019; Cardoso et al., 2019; Mellor et al., 2018; Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009).

Las intervenciones pasivas juegan un papel complementario en el tratamiento, siendo en ocasiones de utilidad para el control del dolor y la sintomatología, para la mejora de la adherencia a otros abordajes activos o en aquellos casos con una evolución insuficiente. Algunos autores sugieren, sin embargo, que el uso de estrategias pasivas de manera aislada podría ser insuficiente y su uso, en el caso de algunas técnicas, es controvertido por sus posibles efectos perjudiciales (Cardoso et al., 2019). En este grupo de intervenciones pasivas podemos incluir el uso de medicación (antiinflamatorios no esteroides, corticosteroides o parches de nitroglicerina), terapias inyectables (incluidas las basadas en plasma rico en plaquetas o factores de crecimiento y otros derivados de la sangre) que tienen como objetivo acelerar y mejorar los procesos de cicatrización y remodelación en el tendón o intervenciones mediante agentes electrofísicos como las





ondas de choque o la electrólisis percutánea intratisular (Cardoso et al., 2019; Rees et al., 2014).

En aquellas ocasiones en las que el tratamiento conservador no obtiene los resultados deseados, existe la posibilidad de plantear la intervención quirúrgica, en la cual se resecan las partes del tendón afectadas y que, según algunas hipótesis, podrían ser fuente de síntomas (Cognetti et al., 2022).

1.10.1 Manejo de la fase reactiva y degenerativa

Un factor a considerar para la elección del abordaje terapéutico es el momento temporal en la patología y la fase de desarrollo de la misma, distinguiendo especialmente entre fases reactivas agudas (asociadas o no a una fase degenerativa) y tendinopatías persistentes, asociadas habitualmente a la fase degenerativa del tendón.

En la fase reactiva, en el contexto de la teoría del continuo, se sugiere que es posible la reversión del episodio mediante estrategias de manejo de cargas que impliquen el control de los factores que han producido ese estado, habitualmente asociados a sobrecargas puntuales (J. L. Cook et al., 2016). De esta manera, se pretende controlar la aparición de dolor y otros síntomas, amortiguar la respuesta celular y el resto de procesos producidos e impedir el progreso de los cambios en la composición y morfología del tendón y su matriz (J. L. Cook et al., 2016).

En la tendinopatía degenerativa, y dada la limitada reversibilidad de los cambios producidos en el área afectada del tendón, se sugiere que las intervenciones deben enfocarse en mejorar la capacidad de la zona preservada del tendón (J. L. Cook & Purdam, 2009). Aunque en la versión original de la teoría del continuo los autores sugerían que uno de los focos de la intervención en esta fase podría ser la estimulación de la





producción de colágeno en la zona degenerada, no se ha podido demostrar que esto sea posible, pudiendo indicar nuevamente la conveniencia de enfocarse en aquellas zonas con mayor capacidad de respuesta (J. L. Cook & Purdam, 2009). Con este fin, el consenso actual apoya la aplicación de un abordaje activo que incluya, principalmente, un programa de ejercicio terapéutico acompañado de una intervención educativa (Cardoso et al., 2019).

En el siguiente apartado se describen aspectos básicos del tratamiento conservador, poniendo el foco en el abordaje mediante programas de ejercicio terapéutico y el empleo de la educación terapéutica.

1.10.2 Abordaje activo: ejercicio terapéutico y educación

La literatura disponible sugiere la efectividad de diversas modalidades de programas de ejercicio en diferentes localizaciones de la tendinopatía en los miembros superiores (Cushman & Rho, 2015; Pienimäki et al., 1996) e inferiores, incluyendo las tres localizaciones estudiadas en esta tesis doctoral (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009; Mellor et al., 2018).

Los mecanismos de acción de estos programas de ejercicio, con y sin la aplicación de educación, no han sido todavía totalmente comprendidos. Así, aunque tradicionalmente se ha sugerido que podrían estar involucrados, principalmente, efectos locales en la estructura del tendón y el músculo (Kongsgaard et al., 2009; Kubo et al., 2010), incluyendo una potencial reversibilidad del proceso patológico (Malliaras, 2017), los hallazgos científicos de la última década han provocado la exploración de otros mecanismos no relacionados con los tejidos. Entre estos mecanismos alternativos se incluyen posibles cambios neuroplásticos a nivel del sistema nervioso central (Rio et al.,



2016), una reducción del miedo al movimiento y un aumento de la autoeficacia, una reconceptualización de la percepción del dolor o, de un modo más general, un aumento de la tolerancia de los sistemas y tejidos a la carga (Chester et al., 2018; Malliaras, 2017). Este cambio de paradigma se apoya en estudios que muestran que la disfunción muscular y los cambios patológicos en el tendón pueden subsistir a pesar de la resolución parcial o total de los síntomas (Drew et al., 2014; Färnqvist et al., 2020; Silbernagel et al., 2007a).

1.10.2.1 Tipo de ejercicio y programas actuales

Uno de los aspectos a considerar a en el diseño de un programa de ejercicio para tendinopatías es que diversas modalidades de ejercicio, con características significativamente diferentes, han obtenido resultados favorables. En este sentido, podemos encontrar evidencia a favor del uso de contracciones isométricas aisladas (Rio et al., 2017), contracciones excéntricas aisladas (Alfredson et al., 1998), una combinación de contracciones concéntricas y excéntricas (Silbernagel et al., 2001) o programas específicos como el entrenamiento de fortalecimiento lento con cargas altas (Kongsgaard et al., 2009), conocido como HSR por sus siglas en inglés (*“Heavy Slow Resistance training”*), o el modelo de monitorización del dolor (Silbernagel et al., 2007b).

El uso de contracciones isométricas está muy asociado a la búsqueda de la analgesia y el control de la sintomatología a corto plazo, aunque también se ha relacionado su uso junto al entrenamiento de fuerza isotónico con mayores ganancias de fuerza (Rio et al., 2015, 2017). Los resultados obtenidos en estudios realizados en la última década han alimentado el debate sobre la capacidad de entrenamientos isotónicos de volumen e intensidad similares para obtener efectos parecidos (Holden et al., 2019), pero actualmente las contracciones isométricas siguen siendo un componente de muchos de los programas existentes.



A medio y largo plazo, los programas de ejercicio terapéutico más utilizados se basan, generalmente, en el trabajo de una única etapa que contempla el entrenamiento general de la fuerza, incorporando una progresión en la carga con una variedad menor o mayor de movimientos. En este sentido, el entrenamiento excéntrico aislado ha sido ampliamente utilizado en investigación y en el ámbito clínico en las últimas décadas, debido a la enorme popularidad de la que ha gozado el protocolo de Alfredson, inicialmente diseñado para la tendinopatía aquilea (Alfredson et al., 1998) y posteriormente adaptado para la tendinopatía rotuliana (Purdam et al., 2004). Este tipo de programas, que nació bajo la idea equivocada de la necesidad de evitar la fase concéntrica de los ejercicios, ha sido una referencia clara durante décadas en el abordaje de las tendinopatías de los miembros inferiores (Cardoso et al., 2019). Sin embargo, la evidencia no parece respaldar la superioridad de este abordaje frente al uso combinado de contracciones concéntricas y excéntricas (Beyer et al., 2015; Habets & van Cingel, 2015b; Kongsgaard et al., 2009; Malliaras et al., 2013). En ese contexto, otros programas como el HSR incorporan un entrenamiento progresivo de fuerza con altas cargas que integra todas las fases del movimiento (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009), obteniendo similares o incluso mejores resultados.

Frente a estos programas tradicionales basados, fundamentalmente, en el entrenamiento general de la fuerza, en los últimos años se han propuesto nuevos protocolos que incorporan un entrenamiento enfocado en otras adaptaciones neuromusculares e incluyen trabajo de fuerza explosiva mediante saltos y ejercicios pliométricos, movimientos realizados con mayor velocidad y ejercicio aeróbico a través de la carrera (Sancho et al., 2019).





En el contexto de la tendinopatía glútea, aunque la literatura es escasa, diversos abordajes han sido utilizados integrando el ejercicio terapéutico y la educación (Ganderton et al., 2018; Mellor et al., 2018). Estos programas incluyen un trabajo por etapas de movimientos específicos relacionados con la biomecánica del tendón glúteo.

1.10.2.2 Fases del programa

En la definición del contenido y la duración del programa intervienen circunstancias como el estado actual del paciente, el contexto y sus objetivos. Habitualmente, se trata de programas largos que pueden prolongarse durante semanas y meses (Mascaró et al., 2018). Considerando el conocimiento sobre fisiología del ejercicio y la evidencia sobre los programas existentes, algunos expertos han recomendado la ejecución de programas que integren una serie de trabajos que se han dividido en un determinado número de etapas dependiendo del autor (Cardoso et al., 2019; Mascaró et al., 2018). En este sentido, los programas de ejercicio terapéutico podrían dividirse en cinco etapas: 1) eliminación de cargas excesivas; 2) búsqueda de la analgesia; 3) entrenamiento de fuerza isotónico progresivo; 4) entrenamiento de la velocidad y de la capacidad de almacenamiento de energía y entrenamiento específico de cada deporte o actividad; y 5) retorno a la actividad y mantenimiento de las ganancias (**Figura 12**).



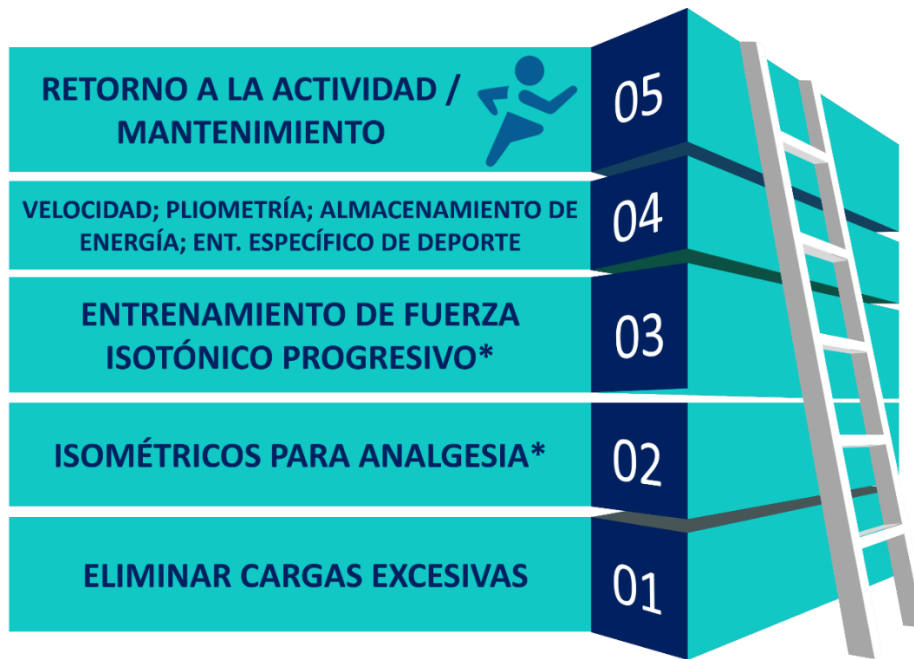


Figura 12. Etapas propuestas para los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías.

Fuente: elaboración propia.

1.10.2.2.1 Etapa 1: eliminación de cargas excesivas

Como requisito previo al inicio del programa de ejercicio, es necesario el control y eliminación, cuando sea necesario, de los factores que han iniciado o perpetuado el episodio, habitualmente asociado a una sobrecarga. En este sentido, se hace necesario un control óptimo de las cargas y una adecuación progresiva que tenga en cuenta la capacidad del paciente, su contexto y sus objetivos.

1.10.2.2.2 Etapa 2: búsqueda de analgesia

Durante o tras la Etapa 1 del programa, se recomienda el empleo de estrategias que faciliten la analgesia y el control de otros síntomas como la rigidez y permitan reducir la inhibición motora observada en los cuadros de tendinopatía. En esta etapa, el uso de contracciones isométricas (Rio et al., 2015, 2017), junto con otros elementos pasivos



coadyuvantes, deben permitir un control de la sintomatología que facilite la progresión hacia las siguientes etapas del programa, de un carácter activo (Cardoso et al., 2019).

1.10.2.2.3 Etapa 3: entrenamiento de fuerza isotónico progresivo

La tercera etapa planteada integra el entrenamiento de fuerza isotónico progresivo. En el contexto de esta etapa se enmarcan los trabajos abordados en protocolos tradicionales como el protocolo de excéntricos de Alfredson (Alfredson et al., 1998; Purdam et al., 2004) o el HSR (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009). Aunque la herencia histórica y científica del protocolo de excéntricos ha tenido una gran influencia en su amplio uso en investigación y en clínica, actualmente se recomienda para esta etapa el uso de un trabajo combinado de todas las fases de la contracción (Malliaras et al., 2013), manejando cargas altas y realizando los ejercicios de manera lenta y unilateral. El objetivo de este trabajo es la mejoría de la capacidad funcional del tendón y la fuerza de la musculatura asociada, así como una mejora de la rigidez tendinosa (Cardoso et al., 2019).

1.10.2.2.4 Etapa 4: entrenamiento de la velocidad y la capacidad de almacenamiento de energía y entrenamiento específico de cada deporte o actividad

Esta etapa incluye un entrenamiento enfocado en adaptaciones neuromusculares adicionales relacionadas con el trabajo de fuerza realizado con mayor velocidad, el trabajo de la fuerza explosiva mediante saltos y trabajo pliométrico y la ejecución de cambios de dirección, permitiendo también el desarrollo de la capacidad de almacenamiento de energía y de las capacidades elásticas del tendón y de la cadena cinética (Cardoso et al., 2019; Mascaró et al., 2018). Esta etapa, que se puede subdividir





en fases, integra también un trabajo de gestos y contextos específicos de la actividad o deporte del paciente.

1.10.2.2.5 Etapa 5: retorno a la actividad y mantenimiento de las ganancias

Esta fase, que incluye una incorporación progresiva a la actividad laboral, deportiva, recreativa o a las actividades de la vida diaria, se fundamenta en la producción de estímulos con el objetivo de impedir la pérdida de las ganancias obtenidas durante el programa. Se sugiere que estos estímulos pueden aplicarse con una frecuencia y volumen inferiores a los de las etapas anteriores del programa, pero deberán mantenerse a lo largo del tiempo para mantener una adecuada capacidad en la parte preservada del tendón.

1.10.2.3 Dosis y criterios de progresión en la carga

Uno de los aspectos fundamentales de los programas de ejercicio terapéutico es la metodología utilizada para el establecimiento y la progresión de las cargas aplicadas. El objetivo de los criterios de dosificación y progresión en la carga es obtener una eficiencia máxima reduciendo al mínimo el posible riesgo lesional. En este sentido, en el contexto del deporte y la preparación física, algunos autores han sugerido que el riesgo lesional estaría más relacionado con un manejo inadecuado de la progresión de la carga que con el uso, propiamente dicho, de cargas altas (Gabbett, 2016). Sin embargo, en la actualidad existe una importante heterogeneidad en las metodologías utilizadas, siendo necesario un mayor estudio y análisis de los criterios disponibles.

En los programas principalmente aplicados en tendinopatía destaca el uso de la metodología de dosificación y progresión del protocolo de excéntricos de Alfredson (Alfredson et al., 1998), que plantea la necesidad de realizar los ejercicios con molestia o





leve dolor, incrementando la carga a través de la introducción de peso en una mochila cuando esta molestia disminuye o desaparece (Alfredson et al., 1998). Por el contrario, protocolos como el HSR establecen una dosificación y progresión por etapas que se individualiza a través del concepto de intensidad relativa, ligado a la prescripción de la intensidad en forma de repeticiones máximas (RM) (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009). El concepto de RM indica el número de repeticiones máximas de un ejercicio que una persona puede hacer de manera correcta con una carga determinada. Así, en esta metodología, se conocen previamente al inicio del programa los volúmenes e intensidades relativas de trabajo de cada semana (por ejemplo, 8RM, 12RM o 15RM), y es la capacidad del individuo en cada una de las fases la que marca la carga absoluta necesaria para un trabajo ajustado a esas intensidades relativas. En este modelo, la molestia o dolor no es utilizada para guiar la progresión del programa, pero sí se controla un mantenimiento de estos dentro de un rango para preservar la seguridad e integridad del paciente (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009). De manera similar, otros autores como Silbernagel et al. (2007) han propuesto un modelo de dosificación y progresión basado en la monitorización del dolor, utilizando un diario de seguimiento, en el que se permite la aparición de molestias hasta un valor de 5/10 en una EVA (Silbernagel et al., 2007b). De esta manera, y a pesar de que la progresión está principalmente marcada por un modelo de etapas que aumenta progresivamente la complejidad e intensidad de los ejercicios, de nuevo se utiliza el control de los síntomas como medida complementaria para la progresión o regresión en el programa (Silbernagel et al., 2007b).

1.10.2.4 Evaluación de cargas

Para una óptima elección de cargas, es de especial interés disponer de herramientas que permitan la cuantificación de las cargas aplicadas en el tendón durante los ejercicios que



el paciente realiza. Estas herramientas permitirían una mayor precisión en la prescripción de cargas en comparación al uso de estrategias como la estimación de la RM. Este mayor conocimiento de las cargas aplicadas parece relevante desde la perspectiva de algunos autores que sugieren la existencia de un rango óptimo de estiramiento tendinoso para la obtención de adaptaciones (Pizzolato et al., 2019).

El análisis de las cargas aplicadas en el tendón se puede enfocar desde diversas perspectivas, entre los que destaca la cuantificación de las fuerzas absolutas aplicadas o la medición del estiramiento o deformación producido como resultado de estas fuerzas, señalando la evidencia a este último parámetro como especialmente útil para el estudio de los programas de carga progresiva (Huang et al., 2019; Wang et al., 2012).

Se han publicado previamente diversas revisiones enfocadas en este campo del conocimiento (Fleming & Beynnon, 2004; Q. Zhang et al., 2021). Sin embargo, estas no abordan específicamente ejercicios dinámicos como los utilizados en los protocolos de ejercicio para la tendinopatía, estando sus resultados y conclusiones predominantemente basados en contracciones isométricas o movimientos cíclicos como la marcha, la carrera o el ciclismo que presentan significativas diferencias con respecto al contexto del análisis de los ejercicios dinámicos de rehabilitación.

1.10.2.5 Educación terapéutica

Las intervenciones educativas en tendinopatía se basan principalmente en un modelo biomédico y, generalmente, incluyen información sobre diagnóstico clínico, estructuras y tejidos afectados, posible origen del dolor, factores de riesgo, comportamiento de síntomas comunes (durante la actividad/después de la actividad/a la mañana siguiente/después de 24 horas), postura y biomecánica, modificación de la actividad, etapas de rehabilitación y tiempos de recuperación, ejercicio progresivo, carga adecuada



del tendón o el papel del descanso y el ejercicio (Coombes et al., 2015; Day et al., 2021; Ganderton et al., 2018; Mellor et al., 2018). El objetivo de las intervenciones educativas es el manejo de las expectativas del paciente, habitualmente basadas en una rápida mejoría, la reducción de la ansiedad y un incremento en la adherencia a la parte más activa del abordaje terapéutico (Cardoso et al., 2019).

Complementariamente se sugiere que, en algunos pacientes que no responden adecuadamente al tratamiento y que pueden presentar una predominancia mayor de alteraciones psicosociales, podría ser indicado implementar un tipo especial de educación conocido como educación en neurociencia del dolor (Jayaseelan et al., 2019; Post et al., 2020). Este tipo de intervención educativa consiste en explicar al paciente, de una manera fácil de comprender, los complejos procesos biológicos y fisiológicos relacionados con el dolor, pudiendo ser una herramienta terapéutica de interés en pacientes con predominancia de dolor nociplástico (Kosek et al., 2021) o en pacientes con creencias y cogniciones maladaptativas relacionadas con el dolor (Louw et al., 2021). Como se describe en apartados anteriores, este enfoque podría permitir reducir la aversión de algunos pacientes ante el movimiento y el ejercicio, eliminando barreras cognitivas y emocionales y facilitando así la implementación de la parte activa del tratamiento.

1.11 Justificación

La adecuada aplicación de cargas es uno de los pilares de los programas de ejercicio terapéutico en las tendinopatías. Sin embargo, habitualmente se desconoce la carga que soporta el tendón durante los ejercicios y no existe un *gold standard* para la dosificación



y progresión de la carga en los programas de ejercicio terapéutico, siendo necesario el análisis de las estrategias actuales y el desarrollo de nuevos métodos. El estudio de las características de los criterios de progresión utilizados y su efectividad podría aportar información relevante para la maximización de los resultados en los programas de ejercicio terapéutico. Adicionalmente, y a pesar del consenso existente en referencia a la conveniencia de realizar diferentes trabajos neuromusculares (contracciones isométricas, entrenamiento de fuerza isotónico progresivo, entrenamiento de la velocidad y la capacidad de almacenamiento de energía y entrenamiento específico de cada deporte o actividad), la mayoría de los programas actuales se basan en el trabajo de una única etapa que incluye un entrenamiento de fuerza progresivo. El desarrollo de un nuevo protocolo para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea que contemple una dosificación y progresión individualizada, incluyendo un trabajo enfocado en las diferentes adaptaciones neuromusculares recomendadas por el conocimiento actual, podría suponer para los clínicos un significativo avance en el manejo de las tres principales tendinopatías de miembros inferiores.

1.12 Hipótesis y objetivos

1.12.1 Hipótesis y objetivo general

Se hipotetiza que un mayor conocimiento de las cargas aplicadas en los programas de ejercicio en tendinopatía, incluyendo los métodos de cuantificación pero también los criterios más adecuados para su progresión, permitirá el ajuste de un programa de ejercicio basado en una aplicación eficiente e individualizada de las cargas para las tres principales tendinopatías de los miembros inferiores (aquilea, rotuliana y glútea).

Por este motivo, el objetivo general fue analizar la aplicación de cargas en los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías y diseñar un programa de ejercicio original para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea basado en la aplicación de estas.

1.12.2 Hipótesis y objetivos específicos

1.12.2.1 Primer objetivo específico

El primer objetivo específico de esta tesis doctoral fue analizar y describir los métodos y técnicas de cuantificación in vivo de las cargas soportadas por el tendón en los ejercicios habitualmente pautados, poniendo el foco en las ventajas y limitaciones de cada uno.

Para lograr este objetivo se realizó y reportó una revisión de alcance o “*scoping review*” sobre estos métodos y técnicas de cuantificación de las cargas in vivo, con la hipótesis de que existen métodos de estimación directa e indirecta para el cálculo de cargas a través del análisis de fuerzas y del estiramiento. Este objetivo se enfoca en el primer artículo de la tesis doctoral, titulado “Modelling and in vivo evaluation of tendon forces and strain in dynamic rehabilitation exercises: a scoping review”.

1.12.2.2 Segundo objetivo específico

El segundo objetivo específico de esta tesis doctoral fue analizar y describir los criterios de progresión utilizados en los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías de miembros inferiores (aquilea, rotuliana y glútea), así como comparar su efectividad en variables relacionadas con el dolor, la función y el rendimiento.

Para lograr este objetivo se realizó y reportó una revisión sistemática sobre los criterios de progresión, con la hipótesis de que el uso del dolor como criterio principal para la progresión, mantenimiento o regresión en las cargas aplicadas podría no estar respaldado por la evidencia y sobreestimar o infravalorar la capacidad y la necesidad del



tendón con respecto al soporte de cargas. Este objetivo se enfoca en el segundo y tercer artículo de la tesis doctoral, titulados “Progression criteria in loading exercise programmes in lower limb tendinopathy: a protocol for a systematic review and meta-analysis” y “Load progression criteria in exercise programmes in lower limb tendinopathy: a systematic review”.

1.12.2.3 Tercer objetivo específico

El tercer objetivo específico de esta tesis doctoral fue integrar el conocimiento adquirido durante su realización junto con la evidencia actual y la experiencia clínica del doctorando y sus directores para desarrollar un protocolo de intervención mediante ejercicio terapéutico común para las principales tendinopatías de miembros inferiores (aquílea, rotuliana y glútea).

La hipótesis planteada fue que un programa de ejercicio terapéutico común para las tendinopatías aquílea, rotuliana y glútea, basado en la individualización de los criterios de carga y progresión y la obtención de diferentes adaptaciones neuromusculares, podría permitir una simplificación de la variedad de ejercicios de las diferentes tendinopatías con resultados iguales o superiores a la mejor evidencia actual. Este objetivo se enfoca en el cuarto artículo de la tesis doctoral, titulado “Effect of a common exercise programme with an individualised progression criterion based on the measurement of neuromuscular capacity versus current best practice for lower limb tendinopathies (MaLaGa trial): a protocol for a randomised clinical trial”.

1.12.2.4 Cuarto objetivo específico

El cuarto objetivo específico de esta tesis doctoral fue desarrollar una sistematización del ejercicio basada en la diferenciación de etapas con diferentes objetivos en función de las





diferentes adaptaciones del sistema neuromuscular. La hipótesis planteada fue que un programa de ejercicio terapéutico basado en el entrenamiento de diferentes adaptaciones neuromusculares podría permitir una simplificación de la variedad de ejercicios de las diferentes tendinopatías con resultados iguales o superiores a la mejor evidencia actual. Este objetivo se enfoca en el cuarto artículo de la tesis doctoral.

1.12.2.5 Quinto objetivo específico

El quinto objetivo específico de esta tesis doctoral fue desarrollar una metodología para la cuantificación de la intensidad de las cargas basada en tests específicos para cada uno de los aspectos del sistema neuromuscular trabajados. La hipótesis planteada fue que la individualización de los criterios de carga y progresión mediante el uso de tests específicos para cada uno de los aspectos del sistema neuromuscular podría permitir una simplificación de la variedad de ejercicios de las diferentes tendinopatías con resultados iguales o superiores a la mejor evidencia actual. Este objetivo se enfoca en el cuarto artículo de la tesis doctoral.

1.12.2.6 Sexto objetivo específico

El sexto objetivo específico de esta tesis doctoral fue diseñar un ensayo controlado aleatorizado que permita estudiar la efectividad del protocolo planteado para el cumplimiento del tercer objetivo específico de este trabajo.

Para lograr este objetivo se integró el protocolo de intervención, denominado “Protocolo MáLaGa”, en el brazo de intervención de un ensayo controlado aleatorizado frente a la mejor práctica actual, basada en el protocolo de Alfredson et al. (1998) en el tendón de Aquiles, el protocolo de Purdam et al. (2004) en el tendón rotuliano y el protocolo LEAP de Mellor et al. (2018) en la tendinopatía de glúteo medio. La hipótesis de estudio fue





que el diseño de un ensayo controlado aleatorizado permitiría demostrar la no inferioridad o superioridad del programa común de ejercicio frente a la mejor práctica actual de cada una de las localizaciones de tendinopatía estudiadas. Este objetivo se enfoca en el cuarto artículo de la tesis doctoral”.



**PRESENTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS INCLUIDOS
Y JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA**

2. PRESENTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS INCLUIDOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA

En la presente tesis doctoral se han desarrollado diversos estudios para el cumplimiento de los objetivos planteados, incluyendo una revisión de alcance, un protocolo de una revisión sistemática y la subsiguiente revisión sistemática y un protocolo de un ensayo controlado aleatorizado que incluye una propuesta de programa de ejercicio terapéutico para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea.

Las revisiones de alcance y sistemática, enfocadas en el análisis de los métodos de cuantificación de las cargas que actúan en el tendón durante los ejercicios y en los criterios de progresión en la carga en los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatía, respectivamente, han sido fundamentales para conocer, sintetizar y consolidar el conocimiento actual existente acerca de la aplicación de cargas en los programas de ejercicio terapéutico en esta población clínica.

La realización de la revisión sistemática se precedió de la publicación previa del protocolo, especificando los objetivos, métodos y resultados de interés principal de esta revisión. Mediante este procedimiento se trata de asegurar la transparencia de la metodología utilizada en la misma, limitando la existencia de sesgos de selección.

Por último, el conocimiento adquirido durante la realización de estos estudios y mediante el estudio en profundidad de la tendinopatía durante el periodo de realización de la tesis ha sido aunado junto con la experiencia clínica de los directores de la tesis y el doctorando para diseñar y plantear un nuevo programa de ejercicio terapéutico para tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea. Este nuevo programa, denominado “Protocolo MáLaGa”, ha sido integrado en uno de los brazos de intervención de un ensayo controlado aleatorizado para su comparación frente a la mejor práctica actual. El

protocolo de este ensayo controlado aleatorizado ha sido publicado e incluido como publicación en esta tesis doctoral.

En conjunto, estas cuatro publicaciones conforman una unidad temática alrededor del estudio de las cargas aplicadas en el tratamiento de las tendinopatías en fisioterapia.

2.1 Primer artículo: “Modelling and in vivo evaluation of tendon forces and strain in dynamic rehabilitation exercises: a scoping review”

2.1.1 Antecedentes y contexto del primer artículo

Como se ha descrito anteriormente en el apartado de introducción de esta tesis doctoral, la aplicación y la dosificación de cargas integradas en un programa de ejercicio terapéutico constituye una pieza fundamental en el abordaje de la tendinopatía. Sin embargo, y pese al desarrollo de teorías que apoyan la existencia de un rango de cargas tensiles óptimo (Pizzolato et al., 2019), ni en investigación ni especialmente en la práctica clínica es común el uso de herramientas para cuantificar las cargas aplicadas en el tratamiento.

Conceptos como la RM o el uso de la percepción de esfuerzo y fatiga hacen posible una parametrización de la dosis basada en la capacidad del paciente para realizar una actividad durante un número de repeticiones o un tiempo determinado. No obstante, la carga real absoluta que soporta el tendón es habitualmente desconocida.

Tanto en el abordaje terapéutico mediante ejercicio como en el diseño de estrategias de prevención, la cuantificación de las cargas aplicadas en los programas y soportadas por el tendón podría permitir un manejo más preciso de la patología.



En el análisis de las cargas que actúan sobre el tendón, pueden estudiarse parámetros como las fuerzas soportadas por el mismo o la deformación a la que se somete. Para ello, es relevante entender las diferencias entre estos conceptos físicos. Mientras que las fuerzas del tendón hacen referencia a la medida de la carga absoluta que actúa sobre el tendón, con el concepto de deformación se hace referencia a los cambios que experimenta el tendón en su forma con respecto a su estado de reposo.

En este sentido, es importante tener en cuenta que la deformación producida en el tendón difiere dependiendo de la fuerza que la produce. Los tendones están sujetos a fuerzas de compresión, tensiles o de cizalla en las actividades diarias (J. L. Cook & Purdam, 2012, 2009), y esto produce diferentes tipos de deformaciones. Entre los diferentes tipos es el estiramiento, es decir, la deformación producida mediante fuerzas tensiles o de tracción, la que según el conocimiento actual parece jugar un papel más determinante en la función tendinosa (Wang et al., 2012). Por lo tanto, la evaluación de las fuerzas tensiles y la deformación tendinosa en forma estiramiento son especialmente relevantes para el estudio de los programas de ejercicio (Huang et al., 2019).

Las fuerzas tensiles se han calculado previamente a través de estudios in vitro (Glos et al., 1993). In vivo, estas fuerzas se han estimado a través de cálculos indirectos basados en la posición de los segmentos corporales, las fuerzas de reacción articulares y modelos de dinámicas inversas (Dick et al., 2016; Dumas et al., 2019; Farris et al., 2012).

Con respecto a la deformación tensil, el uso de técnicas de imagen como la ecografía ha permitido medir de forma directa el estiramiento producido durante diferentes situaciones, incluyendo contracciones isométricas (Kongsgaard et al., 2006) pero también actividades como caminar (Franz et al., 2015; Joseph et al., 2016), correr (Farris et al., 2012; Lichtwark et al., 2007) y saltar (Lichtwark & Wilson, 2005). Sin embargo, este





tipo de técnicas cuenta con limitaciones que han afectado a su uso durante actividades dinámicas (Q. Zhang et al., 2021), incluyendo los ejercicios habitualmente utilizados en fisioterapia para el tratamiento de la tendinopatía.

Adicionalmente, existe un tercer parámetro utilizado para la cuantificación de las cargas soportadas por el tendón. Este parámetro, conocido como estrés, hace referencia a la carga soportada por unidad de área del tejido. Sin embargo, su uso tiene una gran limitación relacionada con la imposibilidad de medir directamente, de forma no invasiva, el estrés interno del tendón (Maganaris et al., 2017). El estrés se puede evaluar *in vitro* o estimar *in vivo* a partir de las fuerzas que actúan sobre el tendón con la ayuda de modelos biomecánicos (por ejemplo, dividiendo la estimación de la fuerza soportada por el tendón por el área de sección transversa del mismo [Gheidi et al., 2018; Kernozek et al., 2017; Revak et al., 2017]). Sin embargo, estos cálculos están sujetos a grandes errores debido a su dependencia de la precisión de algunas suposiciones sobre las propiedades mecánicas del tendón (Maganaris et al., 2017) y la información adicional que aportan frente a la estimación de fuerzas o estiramientos no es significativamente relevante.

Independientemente del parámetro utilizado para su evaluación, en la evaluación de cargas es importante tener en cuenta diversos factores que dificultan el estudio y que se han desarrollado en el primer artículo de esta tesis doctoral.

Algunos de los métodos analizados en revisiones previas, enfocadas en contracciones isométricas o actividades físicas cíclicas como correr, montar en bicicleta o caminar (Fleming & Beynnon, 2004; Q. Zhang et al., 2021), son adaptables al estudio de movimientos dinámicos. Sin embargo, las diferencias existentes entre estos tipos de ejercicio y las limitaciones encontradas obligan al estudio específico de estas técnicas. En este contexto, el objetivo de esta revisión de alcance fue revisar las técnicas que se han



aplicado in vivo para, directa e indirectamente, estimar las fuerzas y la tensión que actúan sobre el tendón en ejercicios dinámicos comúnmente utilizados durante los procesos de rehabilitación.

En el **Anexo 1.1** se describe de manera extensa la metodología utilizada en este artículo.

2.2 Segundo y tercer artículo: “Progression criteria in loading exercise programmes in lower limb tendinopathy: a protocol for a systematic review and meta-analysis” y “Load progression criteria in exercise programmes in lower limb tendinopathy: a systematic review”

2.2.1 Antecedentes y contexto del segundo y tercer artículo

La progresión en la carga es, junto con la individualización de la dosificación, uno de los aspectos clave de los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatía. En este sentido, aunque existe consenso sobre la necesidad de provocar un estímulo mecánico que desarrolle adaptaciones bioquímicas y mecánicas (Docking & Cook, 2019), el estudio de los programas tradicionalmente utilizados revela una elevada heterogeneidad en los métodos utilizados.

El conocimiento actual respalda la introducción de una carga progresiva que facilite la producción de cambios adaptativos, mejorando la capacidad funcional del tendón, evitando la inducción de cambios maladaptativos que puedan mermar la capacidad de esta estructura e iniciar un proceso patológico (J. L. Cook & Purdam, 2009; Sichtung et al., 2021; Wang et al., 2012). Sin embargo, no existe un consenso sobre los criterios adecuados para guiar esta progresión.



En el campo de la preparación física deportiva se han utilizado estrategias como la guía del 10%, que no recomienda un aumento semanal de la carga superior a un 10% con respecto a la semana previa, considerando que aumentos mayores podrían incrementar el riesgo lesional (Gabbett, 2016). Sin embargo, algunos estudios han sugerido que este porcentaje orientativo es heterogéneo y dependiente de la actividad realizada y de otros factores como el contexto y la experiencia en el entrenamiento, encontrando que porcentajes mayores pueden ser bien tolerados en algunos grupos poblacionales (Nielsen et al., 2013).

En el tratamiento de las tendinopatías, el dolor ha sido habitualmente utilizado como criterio primario para guiar la progresión y regresión en la carga, influenciado por la popularidad de programas tradicionales como el protocolo de excéntricos de Alfredson (Alfredson et al., 1998). Sin embargo, diferentes revisiones no han encontrado una superioridad en el uso de este protocolo frente a otras opciones, poniendo indirectamente en entredicho la conveniencia del criterio de progresión utilizado (Habets & van Cingel, 2015b; Malliaras et al., 2013).

En este contexto y, aunque se han realizado estudios comparando diferentes protocolos y metodologías, se identificó una ausencia de estudios que analizaran la evidencia con respecto a los criterios de progresión, haciendo necesario su estudio para una adecuada implementación en las nuevas propuestas desarrolladas en esta población clínica.

Considerando la gran heterogeneidad encontrada entre las diferentes localizaciones y la falta de evidencia en tendinopatías de miembros superiores, este análisis se focalizó en las tres localizaciones predominantes en las tendinopatías de miembros inferiores. Sin embargo, en este análisis se excluyó a la tendinopatía aquilea insercional por la elevada





heterogeneidad en su presentación y las aparentes diferencias con respecto a la afectación de la porción media (Cardoso et al., 2019).

Como parte de la preparación para el desarrollo de esta revisión sistemática, se publicó en una revista con impacto el protocolo de la propia revisión (segundo artículo). Mediante este procedimiento se persiguió cumplir con las recomendaciones en materia de investigación, buscando asegurar la transparencia de la metodología utilizada y limitando la posterior existencia de sesgos de selección. La metodología de la revisión completa, publicada de nuevo en una revista de impacto (tercer artículo), experimentó algunos cambios con respecto al protocolo previamente publicado. En primer lugar, la fecha de búsqueda inicialmente prevista (31 de agosto de 2019), fue ampliada durante el periodo de revisión hasta el 24 de septiembre de 2020, en un esfuerzo por mantener la actualización de la revisión a pesar de los largos tiempo de revisión por pares habitualmente presentes en la mayoría de las revistas científicas. En esta actualización, nuevos términos fueron incluidos en la cadena de búsqueda como respuesta a la sugerencia de los revisores externos. Adicionalmente, la previsión inicial de realizar uno o varios metaanálisis y la evaluación de la calidad de la evidencia mediante el sistema de calificación de la evaluación, el desarrollo y la evaluación de las recomendaciones (GRADE, por sus siglas en inglés) (Guyatt et al., 2008) no pudo ser satisfecha debido a la heterogeneidad encontrada entre los artículos incluidos.

De esta manera, el objetivo de esta revisión sistemática fue resumir y analizar la literatura actual sobre qué criterios de progresión se aplican en los programas de ejercicios de carga en tendinopatías de miembros inferiores, así como analizar su evidencia y efectividad.

En el **Anexo 1.2** se detalla la metodología utilizada en el tercer artículo.



2.3 Cuarto artículo: “Effect of a common exercise programme with an individualised progression criterion based on the measurement of neuromuscular capacity versus current best practice for lower limb tendinopathies (MaLaGa trial): a protocol for a randomised clinical trial”

2.3.1 Antecedentes y contexto del cuarto artículo

En el contexto expuesto en la introducción de esta tesis doctoral, se entiende como necesario el desarrollo de programas de ejercicio terapéutico individualizados que tengan en cuenta factores no considerados por los programas actuales. La evidencia científica y clínica apoya de manera robusta el uso del ejercicio terapéutico como tratamiento de primera línea en tendinopatías (Docking & Cook, 2019; Cardoso et al., 2019). Sin embargo, pese a los resultados positivos con este tipo de enfoques (Beyer et al., 2015; Mellor et al., 2018) algunos estudios describen que todavía un 10-58% de los pacientes (72% en el caso de localizaciones concretas como la tendinopatía insercional de Aquiles [Chimenti et al., 2017]) reportan no estar satisfechos con el resultado del tratamiento, con datos que no mejoran en el seguimiento a largo plazo (Kettunen et al., 2002; Silbernagel et al., 2011; van der Plas et al., 2012).

Estos datos pueden sugerir la importancia de incorporar otros enfoques al tratamiento multidisciplinar, pero, desde el punto de vista del ejercicio, pueden alimentar la teoría de la necesidad de incluir aspectos del entrenamiento que actualmente no se consideran en los programas. En este mismo sentido, se ha sugerido, incluso, que los beneficios encontrados mediante la aplicación de los programas de ejercicio, con diferencias



mínimas en la comparación de los resultados entre programas de ejercicio notablemente diferentes, podría indicar un aumento en la tolerancia a la carga y al ejercicio en general, pero sin resolver de manera efectiva algunos de los problemas fisiopatológicos o estructurales que se dan en la tendinopatía (Malliaras, 2017).

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, los programas actualmente más utilizados están centrados en el trabajo de una única etapa basada en el entrenamiento general de la fuerza, pese al consenso sobre la necesidad de trabajar diferentes características del sistema neuromuscular (alivio del dolor, aumento de la fuerza, aumento de la velocidad y ejercicios para el entrenamiento de la capacidad de almacenamiento de energía, y ejercicios específicos del deporte o actividad laboral) (Cardoso et al., 2019). Así, aunque incorporan una variedad menor o mayor de movimientos, estas intervenciones están generalmente diseñadas para el trabajo y activación de una musculatura concreta, pero no incluyen un trabajo individualizado de las necesidades del paciente. Adicionalmente, como se deduce de los resultados del segundo y tercer artículo de esta tesis doctoral, aunque la mayoría de los protocolos actuales incluye una progresión en la carga, parece existir un uso predominante de criterios de progresión basados en el dolor que, sin embargo, no está apoyado por la evidencia científica.

Se plantea la hipótesis de que, mediante una individualización objetiva de los criterios de determinación de la carga y su progresión, así como con la introducción de un entrenamiento por etapas, aplicando diferentes velocidades y cargas para el entrenamiento de diferentes características neuromusculares, se podría lograr una simplificación del número de ejercicios realizados en la tendinopatía aquilea, rotuliana y



glútea con resultados iguales o superiores en variables relacionadas con la función, el dolor o la calidad de vida.

Este artículo propone el diseño de un ensayo controlado aleatorizado, con tres brazos correspondientes a las tres tendinopatías estudiadas, cada uno de ellos con un grupo intervención (protocolo MáLaGa, de 14 semanas) y un grupo control (mejor práctica actual adaptada a la duración de 14 semanas del protocolo experimental: protocolo de excéntricos de Alfredson para tendinopatía aquilea [Alfredson et al., 1998]; adaptación del protocolo de Alfredson para tendinopatía rotuliana [Purdam et al., 2004] y protocolo LEAP para tendinopatía glútea [Mellor et al., 2018]).

De tal manera, el objetivo principal del estudio propuesto en este protocolo es comparar el efecto de un programa de ejercicio común para las tres tendinopatías predominantes de miembros inferiores (aquilea, rotuliana y glútea), basado en un control individualizado de la dosis y en el entrenamiento de aspectos específicos del sistema neuromuscular, frente a la mejor práctica actual en el tratamiento de cada una de las tendinopatías estudiadas. Los objetivos secundarios del estudio son: 1) Desarrollar una sistematización del ejercicio basada en la diferenciación de etapas con diferentes objetivos en función de las capacidades del sistema neuromuscular; 2) Desarrollar una metodología para la cuantificación de la intensidad de las cargas basada en tests de carga específicos para cada uno de los aspectos del sistema neuromuscular trabajado.

En el **Anexo 1.3** se desarrolla de manera extensa la metodología propuesta en el cuarto artículo.

RESULTADOS

3. RESULTADOS

La integración de los resultados de los cuatro artículos que conforman esta tesis doctoral permite aunar conocimientos en materia de cuantificación de cargas, la elección de criterios para la progresión de estas y la disponibilidad de una propuesta real basada en el conocimiento adquirido, la evidencia científica y la experiencia clínica profesional.

3.1 Resultados del primer artículo

En la revisión de alcance se incluyeron 21 estudios que analizaron los métodos y técnicas utilizados para la evaluación de cargas in vivo durante ejercicios dinámicos. En total, estos estudios incluyeron una muestra de 300 sujetos, de los cuales 202 eran personas sanas y los 98 restantes eran pacientes a la espera de cirugía abierta de liberación del túnel carpiano. Sin embargo, las coincidencias en las características de la muestra de tres de los estudios (Edsfeldt et al., 2015; Kursa et al., 2006; Nikanjam et al., 2007), junto con la concurrencia de la mayoría de los autores en los tres estudios, parecen indicar que los 12 sujetos incluidos en cada uno de estos tres estudios estaban conformados por el mismo grupo de participantes. El **Anexo 2.1** incluye una tabla con las características de los estudios incluidos y la descripción de las metodologías de evaluación utilizadas.

3.1.1 Metodologías de evaluación de cargas in vivo

Se identificaron diferentes metodologías de evaluación de las cargas, diferenciando especialmente aquellas enfocadas en la cuantificación de las fuerzas aplicadas y aquellas dirigidas a medir el estiramiento producido en el tendón. Entre las metodologías basadas en la cuantificación de las fuerzas destaca el uso de dinámicas inversas apoyadas en el uso de instrumentos de valoración cinética y cinemática, la aplicación de diferentes

modelos de transductores de fuerza y la introducción de sensores de fibra óptica. Por otro lado, entre las metodologías que evaluaron el estiramiento tendinoso como medida de deformación destaca el uso de diferentes procedimientos ecográficos.

La **Tabla 5** representa las diferentes técnicas de evaluación identificadas asociadas a la localización del tendón en el que fueron implementadas, así como las referencias de los estudios en los que se utilizaron. Los tendones evaluados fueron el tendón de Aquiles, el tendón rotuliano, el tendón cuadricipital y diferentes tendones de la mano. No se identificaron sistemas de evaluación utilizados en el tendón glúteo.

Tabla 5. *Métodos de evaluación de las fuerzas y estiramientos soportados por el tendón durante ejercicios dinámicos.*

Metodología de evaluación	Tendón	Referencias de los estudios
FUERZAS		
Dinámicas inversas	Aquiles	Baxter et al., 2021; Chaudhry et al., 2015; Gheidi et al., 2018; Rees et al., 2008; Reilly & Martens, 1972; Revak et al., 2017; Sinclair et al., 2015; Weinert-Aplin et al., 2015; Yeh et al., 2021
	Rotuliano	Earp et al., 2016; Frohm et al., 2007; Richards et al., 2016; Zellmer et al., 2019; Zwerver et al., 2007
Transductores de fuerza (transductor de fuerza de hebilla, transductor de fuerza con forma de s, célula de carga)	Mano	De hebilla (Edsfeldt et al., 2015; Kursá et al., 2006; Nikanjam et al., 2007) Con forma de S (Schuind et al., 1992) Célula de carga (Powell & Trail, 2004, 2009)
Sensores de fibra óptica	Rotuliano	Dillon et al., 2008
ESTIRAMIENTO		
Ecografía	Aquiles	Chaudhry et al., 2015; Rees et al., 2008; Revak et al., 2017
	Cuadricipital	Earp et al., 2016

3.1.1.1 Evaluación de las fuerzas soportadas por el tendón

3.1.1.1.1 *Dinámicas inversas*

Entre las metodologías utilizadas para la evaluación de las fuerzas soportadas por el tendón, destaca el uso de la evaluación indirecta mediante el uso de dinámicas inversas.

Catorce de los estudios incluidos en la revisión utilizaron este tipo de evaluación, nueve de ellos en el tendón de Aquiles y cinco en el tendón rotuliano.

Esta metodología se basa en el uso de ecuaciones que tienen en cuenta el par articular y los brazos de momento (distancia perpendicular entre la línea de acción de una fuerza y el eje de rotación), o en la integración de datos cinéticos y cinemáticos en modelos informáticos del sistema musculoesquelético. Entre los estudios incluidos, destacó el uso del modelo “Human Body Model”, utilizado en tres de los mismos (Gheidi et al., 2018; Revak et al., 2017; Zellmer et al., 2019), y los modelos “OpenSim” (Seth et al., 2018) y “FreeBody”, utilizados en un estudio cada uno de ellos (Cleather & Bull, 2015).

Generalmente, los datos cinemáticos fueron obtenidos a través de sistemas de captura de movimiento, mientras que los datos cinéticos se obtuvieron a través de plataformas de fuerza. Los sistemas de captura de movimiento utilizaron, habitualmente, marcadores reflectantes en diversas estructuras del individuo para permitir el seguimiento y posterior análisis del movimiento. En la **Figura 13** se muestra un ejemplo de configuración experimental para la evaluación de ejercicios realizados con peso libre y con un dispositivo de Bromsman. En las imágenes representadas, se puede observar la colocación de marcadores reflectantes que el sistema identifica e integra en el análisis.

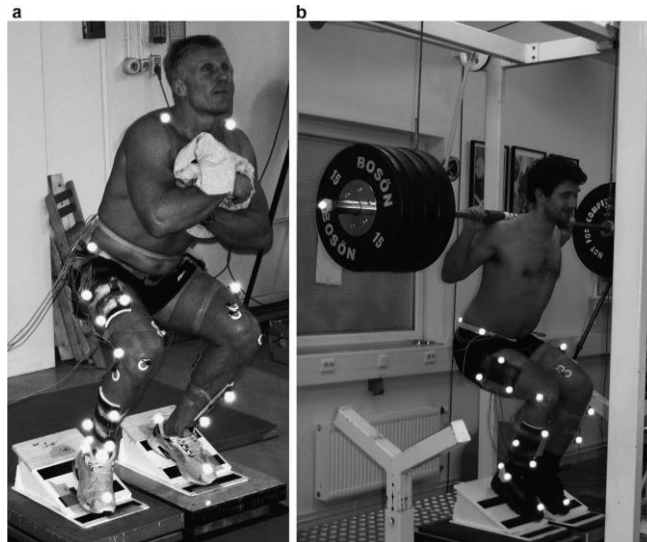


Figura 13. Ejemplo de colocación de marcadores reflectantes para la evaluación de fuerzas en configuraciones experimentales para (A) ejercicios de peso libre y (B) ejercicios en dispositivo de Brossman, ambos realizados sobre plano declinado. Figura de Frohm et al., 2007 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.

Los brazos de momento se calcularon de manera heterogénea entre los diferentes estudios. En algunos casos, se realizaron cálculos para obtener una estimación relativamente individualizada del brazo de momento de cada sujeto. De esta manera, algunos autores utilizaron procedimientos y ecuaciones previamente descritas para su estimación (Reilly & Martens, 1972; Richards et al., 2016; Sinclair et al., 2015; Zwerver et al., 2007) o estimaron estos brazos de momento en cada sujeto a través de medidas obtenidas mediante técnicas de imagen (Chaudhry et al., 2015; Yeh et al., 2021). Sin embargo, numerosos utilizaron brazos de momento genéricos basados en literatura previa (Baxter et al., 2021; Frohm et al., 2007).

El reporte de datos de algunos de los estudios no permitió la extracción adecuada de los valores de fuerzas en los ejercicios, obteniendo estos datos únicamente de una parte de los estudios. En el tendón rotuliano, los resultados disponibles se reportaron en Newtons (N), encontrando valores comprendidos entre los 2899 N y los 5683 N durante la

realización de diferentes modalidades del ejercicio de sentadilla (Frohm et al., 2007; Richards et al., 2016). En el tendón aquileo, los valores disponibles se normalizaron con respecto al peso corporal, encontrando las estimaciones más bajas en el ejercicio de elevación de talones en sedestación (0.41-0.5 veces el peso corporal) (Baxter et al., 2021; Yeh et al., 2021), mientras que se obtuvieron valores de fuerza de hasta 3-5.12 veces el peso corporal en el ejercicio de elevación y descenso de talones unilateral (Baxter et al., 2021; Gheidi et al., 2018; Weinert-Aplin et al., 2015; Yeh et al., 2021).

3.1.1.1.2 *Transductores de fuerza*

Seis de los estudios incluidos utilizaron transductores de fuerza para la evaluación de las fuerzas soportadas por el tendón. Como característica diferencial, todos estos estudios fueron desarrollados aprovechando cirugías abiertas de liberación del túnel carpiano. Durante las cirugías, utilizando anestesia local, se introdujeron en los pacientes tres tipos de transductores: transductores de fuerza de hebilla (Edsfeldt et al., 2015; Kursa et al., 2006; Nikanjam et al., 2007), transductores de fuerza con forma de S (Schuind et al., 1992) y células de carga (Powell & Trail, 2004, 2009).

Los transductores de hebilla utilizados consistieron en una versión modificada de un modelo previamente descrito (Dennerlein et al., 1997), conformados por un marco de acero inoxidable de 9 x 16 x 4.5 mm y un punto de apoyo removible, en el que se insertan cuatro galgas extensiométricas colocadas en lados opuestos del marco (Edsfeldt et al., 2015; Kursa et al., 2006; Nikanjam et al., 2007) (**Figura 14**). Para la evaluación, el tendón objetivo fue introducido a través de un arco semicircular del transductor que se deforma mediante los cambios en la forma del tendón (Edsfeldt et al., 2015; Kursa et al., 2006; Nikanjam et al., 2007). De manera similar, un estudio utilizó un transductor con forma de

S, consistente también de un marco de acero inoxidable y cuatro sensores de estiramiento adheridos en su parte central (Schuind et al., 1992). La célula de carga utilizada en dos de los estudios incluidos consistió en un dispositivo con tres varillas verticales en forma de gancho, la central de las cuales se conecta directamente al sensor de carga (Powell & Trail, 2004, 2009).

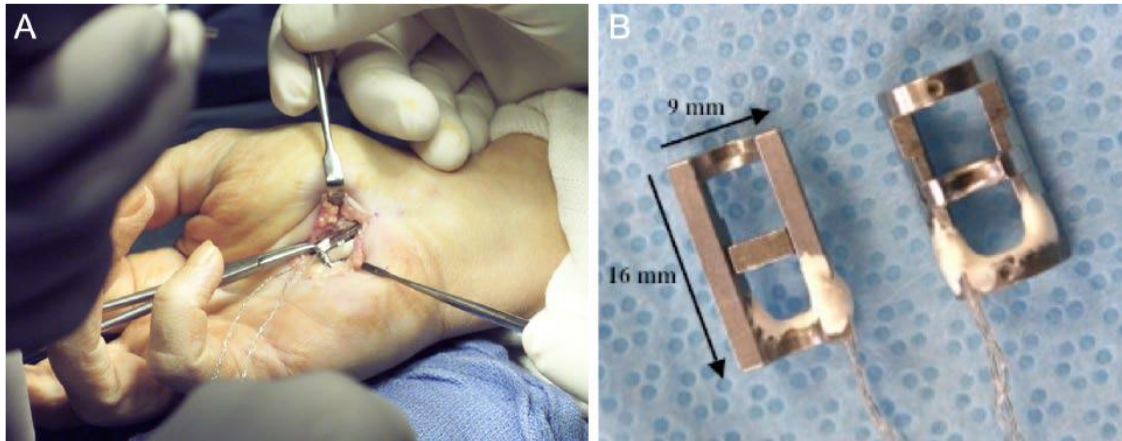


Figura 14. Transductor de fuerza de hebilla con marco y punto de apoyo removible. A) Imagen de la inserción del transductor: el tendón se introduce entre los arcos semicirculares y se apoya sobre el punto de apoyo. B) Forma y tamaño del transductor de fuerza con inserción de galga extensiométrica en su extremo. Figura de Edsfeldt et al., 2015 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.

Mediante los transductores de hebilla se analizó la flexión y extensión de los dedos de la mano en diferentes rangos articulares de la muñeca. De esta manera, se obtuvieron valores promedio de fuerza entre 1.3 N - 25.5 N para el flexor profundo de los dedos (rango entre -1.6 N y 74.7 N) y entre 1.3 N - 12.9 N (rango entre -2.0 N y 47.53 N) para el flexor superficial de los dedos (Edsfeldt et al., 2015; Kursá et al., 2006; Nikanjam et al., 2007). El transductor con forma de S registró las fuerzas generadas en diferentes movimientos de los dedos de la mano y la muñeca, obteniendo los mayores valores con la presa pulgar-índice (12.0 kgf, correspondientes a 117.7 N) (Schuind et al., 1992).



Finalmente, la célula de carga registró las fuerzas en diferentes ejercicios de flexión y extensión de los dedos, realizados con y sin resistencia externa, encontrando valores entre 1 N - 50 N, correspondiéndose el valor máximo con una flexión de los dedos resistida por un peso de 0.3 kg (Powell & Trail, 2004, 2009).

3.1.1.1.3 *Sensores de fibra óptica*

Uno de los estudios incluidos utilizó un sistema de fibra óptica para estimar las fuerzas soportadas por el tendón rotuliano durante ejercicios dinámicos (Dillon et al., 2008). El procedimiento consistió en la introducción, bajo anestesia local, de dos filamentos de fibra óptica de 0.5 mm de diámetro perpendicularmente al cuerpo del tendón (**Figura 15**). Estos dos filamentos se colocaron 1-2 mm por delante del borde posterior del tendón y 1-2 mm por detrás del borde anterior del tendón, respectivamente (Dillon et al., 2008). A través de la conexión de estos filamentos con una unidad transmisora-receptora, este sistema permitió cuantificar las fuerzas en la cara anterior y posterior del tendón a través de la deformación producida en cada una de las áreas, lo que a su vez produce cambios por compresión en el haz de luz emitido y recibido por la unidad. Este estudio no realizó una calibración para relacionar los voltajes obtenidos con valores de fuerza en N, por lo que únicamente se reportaron valores del diferencial de salida de la señal. Los valores registrados en la región anterior del tendón estuvieron entre 0.21 y 0.42 V, mientras que en la región posterior se obtuvieron valores entre 0.77 y 1.00 V. Así mismo, se estimó que los valores más altos de fuerza se produjeron durante el ejercicio de sentadilla unilateral (Dillon et al., 2008).



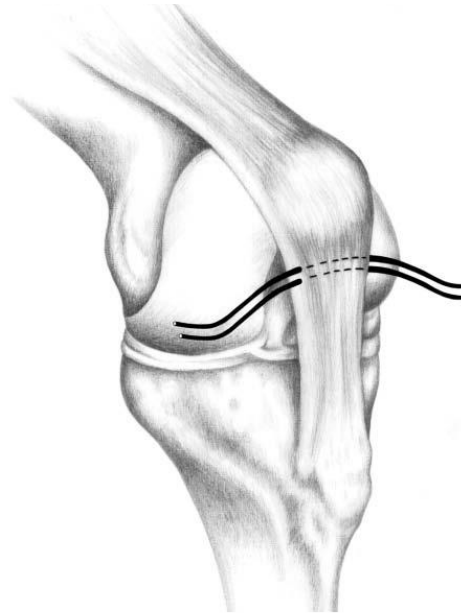


Figura 15. Ejemplo de colocación de los filamentos de fibra óptica para la medición de fuerzas en el tendón rotuliano. Figura de Dillon et al., 2008 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos.

3.1.1.2 Evaluación del estiramiento como medida de deformación por fuerzas de tensión

Cuatro estudios calcularon la deformación en forma de estiramiento experimentada por el tendón como medida de estimación de las cargas tensiles soportadas, tres de ellos en el tendón aquileo (Chaudhry et al., 2015; Rees et al., 2008; Revak et al., 2017) y uno en el tendón cuadriceps (Earp et al., 2016).

Sin embargo, aunque los cuatro estudios basaron su metodología en el uso de técnicas ecográficas, esta tuvo diferencias importantes entre los distintos estudios. Tanto el estudio de Rees et al. (2008) como el de Chaudhry et al. (2015) basaron este análisis en el cálculo de la longitud del tendón aquileo mediante ecografía, entendiendo esta como la distancia entre su origen en la unión miotendinosa del gastrocnemio medial y su inserción proximal. El estiramiento fue definido como la diferencia entre la longitud

instantánea del momento temporal analizado y la longitud inicial. Sin embargo, las metodologías utilizadas en ambos estudios fueron diferentes. En el primer caso, los autores determinaron la posición del origen e inserción en términos de coordenadas en las tres dimensiones, utilizando para ello sistemas de análisis de movimiento con marcadores activos que permitieron, a su vez, rastrear la posición durante el movimiento (Rees et al., 2008). Este sistema fue previamente descrito en la literatura por Lichtwark y Wilson (Lichtwark & Wilson, 2005). Diferentemente, Chaudhry et al. (2015) utilizaron un algoritmo mediante el que se creó un mapa de intensidad en las imágenes ecográficas. Este mapa de intensidad permitió señalar con una mayor intensidad las regiones anatómicas objetivo para la determinación del origen (unión miotendinosa) e inserción. A partir de este mapa, mediante los datos en dos dimensiones y el cálculo de la orientación angular, se estableció y rastreó la posición del origen e inserción tendinosos (Chaudhry et al., 2015).

Por su parte, los dos estudios restantes (Earp et al., 2016; Revak et al., 2017) utilizaron metodologías que incluían la evaluación de la longitud del estiramiento del tendón o de una porción del mismo, integradas en un análisis complejo con la integración de parámetros cinéticos y cinemáticos, entre otros.

Earp et al. (2016) estimaron el estiramiento producido en diversas variantes del ejercicio de sentadilla. Para ello, en cada variante se calculó el cambio de longitud de la unión miotendinosa de la porción distal del vasto lateral del cuádriceps (**Figura 16**) y se integró junto con datos cinéticos (plataforma de fuerzas), cinemáticos (sistema de captura de movimiento) y de actividad muscular mediante electromiografía de superficie (Earp et al., 2016).

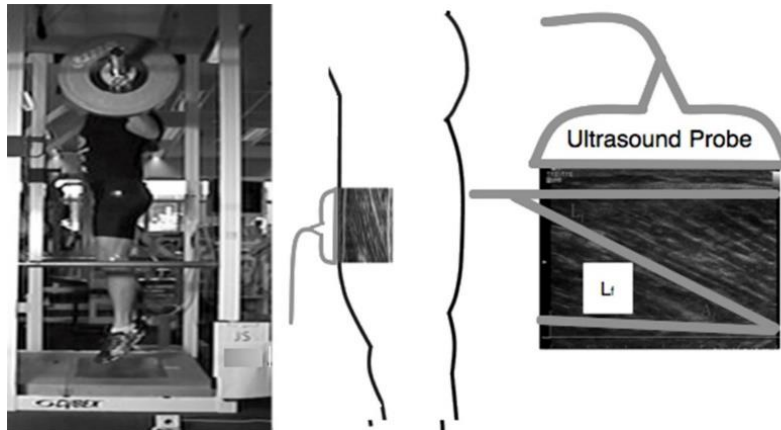


Figura 16. Ejemplo de diseño experimental que muestra cómo se midió y extrapoló la longitud del fascículo del vasto lateral del cuádriceps durante sentadilla con salto. Figura de Earp et al., 2016 reutilizada con permiso de los poseedores de los derechos. Traducción: ultrasound probe= sonda ecográfica.

De diferente manera, Revak et al. (2017) no utilizaron la ecografía para la medida directa del estiramiento tendinoso. Así, estos autores estimaron el estiramiento (como porcentaje) a través de diversos cálculos indirectos. Primero, estimaron el estrés sufrido por el tendón dividiendo las fuerzas tensiles (estimadas previa e indirectamente utilizando dinámicas inversas) entre el área de sección transversa de cada participante, medida obtenida mediante técnicas ecográficas (Revak et al., 2017). Una vez obtenido el estrés, estimaron el estiramiento tendinoso dividiendo el valor del estrés entre 819 N/mm², valor promedio del módulo de Young del tendón aquileo reportado en literatura previa (Wren et al., 2001).

Con respecto a los valores de estiramiento obtenidos, es posible extraer valores en ejercicios de elevación y descenso de talones analizados en tres de los cuatro estudios (Chaudhry et al., 2015; Rees et al., 2008; Revak et al., 2017). Rees et al. (2008) obtuvieron un promedio de los picos de estiramiento de 14.9 mm y 13.6 mm para las fases de elevación y descenso de talones, respectivamente. Chaudhry et al. (2015) registraron un

valor de picos de estiramiento promedio de 7 mm para la fase de elevación y de 8 mm para la fase de descenso. Por su parte, en el estudio de Revak et al. (2017), se analizaron diversos ejercicios dinámicos, obteniendo porcentajes de estiramiento entre 0.71% \pm 0.35, correspondiente al ejercicio de elevación y descenso de talones en sedestación, y 8.80% \pm 0.35, correspondiente al ejercicio de elevación y descenso de talones unilateral.

3.1.2 Ejercicios dinámicos analizados

En el conjunto de los estudios incluidos en la revisión se analizaron diferentes ejercicios dinámicos habitualmente utilizados en los procesos de recuperación. La **Tabla 6** muestra los ejercicios analizados, los tendones principalmente abordados con su realización y las referencias de los estudios que los estudiaron.

Tabla 6. Ejercicios analizados en los estudios incluidos.

Ejercicio	Tendón	Referencias
Variantes de ejercicio de elevación y descenso de talones	Aquiles	Baxter et al., 2021; Chaudhry et al., 2015; Gheidi et al., 2018; Revak et al., 2017; Rees et al., 2008; Weinert-Aplin et al., 2015; Yeh et al., 2021
Variantes de ejercicio de sentadilla	Rotuliano y cuadrípital	Baxter et al., 2021; Dillon et al., 2008; Earp et al., 2016; Frohm et al., 2007; Gheidi et al., 2018; Richards et al., 2016; Sinclair et al., 2015; Zwerver et al., 2007
Flexión y extensión de rodilla	Rotuliano	Dillon et al., 2008; Reilly & Martens, 1972
Zancada	MMII	Gheidi et al., 2018; Zellmer et al., 2019
Subida y bajada de escaleras	MMII	Baxter et al., 2021; Dillon et al., 2008; Reilly & Martens, 1972
Flexión y extensión de dedos y muñeca	Tendones de la mano	Edsfeldt et al., 2015; Kursá et al., 2006; Nikanjam et al., 2007; Powell & Trail, 2004, 2009; Schuind et al., 1992

MMII= miembros inferiores

3.2 Resultados del segundo y tercer artículo:

Los resultados del segundo y tercer artículo se abordan de manera conjunta por hacer referencia al protocolo de una revisión sistemática y a la versión completa de esta. En la mencionada revisión sistemática se incluyeron 30 estudios que utilizaron diversos criterios de progresión en programas de ejercicio terapéutico para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea. En total, estos estudios incluyeron una muestra de 1253 sujetos, de los cuales 709 tenían un diagnóstico de tendinopatía aquilea, 216 estaban afectados de tendinopatía rotuliana y 328 fueron incluidos por cursar con tendinopatía glútea.

3.2.1 Programas de ejercicio analizados

Los estudios incluidos no fueron diseñados con el objetivo de analizar los criterios de progresión, por lo que es importante tener en cuenta el tipo de ejercicio utilizado en los programas en los que estos fueron integrados, pudiendo ser un factor determinante en el análisis de su efectividad. La **Tabla 7** sintetiza el tipo de ejercicio y la fase de la contracción utilizada en los programas de ejercicio de los estudios incluidos. Hasta 25 estudios integraron en alguno de sus grupos un entrenamiento isotónico específico de la fase excéntrica, siendo la opción más utilizada junto con los ejercicios isotónicos utilizando ambas fases de la contracción (ocho estudios). En la tabla del **Anexo 3.1** se detallan las características de los programas de ejercicio implementados en los estudios incluidos.

Tabla 7. Tipo de ejercicio y fase de la contracción de los programas utilizados en los estudios incluidos.

Tipo de ejercicio	Fase de la contracción	Nº de estudios	Referencias
Isotónico	Concéntrica y excéntrica	8	Beyer et al., 2015; Clifford et al., 2019; Ganderton et al., 2018; Kongsgaard et al., 2009; Mellor et al., 2018b; Rio et al., 2017; Silbernagel et al., 2001; van Ark et al., 2016
Isotónico	Concéntrica aislada	4	Jonsson & Alfredson, 2005; Mafi et al., 2001; Niesen-Vertommen et al., 1992; Yu et al., 2013
Isotónico	Excéntrica aislada	25	Bahr et al., 2006; Beyer et al., 2015; Chester et al., 2008; Cunha et al., 2012; Frohm et al., 2007; Gatz et al., 2020; Horstmann et al., 2013; Jensen & Di Fabio, 1989; Jonsson & Alfredson, 2005; Kearney et al., 2013; Kongsgaard et al., 2009; Mafi et al., 2001; Niesen-Vertommen et al., 1992; Nørregaard et al., 2007; Petersen et al., 2007; Rompe et al., 2007; Silbernagel et al., 2001; Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2004; Stefansson et al., 2019; Stevens & Tan, 2014b; Visnes et al., 2005; Yelland et al., 2011; Young et al., 2005; Yu et al., 2013; B. Zhang et al., 2013
Isométrico aislado	-	3	Clifford et al., 2019; Rio et al., 2017; van Ark et al., 2016
Isotónico e isométrico		1	Gatz et al., 2020
Estiramiento aislado o combinado		2	Jensen & Di Fabio, 1989; Nørregaard et al., 2007

3.2.2 Criterios de progresión de la carga: propuesta para una nueva clasificación

El análisis de los criterios de progresión utilizados en los diferentes programas de ejercicio terapéutico reveló un uso mayoritario de un criterio basado en el aumento gradual de la carga, mediante la incorporación de peso adicional, cuando el dolor durante la ejecución de los ejercicios disminuye o desaparece. Por lo tanto, este criterio basa la



determinación de la carga en la necesidad de experimentar molestia o dolor durante la ejecución. Este criterio fue utilizado en, al menos, uno de los grupos de 20 de los 30 estudios incluidos (Bahr et al., 2006; Beyer et al., 2015; Chester et al., 2008; Cunha et al., 2012; Frohm et al., 2007; Jensen & Di Fabio, 1989; Kearney et al., 2013; Kongsgaard et al., 2009; Mafi et al., 2001; Nørregaard et al., 2007; Petersen et al., 2007; Rompe et al., 2007; Roos et al., 2004; Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2004; Stefansson et al., 2019; Stevens & Tan, 2014; Visnes et al., 2005; Yelland et al., 2011; Young et al., 2005; B. Zhang et al., 2013). Otro criterio ampliamente utilizado fue la introducción de etapas de acondicionamiento físico predefinidas (Beyer et al., 2015; Ganderton et al., 2018; Jensen & Di Fabio, 1989; Kongsgaard et al., 2009; Mafi et al., 2001; Mellor et al., 2018; Silbernagel et al., 2001; Yu et al., 2013). Este criterio planifica previamente al inicio del programa una progresión en volumen, complejidad de los ejercicios o intensidad a través de la designación de valores de intensidad relativa que son gradualmente incrementados con el avance de las semanas. Este criterio tiene en cuenta el dolor y otros síntomas, pero únicamente como criterio de seguridad, no suponiendo un cambio en la determinación o progresión de la carga a menos que se superen unos límites previamente determinados. La tabla del **Anexo 3.2** describe los criterios de progresión utilizados en cada uno de los grupos de estudio.

3.2.2.1 Propuesta de clasificación de los criterios de progresión

El análisis e integración de los criterios de progresión permitió el desarrollo de la propuesta de una nueva clasificación. Así, los criterios de progresión identificados fueron agrupados en seis grupos correspondientes a dos categorías: 1) uso del dolor como criterio principal de progresión y 2) control del dolor y los síntomas hasta cierto límite,



pero progresión marcada por otro criterio principal. Las características básicas de los diferentes grupos de criterios se describen en la **Figura 17**.

CRITERIOS BASADOS EN EL DOLOR Dolor como criterio principal	DOLOR y control de síntomas como CRITERIO SECUNDARIO aunque el dolor es controlado y únicamente permitido hasta cierto límite, la progresión se marca por OTROS CRITERIOS PRINCIPALES
<p>1 Basado en provocación de dolor: la carga es gradualmente incrementada utilizando peso adicional cuando el dolor disminuye, con el objetivo de mantener una molestia o dolor durante el ejercicio</p>  <p>Basado en evitar dolor: ejercicios realizados evitando provocar dolor</p> <p>2</p>	<p>3 Etapas de acondicionamiento: etapas predefinidas previamente al inicio del programa, basadas en el incremento del porcentaje de repeticiones máximas (RM) o en un incremento en la complejidad de los ejercicios</p> <p>Basado en la fatiga: realización de series o repeticiones adicionales si no hay presencia de signos de fatiga tras las primeras series. Si no es suficiente para producir fatiga, se añade peso adicional gradualmente</p> <p>4 RM</p> <p>5 Percepción Subjetiva: incremento arbitrario acorde a la percepción subjetiva de paciente y terapeuta de las habilidades del paciente</p> <p>6 Incremento lineal temporal: un incremento lineal a lo largo del tiempo (p.e.: 2.5% cada semana)</p>   

Figura 17. Nueva propuesta de clasificación de los criterios de progresión en la carga en programas de ejercicio en tendinopatías de miembro inferior. Fuente: elaboración propia.

3.2.3 Análisis de la efectividad de los criterios utilizados

El análisis de la efectividad de los criterios se realizó a través de la comparación de los tamaños del efecto (d de Cohen) y los porcentajes de cambio de los grupos donde se implementó frente a sus grupos control. Este análisis se implementó en variables clínicas y de función o rendimiento, siendo estos dos constructos básicos en la valoración y seguimiento de la tendinopatía.

3.2.3.1 Variables clínicas

Todos los estudios analizaron, al menos, una variable clínica. La variable clínica más evaluada fue el cuestionario VISA (VISA-A, VISA-P, or VISA-G), analizada en 17 de los 30 estudios. El dolor, mediante una EVA (14 estudios) o una escala numérica (un estudio) o mediante preguntas aisladas sobre toma de medicación analgésica (un estudio) fue una

variable también ampliamente utilizada. Otras variables utilizadas fueron la percepción global de cambio, la herramienta *Foot and Ankle Outcome Score* (FAOS) el instrumento *Hip dysfunction and Osteoarthritis Outcome Score* (HOOS), la herramienta Oxford Hip Score (OHS), el cuestionario Lateral Hip Pain o preguntas diseñadas a propósito para el estudio acerca del dolor. La **Tabla 8** muestra el tamaño del efecto (d de Cohen) y el nivel de significación de la comparación inter-grupos, así como el porcentaje de cambio en cada grupo, de las principales variables clínicas.

Tabla 8. *D de Cohen, porcentaje de cambio y nivel de significación (comparación inter-grupos) de las principales variables clínicas. Tabla de Escriche-Escuder et al., 2020 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.*

Estudio	Resultados				
	Variable clínica	Tiempo (semanas)	D de Cohen (variable principal)	% de cambio	p
TENDINOPATÍA AQUÍLEA					
Gatz et al. (2020)	VISA-A	12	BED, PS (EXC+ISOM) – BED, PS (EXC): 0.06	22.97% BED, PS (EXC+ISOM) – 20.49% BED, PS (EXC)	>0.05
Stefansson et al. (2019)	VISA-A-IS	24	N/D	BPD (EXC) – Masaje: N/D	Masaje - BPD (EXC): >0.05
Beyer et al. (2015)	VISA-A	52	EA (HSR) – BPD (EXC): 1.66	62.96% EA (HSR) – 46.55% BPD (EXC)	HSR - EXC: >0.05
Stevens & Tan (2014)	VISA-A	6	(BPD) EXC Según tolerancia – EXC Estándar 0.42	32.69% Según tolerancia – 18.34% Estándar	>0.05
Kearney et al. (2013)	VISA-A	26	BPD (EXC) – PRP: - 0.55	58.33% EXC – 85.36% PRP	>0.05
Yu et al. (2013)	EVA	8	EA (EXC) – EA (CONC): 1.74	-62.23% EA (EXC) – -43.00% EA (CONC)	<0.05*

Zhang et al. (2013)	VISA-A	24	BPD (EXC) – Acupuntura: 1.40	64.14% acupuntura – EXC 36.24%	<0.05*
Horstmann et al. (2013)	Dolor (EVA: palpación)	12	BF (EXC) – E&V: 0.89; BF (EXC) – Vibración: 0.27	-67.24% BF (EXC); -51.44% Vibración; -27.95% E&V	<0.05*
Yelland et al. (2011)	VISA-A	52	BPD (EXC) – Proloterapia: -0.09	N/D	>0.05
Chester et al. (2008)	Dolor (EVA: reposo)	12	BPD (EXC) – US: - 0.05	4.00% BPD (EXC) – 7.01% US:	>0.05
Petersen et al. (2007)	Dolor (EVA: AVDs)	54	N/D	30% BPD (EXC) - 27% Férula	<0.05*
Rompe et al. (2007)	VISA-A	16	BPD (EXC) – TOC: 0.28; EXC – E&V: 1.13	49.40% BPD (EXC) – 39.96% TOC – 14.10% E&V	EXC - TOC: >0.05 EXC - E&V: <0.05
Nørregaard et al. (2007)	Dolor (palpación)	39	BPD (EXC) – Estiramientos: 0.00	N/D	>0.05
Roos et al. (2004)	Dolor (FAOS)	52	BPD (EXC) – Férula: 0.22	43,33% BPD (EXC) – 36,06% Férula	>0.05
Mafi et al. (2001)	Dolor (EVA: corriendo/caminando)	12	N/D	BPD (EXC) – EA (CONC): N/D	N/D
Silbernagel et al. (2001)	Dolor (EVA: palpación)	26	EA, PS (EXC+CONC) – PS (EXC): 0.42	-57.14% EA, PS (EXC+CONC) - -66.67% PS (EXC)	>0.05
Niesen-Vertommen et al. (1992)	Dolor (EN)	12	N/D	-78.33% BED (EXC) – -46.15% BED (CONC)	N/D
TENDINOPATÍA ROTULIANA					
Rio et al. (2017)	Dolor (EN: sentadilla unilateral)	4	ILT (ISOM) – ILT (ISOT): 2.75	N/D	<0.05*



van Ark et al. (2016)	Dolor (EN: sentadilla unilateral)	4	N/D	63,63% ILT (ISOT) – 36,50% ILT (ISOM)	>0.05
Da Cunha et al. (2012)	VISA-P	12	N/D	BPD (Plano declinado EXC) – BED (Plano declinado EXC) N/D	>0.05
Kongsgaard et al. (2009)	VISA-P	26	N/D	65±71% EA (HSR) – 54±57% BPD (EXC) – 13±33% CORT	HSR - EXC: >0.05 HSR - CORT: <0.05* EXC - CORT: <0.05*
Frohm et al. (2007)	VISA-P	12	N/D	108.33% BPD (EXC en plano declinado) – 78.72% BPD (EXC en aparato de sobrecarga)	>0.05
Bahr et al. (2006)	VISA-P	52	BPD (EXC en plano declinado) – Cirugía: -0.2	127.04% BPD (EXC en plano declinado) – 136.13% Cirugía	>0.05
Visnes et al. (2005)	VISA-P	40	N/D	BPD (EXC en plano declinado) – Entrenamiento habitual: N/D	EXC VS Entrenamiento habitual: >0.05
Young et al. (2005)	VISA-P	52	N/D	BPD (EXC) – BPD (EXC): N/D	>0.05
Jonsson & Alfredson (2005)	VISA-P	12	BPD (Plano declinado EXC) – BPD (Plano declinado CONC): 2.08	102.4% BPD (Plano declinado EXC) – -5.65% BPD (Plano declinado CONC):	N/D
Stasinopoulos &	Estado del dolor	16	N/D	BPD (EXC) – Fricción Transversa – US: N/D	EXC VS FT: <0.05*



Stasinopoulos (2004)					EXC VS US: <0.05*
Jensen & Di Fabio (1989)	Escala de dolor	8	N/D	N/D	N/D
TENDINOPATÍA GLÚTEA					
Clifford et al. (2019)	VISA-G	12	PS (ISOT) – PS (ISOM): 0.005	16.96% PS (ISOT) – 19.04% PS (ISOM)	>0.05
Mellor et al. (2018)	VISA-G	52	EA (Ejercicio + Edu.) - Corticosteroides: 0.58; EA (Ejercicio + Edu.) - E&V: 0.61	39.36% EA (Edu. + ejercicio) - 20.86% Corticosteroides - 19.39% E&V	>0.05
Ganderton et al. (2018)	VISA-G	52	N/D	23,38% EA, PS (GLOBE) - 31,04% Placebo	>0.05

*Diferencias significativas inter-grupos; AVDs= Actividades de la Vida Diaria; BED= Basado en Evitar el Dolor; CONC= Ejercicio concéntrico aislado; CORT= Inyecciones de corticosteroides; EA= Etapas de Acondicionamiento Físico; EN= Escala Numérica; E&V= Esperar y ver; EXC= Ejercicio excéntrico aislado; Edu.= Educación; BPD= Basado en la Provocación de Dolor; FAOS= Foot and Ankle Outcome Score; BF= Basado en la Fatiga; HSR= Protocolo "Heavy slow resistance"; N/D= No disponible; p= Nivel de significación; PRP= Plasma Rico en Plaquetas; PS= Percepción Subjetiva; TOC= Terapia de Ondas de Choque; FT= Fricción Transversa; ILT= Incremento Lineal Temporal; ISOM= isométrico; ISOT= isotónico; US= Ultrasonidos terapéuticos; EVA= Escala Visual Analógica; VISA-A= Cuestionario Victorian Institute of Sport Assessment para tendón de Aquiles; VISA-P= Cuestionario Victorian Institute of Sport Assessment para tendón rotuliano; VISA-G= Cuestionario Victorian Institute of Sport Assessment para tendinopatía glútea.

3.2.3.2 Variables de función y rendimiento

Únicamente en diez de los 30 estudios incluidos se analizaron variables de función y rendimiento. Las variables que fueron analizadas en un mayor número de estudios fueron la fuerza mediante dinamómetro isocinético (Frohm et al., 2007; Horstmann et al., 2013; Jensen & Di Fabio, 1989; Niesen-Vertommen et al., 1992; Yu et al., 2013) y la capacidad de salto mediante el test de salto contramovimiento (Bahr et al., 2006; Silbernagel et al., 2001; Visnes et al., 2005; Yu et al., 2013). Otras variables analizadas fueron el rango articular de movimiento del tobillo (Silbernagel et al., 2001; Stefansson

et al., 2019) y el par de abducción de cadera (Mellor et al., 2018). La **Tabla 9** muestra el tamaño del efecto (d de Cohen), el nivel de significación de la comparación inter-grupos y el porcentaje de cambio en cada grupo de las principales variables de función y rendimiento.

Tabla 9. D de Cohen, porcentaje de cambio y nivel de significación (comparación inter-grupos) de las principales variables de rendimiento. Tabla de Escriche-Escuder et al., 2020 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.

Estudio	Variable principal de rendimiento	Tiempo (semanas)	D de Cohen	% de cambio	p
TENDINOPATÍA AQUÍLEA					
Stefansson et al. (2019)	Rango de movimiento de la dorsiflexión del tobillo (rodilla flexionada y extendida)	24	Rodilla flexionada: BPD (EXC)- Masaje de presión: 0.07 Rodilla extendida: BPD (EXC)-Masaje de presión: -0.17	Rodilla flexionada: 6.68% BPD (EXC) – 5.45% Masaje Rodilla extendida: 2.04% BPD (EXC) – 4.87% Masaje	>0.05 >0.05
Yu et al. (2013)	Par de dorsiflexión isocinética concéntrica del tobillo (30°/seg)	8	EA (EXC)-EA (CONC): 0.06	20.77% EA (EXC) – 19.36% EA (CONC)	>0.05
Horstmann et al. (2013)	Par de dorsiflexión isocinética concéntrica del tobillo (60°/sec)	12	N/D	BF (EXC) – Vibración – Esperar y ver: N/D	>0.05
Silbernagel et al. (2001)	Prueba de salto contramovimiento (unilateral)	26	EA, PS (EXC+CONC) – PS (EXC): 0.28	30.77% EA, PS (EXC+CONC) – 13.33% PS (EXC)	>0.05
Niesen-Vertomen et al. (1992)	Torque de flexión plantar isocinético concéntrico y	12	N/D	N/D	N/D

excéntrico del tobillo (30°/sec, 50°/sec)						
TENDINOPATÍA ROTULIANA						
Frohm et al. (2007)	Par de extensión de rodilla isocinético concéntrico (90°/sec)	12	BPD (EXC en plano declinado) – BPD (EXC en aparato de sobrecarga): 0.05	3.55% BPD (EXC en plano declinado) – 0.92% BPD (EXC en aparato de sobrecarga)	>0.05	
Bahr et al. (2006)	Prueba de salto contramovimiento (bilateral)	52	N/D	BPD (EXC en plano declinado) – Cirugía: N/D	>0.05	
Visnes et al. (2005)	Prueba de salto contramovimiento (bilateral)	40	N/D	BPD (EXC en plano declinado) – Entrenamiento habitual: N/D	>0.05	
Jensen & Di Fabio (1989)	Par de extensión de rodilla isocinético excéntrico y concéntrico (50°/sec)	8	EA (EXC isocinético) + Estiramientos estáticos – Estiramientos estáticos: 0.54	35.90% EA (EXC isocinético) + Estiramientos estáticos – 14.63% Estiramientos estáticos	>0.05	
TENDINOPATÍA GLÚTEA						
Mellor et al. (2018)	Par del músculo glúteo	8	EA (Edu. + ejercicio) – Corticosteroides: 0 EA (Edu. + ejercicio) – Esperar y ver: 0	12.5% EA (Educación + ejercicio) – 12.5% Corticosteroides – 12.5% Esperar y ver	>0.05	

*Diferencias significativas inter-grupos; BED= Basado en la Evitación de Dolor; EA= Etapas de Acondicionamiento físico; CONC= Entrenamiento concéntrico aislado; ECC= Entrenamiento excéntrico; edu.= education; BPD= Basado en la Provocación de Dolor; BF= Basado en la fatiga; N/D= no disponible; p= nivel de significación; PS= Percepción Subjetiva

3.2.4 Análisis de la calidad metodológica

El análisis de la calidad metodológica, realizado utilizando la escala PEDro (Maher et al., 2003), reportó una buena, aceptable y baja calidad en 12, 14 y seis de los estudios,

respectivamente. El análisis pormenorizado del porcentaje de cumplimiento de cada uno de los ítems de la escala reveló diferencias importantes entre los diferentes elementos analizados. Así, el análisis evidenció una buena puntuación de los ítems referentes a la asignación aleatoria y oculta, las comparaciones estadísticas inter-grupos y las medidas puntuales y los datos de variabilidad (ítems 2, 3, 10 y 11), con un rango de cumplimiento entre el 83.9% y el 100%. Los ítems referentes a la similitud entre los grupos al inicio del estudio, el cegamiento de los evaluadores, el número de abandonos y el análisis por intención de tratar (ítems 4, 7, 8 y 9) presentaron porcentajes de cumplimiento aceptables y bajos (entre el 38.7% y el 64.5%). Por último, los ítems 5 y 6, referentes al cegamiento de los participantes y de los terapeutas, mostraron un nivel de cumplimiento muy bajo, con un 0% y 3.2%, respectivamente. La puntuación de cada ítem y la puntuación total de cada estudio, así como los valores globales de cumplimiento, se muestran en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Resultados del análisis de la calidad metodológica mediante la escala PEDro.

Autor y año	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
TENDINOPATÍA AQUÍLEA											
Rompe et al. (2007)	•	•	•	-	-	•	•	•	•	•	8
Yu et al. (2013)	•	•	•	-	-	•	•	•	•	•	8
Yelland et al. (2011)	•	•	-	-	-	•	•	•	•	•	7
Horstmann et al. (2013)	•	•	•	-	-	•	•	-	•	•	7
Stevens & Tan (2014)	•	•	•	-	-	•	-	•	•	•	7
Stefansson et al. (2019)	•	•	•	-	-	•	•	-	•	•	7
Roos et al. (2004)	•	•	•	-	-	-	-	•	•	•	6
Kearney et al. (2013)	•	•	-	-	-	-	•	•	•	•	6
Zhang et al. (2013)	•	•	•	-	-	-	•	-	•	•	6
Beyer et al. (2015)	•	•	•	-	-	-	-	•	•	•	6
Mafi et al. (2001)	•	•	-	-	-	-	•	-	•	•	5

Silbernagel et al. (2001)	•	-	•	-	-	•	-	-	•	•	5
Petersen et al. (2007)	•	-	•	-	-	-	•	-	•	•	5
Gatz et al. (2020)	•	•	•	-	-	-	-	-	•	•	5
Nørregaard et al. (2007)	•	•	-	-	-	-	-	-	•	•	4
Chester et al. (2008)	•	•	-	-	-	-	-	-	•	•	4
TENDINOPATÍA ROTULIANA											
Stasinopoulos & Stasinopoulos (2004)	•	•	-	-	-	•	•	•	•	•	7
Visnes et al. (2005)	•	•	•	-	-	-	•	•	•	•	7
Bahr et al. (2006)	•	•	•	-	-	-	•	•	•	•	7
Kongsgaard et al. (2009)	•	•	•	-	-	•	•	-	•	•	7
Young et al. (2005)	•	•	-	-	-	•	•	-	•	•	6
Frohman et al. (2007)	•	•	•	-	-	-	•	-	•	•	6
Da Cunha et al. (2012)	•	•	•	-	-	-	•	-	•	•	6
Rio et al. (2017)	•	•	•	-	-	-	-	•	•	•	6
van Ark et al. (2016)	•	•	•	-	-	-	-	-	•	•	5
Jensen & Di Fabio (1989)	•	-	-	-	-	-	•	-	•	•	4
Jonsson & Alfredson (2005)	•	-	-	-	-	-	-	-	•	•	3
TENDINOPATÍA GLÚTEA											
Mellor et al. (2018)	•	•	•	-	-	•	•	•	•	•	8
Ganderton et al. (2018)	•	•	-	•	-	•	•	•	•	•	8
Clifford et al. (2019)	•	•	•	-	-	-	-	-	•	•	5
% DE CUMPLIMIENTO	100	83.9	64.5	3.2	0	38.7	61.3	41.9	100	100	

•: Sí; -: no. 2: Asignación aleatoria; 3: Asignación oculta; 4: Similitud de los grupos al inicio; 5: Cegamiento de los sujetos; 6: Cegamiento de los terapeutas; 7: Cegamiento de los evaluadores; 8: Porcentaje de abandonos <15%; 9: Análisis por intención de tratar; 10: Comparaciones estadísticas entre grupos; 11: Medidas puntuales y de variabilidad.

3.3 Resultados del cuarto artículo

A pesar de ser un artículo correspondiente a un protocolo de un ensayo controlado aleatorizado y, por lo tanto, sin resultados de la intervención propuesta, este artículo realiza una aportación interesante en el espectro de las intervenciones mediante ejercicio en tres de las tendinopatías con mayor incidencia de los miembros inferiores.



En los próximos apartados se describe con detalle el protocolo de intervención propuesto, así como su justificación.

3.3.1 Características generales del Protocolo MáLaGa

El protocolo propuesto (protocolo MáLaGa) consiste en un programa de entrenamiento común para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea. Este programa busca simplificar la variedad de movimientos de los programas existentes manteniendo o aumentando su efectividad. Este objetivo se persigue a través de un trabajo por etapas de diferentes adaptaciones neuromusculares esenciales para un funcionamiento adecuado del tendón. El protocolo integra 14 semanas con una frecuencia de cinco sesiones semanales. Del total de 70 sesiones, 28 de las mismas se corresponden con dos sesiones semanales de trabajo aeróbico, pudiendo realizarse de manera supervisada o no supervisada. Las 42 sesiones restantes hacen referencia al entrenamiento neuromuscular por etapas propiamente dicho, realizado con una frecuencia de tres sesiones por semana. Estas 42 sesiones están planteadas para poder dividirse en 15 sesiones totalmente supervisadas y 27 sesiones supervisadas o semisupervisadas, dependiendo de las características de cada contexto clínico, facilitando así su implementación y aplicabilidad. El entrenamiento neuromuscular por etapas consiste en cinco etapas de entre dos y cuatro semanas (isométricos, dos semanas; fuerza general, cuatro semanas; fuerza con altas cargas, cuatro semanas; fuerza-velocidad, dos semanas; y fuerza explosiva mediante saltos y entrenamiento pliométrico, dos semanas), con un trabajo enfocado en diferentes adaptaciones neuromusculares (**Figura 18**).





Figura 18. Cuadro resumen de las características del Protocolo MáLaGa. ISOM= isométricos;

A.E.= almacenamiento de energía. Fuente: elaboración propia.

3.3.2 Entrenamiento neuromuscular por etapas

El programa de entrenamiento neuromuscular consta de cinco etapas, con una duración de entre dos y cuatro semanas. La frecuencia de este entrenamiento es de tres sesiones semanales. Durante las primeras cuatro etapas, estos ejercicios se basan en cuatro variantes del ejercicio de sentadilla en prensa de piernas. Posteriormente, en la Etapa 5, se desarrolla un trabajo de fuerza explosiva mediante saltos y un trabajo pliométrico enfocado en la capacidad de almacenamiento de energía del tendón. En los siguientes apartados se detallan aspectos principales del entrenamiento neuromuscular por etapas.

3.3.2.1 Movimientos

Las primeras cuatro etapas del entrenamiento neuromuscular incluyen la realización de cuatro movimientos, realizados de manera que en cada una de las sesiones se trabajan dos de ellos, alternativamente. Estos movimientos son cuatro versiones del ejercicio de sentadilla en la prensa de piernas. En cada una de las variantes, se modifica la posición

de los pies, con una anchura, una posición adelantada de uno u otro pie o unos grados de rotación externa tibial diferentes (**Figura 19**). Entre la variedad de movimientos disponibles, la elección de estas cuatro variantes responde a un objetivo de búsqueda de una mayor variabilidad en un movimiento comúnmente utilizado como es la triple extensión (extensión de cadera, rodilla y tobillo), en este caso a través del ejercicio de la sentadilla en la prensa de piernas. Este ejercicio se ha utilizado previamente en protocolos de tendinopatía rotuliana (Kongsgaard et al., 2009), pero se sugiere la hipótesis de que este movimiento de triple extensión podría ser beneficioso para la función de los tres tendones estudiados por su relación con un elevado número de actividades de la vida diaria.

De esta manera, durante las cuatro primeras etapas, estos movimientos se trabajan con una velocidad, un número de series y repeticiones, una intensidad y una carga específicos para producir las adaptaciones neuromusculares deseadas en cada caso.



Figura 19. Imagen representativa de la posición de los pies en las cuatro variantes del movimiento en la prensa de piernas. A) Pies separados con el ancho de los hombros; B) pie izquierdo adelantado; C) pie derecho adelantado; D) pies separados con rotación tibial externa de 45°. Fuente: elaboración propia.

3.3.2.2 Individualización de la carga

Uno de los aspectos clave del programa de ejercicio propuesto es la individualización de la carga basada en la capacidad neuromuscular de cada paciente. Para lograr esta individualización se proponen tests específicos para cada una de las etapas. Estos tests se reproducen para cada una de las cuatro variantes del movimiento, en el caso de las cuatro primeras etapas, y para cada una de las modalidades de salto, en el caso de la Etapa 5.

En general, los tests de carga están diseñados para calcular la carga necesaria para la aparición de fasciculaciones (Etapa 1), para la incapacidad de continuar moviendo la carga tras un tiempo determinado (Etapas 2 y 4), para obtener una pérdida de velocidad del 20% (Etapa 3) en un tiempo específico, y para calcular la altura máxima que se puede alcanzar y mantener en saltos verticales repetidos durante un tiempo determinado (Etapa 5) (**Figura 20**). Los tests están basados en el uso de tres intentos mediante los que, para encontrar el valor (carga o altura) objetivo, inicialmente se selecciona y testa un valor que se estima inferior al valor perseguido, seguidamente se selecciona y testa un valor que se estima superior al perseguido y, finalmente, si el proceso se desarrolla con éxito, se selecciona un tercer valor, entre los dos primeros, que debe de acercarse de manera más o menos precisa al valor objetivo. El procedimiento de cada uno de los tests se detalla en los siguientes apartados, en el contexto de la descripción de cada una de las etapas.



Figura 20. Cuadro resumen de la metodología utilizada para la individualización de la carga. ISOM= Isométricos; A.E.= Almacenamiento de energía; P/= Para; MÍN= Mínimo; Tº= Tiempo; DJ= “Drop Jump” o salto con caída; REP= Repetidos.

El resultado de los tests es utilizado para la elección de un tiempo, altura o carga inferior al calculado en la prueba. Este hecho, unido a la planificación de un número elevado de series, permite un trabajo diferenciado en la primera serie, centrada en la acumulación de volumen, con respecto a los efectos producidos en la última serie, donde debido a la fatiga neuromuscular se alcanza un límite en la ejecución similar al obtenido en el propio test.

3.3.2.3 Progresión en la carga

La progresión en el entrenamiento neuromuscular está basada en el empleo de etapas de acondicionamiento físico predefinidas en las que se propone un aumento del volumen o de la carga asociados al desempeño realizado en los tests y, por lo tanto, basado en la capacidad neuromuscular individual.

3.3.2.4 Etapa 1: isométricos

Etapa inicial de dos semanas basada en la realización de contracciones isométricas para la búsqueda de analgesia (Pearson et al., 2020; Rio et al., 2015; van Ark et al., 2016), el control de la sintomatología, la reducción de la inhibición cortical (Rio et al., 2015, 2016) y la preparación del sistema neuromuscular. Pese a la existencia de artículos que no han encontrado diferencias entre la realización de contracciones isométricas y dinámicas para el dolor (van Ark et al., 2016) y la sugerencia de algunos autores de que los efectos pueden estar más relacionados con la intensidad del estímulo y el tiempo bajo tensión que con el tipo específico de contracción (Pearson et al., 2020), se ha decidido mantener el estímulo isométrico por sus efectos demostrados en otra serie de variables, a la espera de que puedan ser demostrados o rebatidos para otro tipo de contracciones.

3.3.2.4.1 Tests

En la Etapa 1, se realiza un test en cada una de las dos semanas que componen la etapa. El test consiste en realizar una contracción isométrica mantenida en el ejercicio de sentadilla en prensa de piernas (con flexión de rodilla de 60°) con el objetivo de identificar la carga necesaria para la obtención de fasciculaciones en la musculatura y/o compensaciones. En el test, se mantiene la carga seleccionada hasta la aparición de las fasciculaciones o compensaciones. Utilizando tres intentos, y descansando 3 minutos entre cada uno de los intentos, la finalidad es obtener el peso con el que aparecen las fasciculaciones o compensaciones. Utilizando tres intentos, y descansando 3 minutos entre cada uno de los intentos, la finalidad es obtener el peso con el que aparecen las fasciculaciones a los 45 segundos, aproximadamente. El primer intento se utiliza para acercarse a la carga con valores por debajo del valor objetivo (por ejemplo, estimando la carga que produce fasciculaciones o compensaciones después de 60 segundos). El segundo intento se utiliza para introducir una carga que se estima que pueda superar el

nivel diana (por ejemplo, carga que produce fasciculaciones o compensaciones antes de los 35 segundos). El último intento se utiliza para, de manera más o menos precisa, estimar un valor entre los dos primeros intentos que se aproxime a la carga objetivo. La prueba se repite para cada uno de los cuatro movimientos en el ejercicio de sentadilla en prensa de piernas.

3.3.2.4.2 Microciclos 1 y 2

El componente principal de los microciclos 1 y 2 es el trabajo isométrico en prensa de piernas (con flexión de rodilla de 60°) utilizando la carga individualmente obtenida en los tests realizados al comienzo de cada una de las semanas para cada una de las variantes del movimiento.

Con una frecuencia de 3 sesiones semanales, se plantea un volumen de 5 series de 45 segundos (descansando 1 minuto entre series). En el caso de aparición de fasciculaciones antes de la conclusión en alguna de las series, se mantiene la ejecución del ejercicio hasta su conclusión. En la **Figura 21** se representa el cuadro resumen de la Etapa 1.

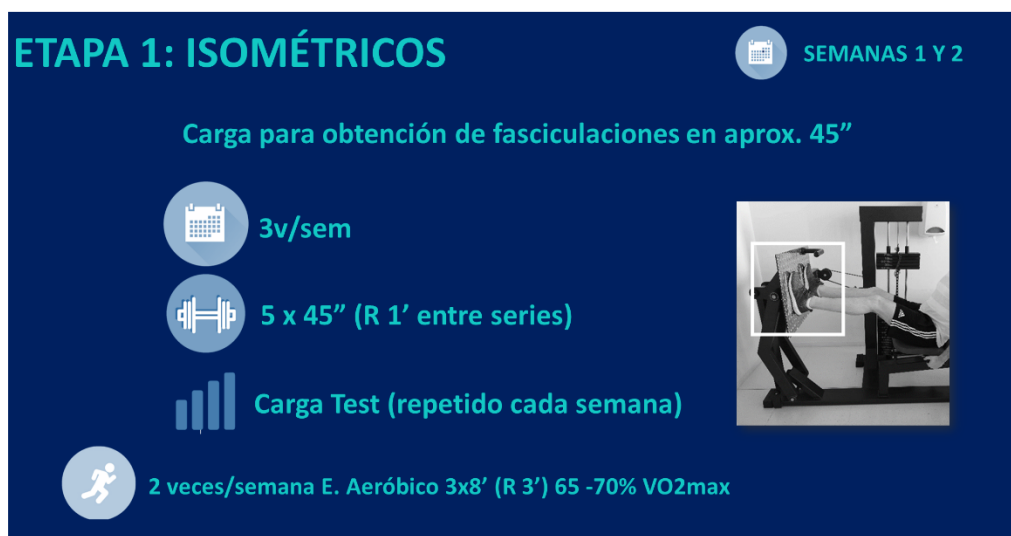


Figura 21. Cuadro resumen de la Etapa 1 del programa (ISOM= isométricos; R= descanso; v/sem= veces por semana; VO₂máx = consumo máximo de oxígeno). Fuente: elaboración propia.



3.3.2.5 Etapa 2: fuerza general

Segunda etapa, aplicada durante cuatro semanas, basada en la incorporación de contracciones dinámicas para un acondicionamiento físico general y la obtención de ganancias de fuerza. Este trabajo está directamente relacionado con la etapa de entrenamiento lento y de altas cargas propuesta por diversos autores como base del tratamiento de la tendinopatía. Este entrenamiento, de un carácter semejante al incorporado en otros protocolos bajo el nombre de HSR, tiene como objetivo el incremento de la fuerza muscular y la mejora de la rigidez tendinosa (Cardoso et al., 2019; Malliaras et al., 2015; Mascaró et al., 2018).

La principal diferencia de la metodología propuesta en este protocolo frente a otras opciones actuales reside en la consideración del volumen a través del tiempo bajo tensión en lugar de a través del número de repeticiones totales. Esta decisión se apoya en el resultado de estudios previos que sugieren que, ante un mismo volumen de series y repeticiones, la aplicación de un mayor tiempo bajo tensión se refleja en una mayor producción de fatiga muscular (Tran & Docherty, 2006) y un mayor impacto en las respuestas metabólicas (Corradi et al., 2021), pudiendo traducirse en adaptaciones neuromusculares adicionales.

3.3.2.5.1 Tests

En la Etapa 2, se realiza un único test al inicio de la tercera semana, manteniendo el valor obtenido durante las cuatro semanas de duración de la etapa. El test consiste en realizar, de manera dinámica, el ejercicio de prensa de piernas con el objetivo de identificar la carga máxima que se puede movilizar durante 45 segundos. Utilizando tres intentos, descansando 3 minutos entre cada uno de ellos, el primer intento se utiliza para





acercarse a la carga con valores por debajo del valor objetivo (por ejemplo, carga que permite realizar el ejercicio durante 60 segundos). El segundo intento se emplea para estimar una carga superior a la carga objetivo (por ejemplo, carga que no permite realizar el ejercicio más de 35 segundos). El último intento permite, si el test se ha desarrollado adecuadamente, seleccionar un valor entre los dos primeros, aproximándose con mayor o menor precisión al valor objetivo.

3.3.2.5.2 *Microciclos 3, 4*

El componente principal de los microciclos 3 y 4 es la aplicación de las máximas contracciones isotónicas durante un tiempo preestablecido. Con una frecuencia de 3 sesiones semanales, se plantea un volumen de 4 series de 30 segundos (descansando 2 minutos entre series), utilizando la carga obtenida en el test realizado al comienzo de la tercera semana para cada una de las variantes del movimiento.

3.3.2.5.3 *Microciclos 5 y 6*

El componente principal de los microciclos 5 y 6 son, del mismo modo, las máximas contracciones isotónicas durante un tiempo preestablecido. Con una frecuencia de 3 sesiones semanales, se plantea un volumen de 6 series de 30 segundos (descansando 2 minutos entre series), utilizando la carga obtenida en el test realizado al comienzo de la tercera semana para cada una de las variantes del movimiento. En la **Figura 22** se representa el cuadro resumen de la Etapa 2.



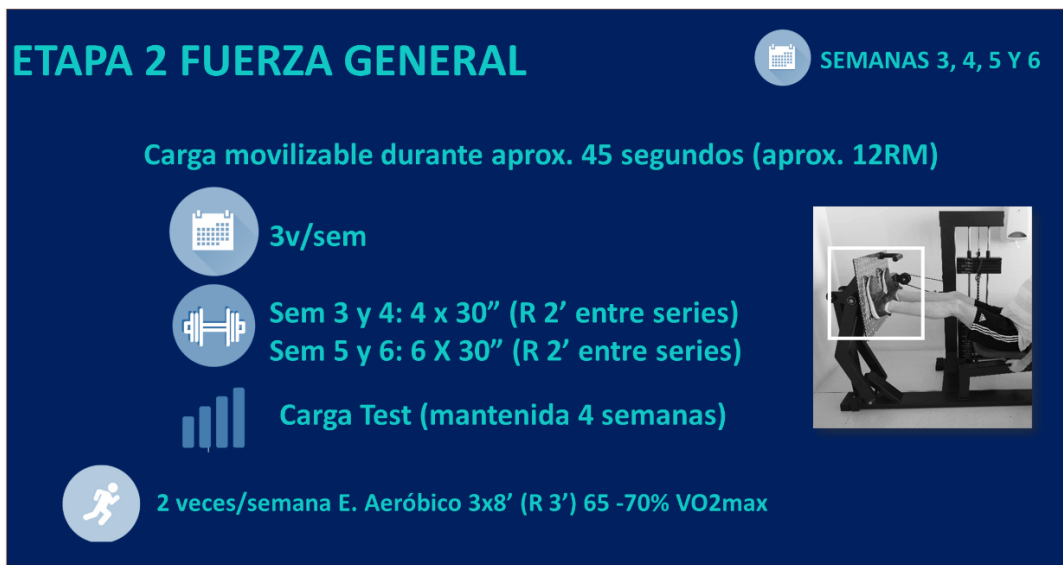


Figura 22. Cuadro resumen de la Etapa 2 del programa (R= descanso; RM: repeticiones máximas; v/sem= veces por semana; VO₂máx = consumo máximo de oxígeno). *Fuente: elaboración propia.*

3.3.2.6 Etapa 3: fuerza-velocidad

Tercera etapa, aplicada durante cuatro semanas, basada en el entrenamiento con pérdida de velocidad del 20%. Este entrenamiento, basado en estudios de Pareja-Blanco et al., se ha mostrado superior a otros métodos que utilizan pérdidas de velocidad alternativas (0%, 10% o 40%), obteniendo mayores niveles de hipertrofia y evitando algunas de las adaptaciones neuromusculares negativas observadas con otras parametrizaciones (Pareja-Blanco et al., 2020).

3.3.2.6.1 Tests

En la Etapa 3, se realiza un test que se repite en dos ocasiones, una al inicio de la séptima semana, manteniendo el valor obtenido durante los microciclos 7 y 8, y otra al inicio de la novena semana, manteniendo el valor obtenido durante los microciclos 9 y 10. El test consiste en realizar, de manera dinámica, el ejercicio de sentadilla en prensa de piernas con el objetivo de identificar la carga necesaria para calcular la carga que el paciente

puede movilizar durante aproximadamente 45 segundos antes de experimentar una pérdida de velocidad del 20% (Pareja-Blanco et al., 2017). Utilizando tres intentos, descansando 3 minutos entre cada uno de ellos, el primer intento se utiliza para acercarse a la carga con valores por debajo del valor objetivo (por ejemplo, carga que produce una pérdida de velocidad del 20% después de 60 segundos). El segundo se utiliza para estimar una carga por encima del valor objetivo (por ejemplo, carga que produce una pérdida de velocidad del 20% antes de los 35 segundos). El último intento, si el test se ha desarrollado con éxito, debe de permitir seleccionar un valor entre los dedos, aproximándose con mayor o menor precisión al valor objetivo.

3.3.2.6.2 *Microciclos 7 y 8*

El componente principal de los microciclos 7 y 8 es la generación de impulsos neurales a través de un entrenamiento de velocidad con una pérdida de velocidad controlada. Con una frecuencia de 3 sesiones semanales, se plantea un volumen de 4 series de 15 segundos (descansando 2 minutos entre series), utilizando la carga obtenida en el test realizado al comienzo de la séptima semana para cada una de las variantes del movimiento.

3.3.2.6.3 *Microciclos 9 y 10*

El componente principal de los microciclos 9 y 10 es, de nuevo, la generación de impulsos neurales a través de un entrenamiento con una pérdida de velocidad controlada. Con una frecuencia de 3 sesiones semanales, se plantea un volumen de 4 series de 15 segundos (descansando 2 minutos entre series), utilizando la carga obtenida en el test realizado al comienzo de la novena semana para cada una de las variantes del movimiento. En la **Figura 23** se representa el cuadro resumen de la Etapa 3.

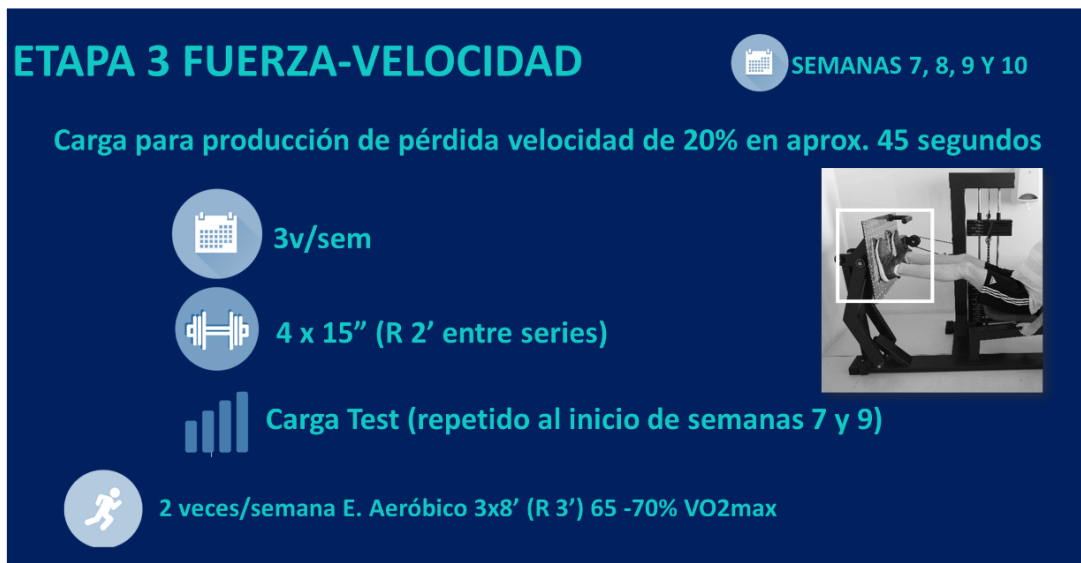


Figura 23. Cuadro resumen de la Etapa 3 del programa (R= descanso; v/sem= veces por semana; VO₂máx = consumo máximo de oxígeno). Fuente: elaboración propia.

3.3.2.7 Etapa 4: fuerza-altas cargas

Cuarta etapa, aplicada durante dos semanas, basada en el entrenamiento de fuerza con cargas muy altas. La inclusión de esta etapa se sustenta en los hallazgos de estudios previos que observaron la capacidad del entrenamiento con cargas altas para maximizar las ganancias de fuerza (Jenkins et al., 2017; Schoenfeld et al., 2017). Las ganancias obtenidas mediante este tipo de entrenamiento no son explicables únicamente a través de mecanismos de hipertrofia, por lo que algunos autores sugieren que este tipo de entrenamiento puede tener una influencia relevante en la consecución de adaptaciones neurales relacionadas con el aumento de fuerza (Häkkinen & Keskinen, 1989; Jenkins et al., 2017; Schoenfeld et al., 2017; Zatsiorsky & Kraemer, 2006).

3.3.2.7.1 Tests

En la Etapa 4, se realiza un único test al inicio de la semana 11, manteniendo el valor obtenido durante los microciclos 11 y 12. Este test consiste en realizar, de manera



dinámica, el ejercicio de sentadilla en prensa de piernas con el objetivo de identificar la carga que el paciente es capaz de movilizar durante aproximadamente 4, pero no durante 8 segundos. Utilizando el tres intentos, descansando 3 minutos entre cada uno de ellos, el primer intento se utiliza para acercarse a la carga con valores por debajo del valor objetivo (por ejemplo, carga que permite realizar el ejercicio más de 8 segundos). El segundo se utiliza para estimar una carga por encima del valor objetivo (por ejemplo, carga que no permite realizar el ejercicio más de 3 segundos). El último intento, si el test se ha desarrollado con éxito, debe de permitir seleccionar un valor entre los dedos, aproximándose con mayor o menor precisión al valor objetivo.

3.3.2.7.2 *Microciclos 11 y 12*

El componente principal de los microciclos 11 y 12 es la generación de impulsos en la placa motora para la consecución de adaptaciones neurales relacionadas con la fuerza a través de cargas muy altas. Con una frecuencia de 3 sesiones semanales, se plantea un volumen de 6 series de 2 repeticiones (descansando 2 minutos entre series), utilizando la carga obtenida en el test realizado al comienzo de la undécima semana para cada una de las variantes del movimiento. En la **Figura 24** se representa el cuadro resumen de la Etapa 4.



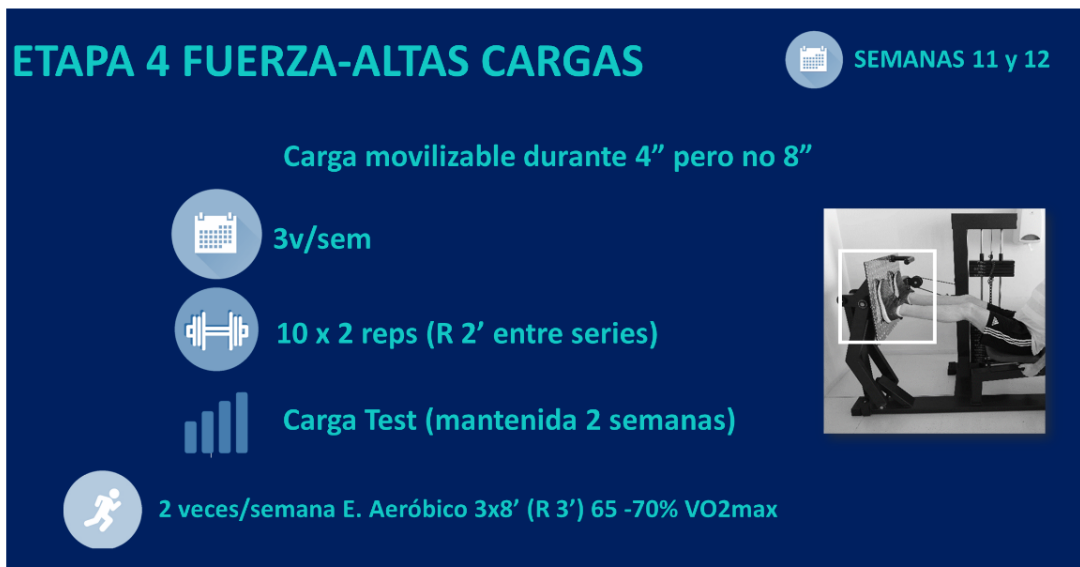


Figura 24. Cuadro resumen de la Etapa 4 del programa (R= descanso; v/sem= veces por semana; VO₂máx = consumo máximo de oxígeno). Fuente: elaboración propia.

3.3.2.8 Etapa 5: fuerza explosiva mediante saltos y trabajo pliométrico

Quinta etapa, aplicada durante dos semanas, basada en el entrenamiento de la fuerza explosiva mediante saltos y trabajo pliométrico para la mejora de la capacidad de almacenamiento de energía. El consenso internacional respalda la inclusión de este tipo de entrenamiento en los programas de ejercicio en tendinopatías, estando enfocado este a la restitución de una de las funciones básicas del tendón (Kountouris & Cook, 2007; Malliaras et al., 2015; Mascaró et al., 2018; Sancho et al., 2019). A diferencia de las etapas anteriores, durante esta fase no se realiza un trabajo en prensa de piernas, sino que se incorporan ejercicios realizados en suelo y con ayuda de un cajón de una altura ajustada individualmente.

3.3.2.8.1 Tests

En la Etapa 5, se realizan dos tests diferenciados, uno para el ejercicio de salto con caída previa y otro para el ejercicio de saltos verticales repetidos.



Test para ejercicio de salto con caída previa o “drop jump”: este test consiste en, utilizando tres intentos (descansando 3 minutos entre repeticiones), calcular la altura del cajón con la que el tiempo de contacto es menor durante un salto con caída previa. Para facilitar la aplicación del test, se utilizan cajones de tres medidas distintas (20, 30 y 40 cm). Para este test, aunque no es imprescindible, se aconseja la utilización de una plataforma de contacto, midiendo así de manera precisa el tiempo de contacto en cada uno de los intentos.

Test para ejercicio de saltos verticales repetidos: el propósito de este test es, utilizando tres intentos, descansando 3 minutos entre repeticiones, calcular la altura máxima de salto vertical que se puede mantener durante 60 segundos. Para ello, en el primer intento se estima una altura por debajo del valor objetivo (por ejemplo, altura que permite realizar el ejercicio de saltos repetidos más de 70 segundos). El segundo se utiliza para acercarse a la altura objetivo con valores superiores (por ejemplo, altura que no permite realizar el ejercicio de saltos repetidos más de 45 segundos). El último intento permite, en el caso de haberse desarrollado el test adecuadamente, seleccionar un valor entre los dos primeros intentos, obteniendo así un valor aproximado al valor objetivo.

3.3.2.8.2 *Microciclos 13 y 14*

El componente principal de los microciclos 13 y 14 es la búsqueda de adaptaciones en la placa motora, obtenidas a través del entrenamiento de la fuerza explosiva mediante saltos y ejercicios pliométricos. Con una frecuencia de 3 sesiones semanales, se plantea un trabajo de cuatro ejercicios que incluyen saltos contra movimiento (3 series de 3 repeticiones con la máxima altura alcanzable, descansando 2 minutos entre series), saltos con caída previa (4 series de 4 saltos con altura calculada en el test, descansando



2 minutos entre series), saltos con caída previa durante tarea dual (realización simultánea de una actividad cognitiva consistente en la resta sucesiva de 2 unidades a partir de un número aleatorio entre 0 y 100) con los mismos parámetros que en la versión simple (4 series de 4 saltos con altura calculada en el test, descansando 2 minutos entre series) y saltos verticales repetidos (3 series de 40 segundos realizados con la altura obtenida en el test correspondiente). Para la realización de los saltos verticales repetidos, los sujetos colocan las manos en sus caderas, adquieren una posición de cuclillas hasta que las rodillas se flexionan a 90 grados y, desde esa posición, saltan verticalmente con la máxima altura alcanzable aterrizando de nuevo en la colchoneta con ambos pies al mismo tiempo y flexionando las rodillas, momento en el que inician el siguiente salto. En la **Tabla 11** se representan los ejercicios y la parametrización utilizada en la Etapa 5.

Tabla 11. Ejercicios y parametrización de la Etapa 5.

Tipo de ejercicio	Frecuencia	Volumen	Intensidad	Descanso entre series
Salto contra movimiento		3 x 3 saltos	Máxima altura alcanzable	2 minutos
Salto con caída previa o "drop jump"		4 x 4 saltos	Altura de Test de salto con caída previa	2 minutos
Salto con caída previa durante tarea dual	3 veces/ semana	4 x 4 saltos	Altura de Test de salto con caída previa	2 minutos
Saltos verticales repetidos		3 x 40 segundos	Altura de Test de saltos verticales repetidos	2 minutos

3.3.3 Entrenamiento aeróbico

Complementariamente al entrenamiento neuromuscular, se propone en este protocolo la ejecución de un entrenamiento aeróbico con una frecuencia de dos sesiones semanales. El debate sobre la idoneidad de la realización de actividad física y ejercicios



aeróbicos de manera paralela a la parte principal de los programas, el entrenamiento de fuerza, ha sido fuente de diferentes posiciones al respecto. Frente a programas que desaconsejan la realización de este tipo de actividades, otros programas actualmente implementados permiten la realización de actividades de ocio o deportivas durante el transcurso de la intervención, ya sea desde el inicio de la misma o tras un periodo de acondicionamiento físico inicial (por ejemplo, tras seis semanas [Jonsson & Alfredson, 2005]). Estas actividades, que frecuentemente incluyen la carrera, se permiten, habitualmente, en los casos en los que no provocan la aparición de dolor por encima de 5 en una EVA o una escala numérica (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009). Ejemplos desarrollados en los últimos años no solo permiten, sino que incluyen el entrenamiento aeróbico (predominantemente la carrera) como parte de la intervención en las etapas avanzadas del programa (Sancho et al., 2019).

En ocasiones, el objetivo de esta inclusión es facilitar un retorno progresivo a la actividad deportiva. Sin embargo, la inclusión del entrenamiento aeróbico en la propuesta realizada en este trabajo responde, adicionalmente, a objetivos relacionados con un potencial efecto analgésico y acelerador del proceso de recuperación.

Esta hipótesis se sustenta en resultados publicados durante las últimas décadas que relacionan al ejercicio con la producción de efectos multisistémicos (Fiuza-Luces et al., 2013), más allá de las potenciales mejorías sobre la capacidad cardiorrespiratoria, la resistencia muscular o el rendimiento. De esta manera, se sugiere que el ejercicio aeróbico puede ejercer una influencia positiva sobre el eje hipotalámico-hipofisario-suprarrenal (Arvidson et al., 2020), inducir la liberación de mioquinas (So et al., 2014) e incrementar la sensibilidad a las catecolaminas (Dienstbier, 1991), entre otros efectos.



Bajo esta premisa y, aunque el uso de un cicloergómetro o la prescripción de carrera está aconsejada para la estandarización de esta parte de la intervención en un porcentaje alto de los pacientes, se considera que otras formas de entrenamiento aeróbico (por ejemplo, el uso de un ergómetro de miembros superiores [Figura 25] o la realización de actividades de naturaleza aeróbica centradas en los miembros superiores) podrían ser de utilidad por los efectos sistémicos anteriormente mencionados, especialmente en estadios iniciales o en aquellos casos en los que la sintomatología no permite un trabajo adecuado de las extremidades inferiores.



Figura 25. Ejemplo de ergómetro de miembros superiores. Fuente:

<https://www.expertleisure.ie/equipment/cardio/bikes/sportsart-ub521m-bilateral-upper-body-ergometer/>

Se propone un entrenamiento aeróbico, iniciado desde la primera semana de la intervención, para su realización con una frecuencia de 2 sesiones a la semana, un volumen de 1 serie de 3 repeticiones de 8 minutos de duración, cada una, una intensidad del 65-70% del VO_2 máx y un descanso entre repeticiones de 3 minutos (Tabla 12). Teniendo en cuenta aspectos anteriormente mencionados, se recomienda el uso de un cicloergómetro o la práctica de carrera, pudiendo realizarse las adaptaciones necesarias en aquellos pacientes que, especialmente en estadios iniciales, presentan dificultades debido a la severidad de los síntomas.

Tabla 12. Parámetros del entrenamiento aeróbico.

Tipo de ejercicio	Duración	Frecuencia	Volumen	Intensidad	Descanso entre repeticiones
Entrenamiento aeróbico (cicloergómetro, bicicleta, carrera en cinta o exteriores, ergómetro de MMSS, etc.)	14 semanas	2 veces/ semana	1 x 3 x 8 minutos	65-70% VO ₂ máx	3 minutos

MMS= miembros superiores; VO₂máx= consumo máximo de oxígeno

Adicionalmente, se permitirá a los participantes realizar actividad física ligera y moderada cuando esta no genere un aumento de los síntomas tanto durante como especialmente en las 24 horas posteriores al ejercicio, fijando como umbral valores mayores a 50 mm en una EVA. Se recomienda a los pacientes el abandono temporal de aquellas actividades que no permitan una adecuada recuperación entre sesiones cuando se apliquen junto con el protocolo de entrenamiento descrito en este estudio.

3.3.3.1 Test de intensidad

El *gold standard* para el cálculo específico del consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) es la realización de una prueba de esfuerzo máxima o, en su defecto y con un mayor error asociado, una prueba de esfuerzo submáxima en la que se estime el VO₂pico (Arena et al., 2007). Esta prueba podría ser implementada al inicio del programa y entre la séptima y la octava semana. Sin embargo, en un esfuerzo por favorecer la aplicabilidad y factibilidad del presente protocolo, se propone la estimación indirecta del VO₂máx a través de los valores de frecuencia cardíaca máxima (FCmáx). Para ello y, asumiendo una parte de error asociado en la estimación, se propone utilizar los modelos de regresión de un estudio previo (Swain et al., 1994) para la estimación de la intensidad de trabajo

(Figura 26). En la Tabla 13 se muestran los valores de frecuencia cardíaca estimados para los valores de VO₂máx objetivo estratificados para sujetos en alta y baja forma.

Tabla 13. Valores de referencia para la estimación del consumo máximo de oxígeno a través del porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima. Datos calculados utilizando como referencia los resultados de Swain et al., 1994.

Unidad de medida	Valores (%)							
VO ₂ máx objetivo	40	50	60	65	70	80	90	
%FCmáx estimado (sujetos alta forma)	64	70	76	80	83	89	95	
%FCmáx estimado (sujetos baja forma)	61	68	74	77	81	87	94	

FC= frecuencia cardíaca; VO₂máx: consumo máximo de oxígeno. La zona enmarcada entre los bordes gruesos representa la intensidad recomendada en el protocolo MáLaGa descrito en esta tesis doctoral.

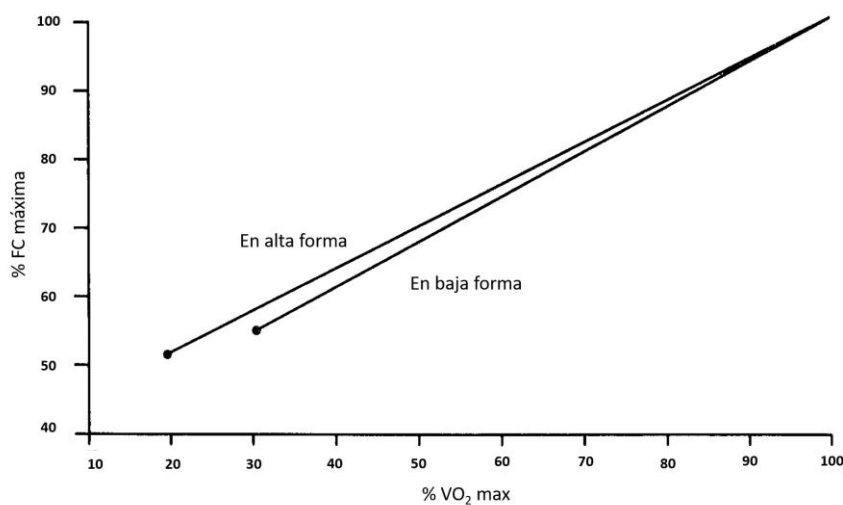


Figura 26. Promedio de 27 regresiones lineales en hombres en alta forma ($\%FC_{máx} = [0.636 \pm 0.017]\%VO_{2máx} + [38.2 \pm 1.7]$), con una $r = 0.987 \pm 0.002$, y de 27 regresiones lineales en hombres en baja forma ($\%FC_{máx} = [0.659 \pm 0.017]\%VO_{2máx} + [34.6 \pm 1.8]$, con $r = 0.991 \pm 0.002$). Los puntos de origen representan la media de los valores obtenidos durante el primer minuto del protocolo de Bruce.

DISCUSIÓN



4. DISCUSIÓN

El objetivo general de esta tesis doctoral fue analizar la aplicación de cargas en programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías y diseñar un programa de ejercicios original basado en este conocimiento, la evidencia actual y la experiencia clínica profesional. En general, la metodología implementada en los estudios integrados en esta tesis ha permitido sintetizar el conocimiento en diversos temas como son las técnicas y métodos de cuantificación de las cargas soportadas por el tendón y los criterios de progresión de la carga utilizables durante los programas de ejercicio terapéutico. Así mismo, el conocimiento adquirido, unido al contexto actual de la evidencia científica y a la experiencia clínica del doctorando y sus directores, ha permitido el desarrollo de un protocolo de intervención original y común para la tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea.

4.1 Métodos y técnicas de cuantificación de las cargas aplicadas

La revisión de alcance sobre los métodos y técnicas de cuantificación de las cargas expuso numerosas metodologías directas e indirectas utilizadas para la evaluación de ejercicios dinámicos, con sus ventajas y limitaciones. Estas metodologías están basadas principalmente en el estudio de dos parámetros: las fuerzas aplicadas en el tendón y la deformación en forma de estiramiento originada en el tendón a causa de estas fuerzas. Uno de los principales hallazgos de esta revisión fue que la mayoría de los estudios existentes utilizaron un método indirecto basado en dinámicas inversas, mientras que únicamente algunos métodos directos de medición han sido implementados en este tipo de ejercicios.



Las metodologías indirectas basadas en dinámicas inversas pueden ser implementadas en investigación para hacer estimaciones generales de cargas en ejercicios dinámicos, generando clasificaciones o progresiones basadas en la carga aplicada en el tendón de una serie de ejercicios. Este es el caso, por ejemplo, de estudios como el de Baxter et al. (2021) en el tendón aquileo o de Frohm et al. (2007) en el tendón rotuliano, que utilizaron sistemas de captura de movimiento y plataformas de fuerzas para desarrollar guías de ejercicios basadas en un incremento progresivo de la carga. En este sentido, es posible un análisis de ejercicios comúnmente utilizados como la elevación y descenso de talones, un ejercicio ampliamente integrado en los programas de ejercicio terapéutico en tendinopatía aquilea (Alfredson et al., 1998; Beyer et al., 2015; Sancho et al., 2019) que se popularizó a raíz de la publicación del protocolo de excéntricos de Alfredson (Alfredson et al., 1998). Otros ejercicios analizados con estas metodologías son la sentadilla, ejercicio habitualmente integrado en el abordaje de la tendinopatía rotuliana (Kongsgaard et al., 2009; Purdam et al., 2004), la flexo-extensión de rodilla, utilizada también en esta localización (van Ark et al., 2018), la zancada, comúnmente utilizada para el fortalecimiento de los miembros inferiores (Gao et al., 2022), o la subida y bajada de escaleras, actividad propuesta en algunos programas de fortalecimiento (Mellor et al., 2018) de tendinopatía glútea, y que se ha sugerido también como inductor de fuerzas de compresión en este tendón (Grimaldi & Fearon, 2015). Sin embargo, aunque los datos aportados por estas herramientas pueden ser trasladados al contexto clínico para ser utilizados por los terapeutas como una estimación general de las cargas, las limitaciones metodológicas y el error de medición asociado requieren de prudencia en su uso e interpretación.





Como alternativa, los métodos directos de cuantificación de las fuerzas pueden, potencialmente, reducir el error de medición por utilizar sensores que miden directamente este parámetro. Sin embargo, la aplicabilidad de estos métodos está limitada por la necesidad de insertar sensores dentro de los segmentos corporales a medir, y es necesario que los sensores cumplan con unos requisitos mínimos de seguridad asociados a su biotolerancia y biocompatibilidad con los tejidos humanos (Fleming & Beynnon, 2004).

El uso de transductores de fuerza supuso una oportunidad para registrar de manera directa las fuerzas tensiles producidas en el conjunto del tendón. Sin embargo, se trata de un procedimiento altamente invasivo, característica que limita mucho sus contextos de aplicación, viéndose reducidos, prácticamente, al aprovechamiento de cirugías realizadas bajo anestesia (Edsfeldt et al., 2015; Kursu et al., 2006; Nikanjam et al., 2007; Powell & Trail, 2004, 2009; Schuind et al., 1992). Además, la naturaleza de esta técnica, con la introducción de un sensor en contacto con el tendón y que modifica la forma de este, junto con la potencial producción de heridas a causa de la incisión, puede influir en el propio movimiento analizado alterando los resultados (Fleming & Beynnon, 2004). La introducción de sensores de fibra óptica ha permitido reducir algunas de las limitaciones de los transductores de fuerza, especialmente aquellas relacionadas con el tamaño de los sensores y la herida de la incisión realizada para su inserción (Finni et al., 1998). Los sensores modernos de fibra óptica han alcanzado tamaños muy reducidos con modelos que rondan los 200 μ m (Behrmann et al., 2012). Además del tamaño, estos modelos han mejorado sus prestaciones logrando una mayor sensibilidad, una mejor respuesta temporal, un mayor rango dinámico y una reducción de la sensibilidad a las interferencias electromagnéticas (Behrmann et al., 2012). Sin embargo, es importante





mencionar que, por su naturaleza, esta técnica registra las fuerzas de una región concreta del tendón y no de la sección transversa en su conjunto, por lo que puede verse afectada por la ausencia de uniformidad que ha sido observada en la transmisión de fuerzas en el tendón (Bojsen-Møller & Magnusson, 2015; Fleming & Beynnon, 2004; Slane et al., 2018; Slane & Thelen, 2014). Adicionalmente, todavía siguen existiendo limitaciones derivadas de su invasividad, causando una herida de pequeñas dimensiones en un procedimiento de inserción realizado bajo anestesia local (Behrmann et al., 2012). Considerando todo lo anterior, el uso de técnicas de medición directa todavía se encuentra significativamente restringido a contextos quirúrgicos o de investigación, con la existencia de una serie de limitaciones y complicaciones derivadas de la herida (dolor o riesgo de infección) que ponen en entredicho la justificación de su uso en la población clínica general. Tal y como se plantea en un estudio previo (Boutry et al., 2018), el desarrollo de sensores biodegradables que puedan reabsorberse sin necesidad de una segunda cirugía para su extracción podría aumentar las situaciones en las que puede ser justificable la aplicación de sensores dentro del cuerpo. De este modo, en el contexto actual, las características de las técnicas que utilizan sensores de fibra óptica las convierten en una de las opciones con mayor potencial y que, una vez resueltas algunas de sus limitaciones técnicas (reducción de la precisión en la medida del sensor por la herida, el movimiento de la piel, la migración del cable y la velocidad de ejecución del ejercicio [Behrmann et al., 2012; Komi et al., 1996]), podría considerarse adecuadamente justificada para la evaluación in vivo en la población clínica general.

La evaluación del estiramiento como medida de la deformación producida por las fuerzas aplicadas ha sido considerada como una potencial fuente de información. Estudios básicos previos sugieren que los tenocitos son sensibles al estiramiento





(Pizzolato et al., 2019; Arampatzis et al., 2020; Magnusson et al., 2010; Huang et al., 2019), y que el estudio de esta magnitud podría, por lo tanto, aportar una información directa sobre los efectos producidos en el tejido tendinoso (Arampatzis et al., 2020; Huang et al., 2019; Pizzolato et al., 2019). Este abordaje tiene una serie de ventajas sobre otros métodos, destacando especialmente la ausencia de la necesidad de introducir sensores en el cuerpo (Q. Zhang et al., 2021). Esta característica supone una ventaja por la inocuidad de la prueba pero también por la evitación de algunas de las limitaciones de otras técnicas como la interferencia de los sensores con el movimiento natural o la necesidad de uso de anestesia (Fleming & Beynnon, 2004).

Sin embargo, este abordaje tiene asociadas numerosas limitaciones que han sido estudiadas, principalmente, en el contexto de ejercicios isométricos (Fleming & Beynnon, 2004; Seynnes et al., 2015; Q. Zhang et al., 2021), pero que se trasladan, con mayor impacto si cabe, al contexto del estudio de ejercicios dinámicos. Estas limitaciones están relacionadas con la dificultad en la colocación y fijación de la sonda sobre el tendón analizado (Klimstra et al., 2007; Seynnes et al., 2015; Q. Zhang et al., 2021), con una limitación espacial derivada del uso de sondas de un tamaño estándar para la medición de tendones largos (Seynnes et al., 2015), y por el hecho de analizar deformaciones del tendón que ocurren en las tres dimensiones a través de imágenes en dos dimensiones (Seynnes et al., 2015; Q. Zhang et al., 2021). En la actualidad, existen diferentes procedimientos que tratan de minimizar estas limitaciones (Seynnes et al., 2015), pero todavía el potencial error de medida asociado es elevado para un uso preciso de la técnica. Adicionalmente, la metodología requiere de ciertos conocimientos y procesos técnicos que dificultan su implementación directa e instantánea en la clínica. Considerando todo lo anterior, el uso de esta técnica en investigación puede permitir





obtener información relevante sobre las cargas aplicadas en los ejercicios dinámicos, pero su uso no ha sido trasladado todavía a la clínica. Las ventajas de este abordaje sugieren que el desarrollo de esta metodología podría permitir reducir la complejidad de su implementación, sus limitaciones y su error de medición, pudiendo ser en el futuro una potencial herramienta de uso clínico.

4.2 Criterios de progresión en la carga

Si los resultados obtenidos en el primer artículo de esta tesis doctoral señalan la existencia de metodologías que permiten la cuantificación o estimación de las cargas aplicadas en el tendón, estos también evidencian una falta de métodos fácilmente implementables en el contexto clínico. La propia naturaleza y las limitaciones de estos métodos, especialmente la invasividad de algunos y la pérdida de inmediatez de otros, dificultan el estudio de cada paciente de manera individualizada, aspecto que se antoja clave para un manejo preciso. En este sentido, este campo debe seguir desarrollándose, buscando técnicas directas, aplicables in vivo, con errores de medición reducidos y con una invasividad mínima.

En este contexto, y de forma paralela a este progreso, es necesario en el entorno clínico actual el uso de metodologías alternativas que permitan una estimación de las cargas aplicadas. Estas metodologías, que pueden basarse, por ejemplo, en el cálculo de la carga máxima que permite realizar un ejercicio durante un número de repeticiones o un tiempo determinado o en la percepción de esfuerzo, deben suponer una manera aproximada de controlar, parametrizar, dosificar e individualizar la carga.





Así, en el contexto de los programas de ejercicio terapéutico se antoja esencial una adecuada individualización y dosificación de la carga, teniendo en cuenta también los criterios de progresión de esta. Los resultados de la revisión sistemática incluida en el segundo y tercer artículo de esta tesis doctoral subrayan un uso extendido de criterios basados en el dolor y la sintomatología y no en la capacidad física, funcional o estructural del individuo. Esta realidad parece estar ampliamente condicionada por la popularidad que, durante las últimas décadas, ha gozado el protocolo de excéntricos de Alfredson (Alfredson et al., 1998) y que se ha visto reflejada en un uso mayoritario en investigación, y potencialmente en la práctica clínica, de programas que utilizan de manera aislada la fase excéntrica de los ejercicios y criterios basados en la búsqueda de molestia o dolor durante la ejecución de estos. El protocolo original de Alfredson se sustentaba en la hipótesis del autor sobre la nocividad de la fase concéntrica para la patología tendinosa y de la adecuación de la fase excéntrica para revertir el fenómeno de neovascularización, proceso que en aquel momento se sospechaba como una de las principales fuentes de dolor en la tendinopatía (Alfredson et al., 2003). En la actualidad, esa hipótesis no parece sustentarse y, la evidencia actual, aunque sugiere una posible superioridad de la fase excéntrica aislada frente a una fase concéntrica aislada, apoya el uso de ambas fases de manera combinada como metodología óptima de trabajo (Habets & van Cingel, 2015a; Malliaras et al., 2013). Sin embargo, en el progreso experimentado en la actualización y optimización de estos protocolos tradicionales, no se han abordado aspectos esenciales en los programas de ejercicio como son los criterios de progresión en la carga utilizados, lo que puede haberse traducido en el mantenimiento de estos criterios en ausencia de una evidencia científica que los respalde. La nueva clasificación de los criterios propuesta en el tercer artículo de esta tesis doctoral diferencia dos





grandes categorías: criterios que utilizan el dolor como criterio principal de progresión y criterios que mantienen un control del dolor y los síntomas permitiéndolos hasta cierto límite (criterio secundario), pero que basan la progresión en otro criterio principal. Desde esta perspectiva, el uso de criterios basados en la presencia de molestia o dolor durante los ejercicios ha mostrado beneficios en comparación con otros abordajes pasivos (Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2004) o frente a la no intervención (Rompe et al., 2007). Sin embargo, en estudios que han implementado versiones del protocolo de Alfredson diferenciadas por la realización de los ejercicios con o sin molestia o dolor no se han encontrado diferencias significativas entre ambas opciones (Cunha et al., 2012). Estos hallazgos podrían indicar que los protocolos que integran este tipo de criterios mantienen parte de los beneficios propios del ejercicio pero que, sin embargo, el uso del dolor como criterio principal para la progresión podría estar infraestimando o sobrestimando la capacidad real del tendón y, por lo tanto, afectar al potencial efecto del tratamiento. En este sentido, aunque el dolor puede ser una variable interesante para evaluar el estado clínico del paciente, su nivel y persistencia pueden estar fuertemente influenciados por factores que van más allá de la capacidad del tendón, como pueden ser algunos factores psicosociales. Además, pueden existir diferencias significativas interindividuales e intraindividuales (en diferentes momentos) en la percepción del dolor. Por lo tanto, el uso del dolor como criterio principal podría no ser apropiado. Alternativamente, criterios que tengan en cuenta la capacidad del paciente podrían suponer una mejor estimación de la capacidad funcional y neuromuscular del tendón y el individuo para soportar y asimilar las cargas aplicadas en los programas de ejercicio terapéutico. Con el uso de este tipo de criterios, el dolor y la presencia de otros síntomas puede ser monitorizada y únicamente permitida hasta ciertos límites que





preserven la integridad y la seguridad del paciente, pero pueden ser utilizadas otras variables objetivas o subjetivas para guiar la progresión en la carga. Programas popularmente reconocidos y que han demostrado buenos resultados como el HSR (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009) o el LEAP (Mellor et al., 2018) integran este tipo de criterios a través de etapas de acondicionamiento físico predefinidas en las que se configura un aumento progresivo por semanas de la intensidad relativa a través del concepto de repeticiones máximas, en el caso del HSR, o a través de un aumento en la complejidad de los ejercicios, en el caso del protocolo LEAP. El uso de criterios de progresión basados en la fatiga tiene la ventaja de incorporar en la ecuación un parámetro individualizado de capacidad neuromuscular y cardiovascular. Sin embargo, es un parámetro especialmente dependiente de la tolerancia al esfuerzo y a la fatiga y asume una tesis no demostrada sobre la necesidad de aparición de fatiga para la consecución óptima de resultados, por lo que debería ser estudiado en mayor profundidad en el futuro. La aplicación de un incremento lineal temporal, aunque asegura la progresión en la carga, no es un criterio individualizado por lo que puede, de nuevo, infraestimar o sobreestimar la capacidad de progresión del tendón y el individuo. Considerando todo lo anterior, y aunque es necesario el desarrollo de estudios de alta calidad enfocados en comparar diferentes criterios de progresión en programas de ejercicio similares, se sugiere que el uso de la combinación de criterios basados en la capacidad funcional, como el criterio de etapas de acondicionamiento físico predefinidas, unido a la interpretación y a la percepción subjetiva de terapeuta y paciente, puede ser una opción potencial para la optimización de los programas de ejercicio terapéutico, frente al uso del dolor como criterio principal.



4.3 Diseño de programas de ejercicio terapéutico en tendinopatías

Diferentes programas de ejercicio terapéutico, con metodologías muy variadas, han obtenido resultados positivos en el abordaje de la tendinopatía. Así, diferentes tipos de ejercicio, fases de la contracción muscular, criterios de progresión en la carga, volúmenes, intensidades, tiempos de descanso o frecuencias han sido implementados encontrando mínimas diferencias entre los diferentes programas (Beyer et al., 2015; Cunha et al., 2012; Gatz et al., 2020; Kongsgaard et al., 2009; Mellor et al., 2018; Silbernagel et al., 2007b; Stevens & Tan, 2014; Yu et al., 2013). Una posible interpretación de estos hallazgos puede ser la posibilidad de obtener los beneficios propios del ejercicio terapéutico con un amplio espectro de metodologías (Cardoso et al., 2019). Sin embargo, algunos autores achacan este fenómeno a que los métodos actuales podrían producir un aumento de la tolerancia a la carga y al ejercicio en general, pero sin resolver algunos de los problemas presentes en la tendinopatía (Malliaras, 2017).

En este sentido, y pese a la obtención de beneficios con la implementación de estos programas, considerados actualmente el *gold standard* en el abordaje de la tendinopatía, debe tenerse en cuenta que todavía un porcentaje relativamente alto y variable de los pacientes (10-72%) refiere no sentirse satisfecho con los resultados del tratamiento (Kettunen et al., 2002; Silbernagel et al., 2011; van der Plas et al., 2012). En primer lugar, esto puede sugerir la necesidad de incluir en los programas fases adicionales que contemplen el trabajo neuromuscular asociado al entrenamiento de la velocidad y de la capacidad de almacenamiento de energía y del contexto específico de cada deporte o actividad, tal y como sugiere la literatura actual (Mascaró et al., 2018).



Sin embargo, debe considerarse también la necesidad de planificar un trabajo más específico e individualizado para la obtención de diferentes adaptaciones neuromusculares a través de un ajuste en la parametrización y una dosificación adecuada.

En este contexto, el protocolo propuesto en el cuarto artículo de esta tesis doctoral integra una propuesta común para las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea a través de un trabajo por etapas de diferentes adaptaciones neuromusculares esenciales para la función tendinosa. Estas etapas, con una duración de entre dos y cuatro semanas cada una, permiten el control de la sintomatología mediante una fase inicial preparatoria y un posterior abordaje preciso de la fuerza general, el entrenamiento con pérdida de velocidad controlada, el entrenamiento neural mediante altas cargas y el entrenamiento de la fuerza explosiva mediante saltos y trabajo pliométrico. Así mismo, este protocolo incorpora de manera novedosa el trabajo aeróbico desde las fases iniciales, con el objetivo de obtener beneficios relacionados con los efectos sistémicos de este tipo de ejercicio, además de los propios efectos locales. Este enfoque se complementa con la implementación de tests específicos para cada etapa y, por lo tanto, cada adaptación neuromuscular, buscando individualizar y optimizar la carga introducida. Se prioriza un trabajo basado en el tiempo sobre el trabajo por repeticiones para asegurar un determinado tiempo bajo tensión del tendón y un tiempo de funcionamiento de todos los sistemas corporales implicados. Por su parte, la progresión está basada en el empleo de etapas de acondicionamiento físico predefinidas en las que se propone un aumento del volumen o de la carga asociado al desempeño realizado en los tests y, por lo tanto, basado en la capacidad neuromuscular individual.





Considerando todo lo anteriormente expuesto, el desarrollo de estudios como el propuesto en el cuarto artículo de esta tesis doctoral proporcionará evidencia directamente aplicable sobre los programas de ejercicio y sus parámetros. En este caso, el protocolo de estudio integrado en esta tesis doctoral, una vez implementado, permitirá la comparación de un nuevo protocolo común para las tres principales tendinopatías de miembros inferiores, basado en un control individualizado de la dosis y en el entrenamiento de aspectos específicos del sistema neuromuscular, frente a las mejores prácticas actuales en el tratamiento de cada una de las tres tendinopatías estudiadas. En el caso de demostrarse la no inferioridad del protocolo experimental común, los resultados proporcionarán una herramienta que, a través de un enfoque específico de aspectos del sistema neuromuscular, permitirá una simplificación de la variedad de movimientos integrados en los programas de ejercicio tradicionales.

4.4 Implicaciones para la práctica clínica

Los resultados de la revisión de alcance realizada en el primer artículo evidencian la existencia de una brecha entre la tecnología y las metodologías actuales y las necesidades de la práctica clínica. Así, las desventajas de las metodologías disponibles no permiten su uso para la cuantificación individual de las cargas en los pacientes dentro de un contexto clínico estándar. Es posible la evaluación de casos individuales, pero esta práctica requiere del uso de metodologías indirectas con un procesamiento lento y complejo y un potencial error de medición acumulado, en algunos casos, o de la introducción de sensores dentro del cuerpo, siendo este un procedimiento altamente invasivo. Sin embargo, y asumiendo el error asociado, los datos obtenidos mediante las





metodologías actuales sí podrían ser utilizados en la práctica clínica como valores de referencia de carga, aspecto de utilidad para la selección de ejercicios.

Los hallazgos de la revisión sistemática llevada a cabo en el marco del segundo y tercer artículo pueden tener un impacto en la práctica clínica. Así, la identificación, categorización y análisis de los criterios de progresión facilita que los clínicos sean conscientes de la metodología que utilizan para la progresión en los programas de ejercicio. Los criterios de progresión utilizados están, habitualmente, ligados a una herencia histórica de los programas tradicionales. Su análisis puede permitir desligar las ventajas y desventajas de las características de estos programas de los criterios de progresión que estos seguían. Así mismo, el análisis de las ventajas y desventajas de cada tipo de criterio de progresión facilitará al clínico el proceso de selección del criterio adecuado para el contexto de su paciente.

Por último, el protocolo de intervención original integrado en el cuarto artículo de esta tesis podría ser, una vez comprobada su efectividad, una herramienta de interés en la práctica clínica para su uso dentro del complejo abordaje terapéutico de las tendinopatías aquilea, rotuliana y glútea. En este abordaje, el consenso actual plantea la necesidad de incluir una intervención educativa del paciente, una adecuación de la carga y un programa de ejercicio terapéutico. De este modo, en la fase inicial, es esencial una adecuación de las cargas, incluyendo un cese o reemplazamiento de aquellas actividades provocativas. Esto debe ser implementado junto a un programa de educación terapéutica, que puede incluir educación en el dolor, que permita manejar las creencias y expectativas erróneas del paciente, así como identificar y abordar factores de riesgo o de mal pronóstico. En estas fases iniciales, en aquellos pacientes con una severidad e irritabilidad mayor de los síntomas, puede ser necesario una



reducción significativa previa de los síntomas, para lo que pueden ser de utilidad el uso de ejercicios isométricos u otros abordajes pasivos. Estos procedimientos pueden facilitar la adherencia de los pacientes a fases posteriores del tratamiento, de un marcado carácter activo. Los programas de ejercicio terapéutico, como el protocolo de intervención propuesto en el cuarto artículo, conforman la parte principal del tratamiento y suponen una herramienta de interés para mejorar aspectos del sistema nervioso y neuromuscular. Estos programas incorporan el movimiento y ejercicio con cargas incrementadas gradualmente, facilitando también la reducción de algunos componentes psicosociales negativos. Finalmente, es necesaria una reintroducción gradual a la actividad habitual de los pacientes, incluyendo aquí actividades deportivas, laborales, recreativas o de la vida diaria.

4.5 Fortalezas y limitaciones

La presente tesis doctoral se ha desarrollado buscando el máximo rigor científico posible. Sin embargo, la metodología utilizada cuenta con algunas limitaciones que es importante señalar. En primer lugar, la principal limitación de la revisión de alcance realizada en el primer artículo es la dificultad experimentada en el rastreo de la literatura debido a la variedad y heterogeneidad de términos utilizados en este campo. Esta limitación se ha tratado de minimizar a través de una búsqueda extensiva en cuatro de las principales bases de datos. Así mismo, y aunque uno de los puntos fuertes de la revisión es que se han considerado en la discusión e interpretación las características de otro tipo de ejercicios, la limitación de la búsqueda a los métodos utilizados en ejercicios dinámicos que no sean la carrera, el ciclismo o saltos limita la extrapolación de



resultados a este tipo de ejercicios incluidos en algunos programas de ejercicio terapéutico para tendinopatías.

En el caso de la revisión sistemática realizada en el contexto del segundo y tercer artículo, las principales limitaciones encontradas son la heterogeneidad y las deficiencias en el reporte de los datos de los estudios incluidos, aspectos que no permitieron la extracción de información precisa y concluyente y la realización de uno o varios metaanálisis para la valoración de la efectividad de los diferentes criterios de progresión. La exclusión de las tendinopatías aquélicas insercionales también limita la extracción de evidencia en este subgrupo. Así mismo, la ausencia de lavado de tratamientos previos en la mayoría de los estudios, el permiso para tomar analgésicos o antiinflamatorios no esteroideos en algunas de las investigaciones incluidas y, especialmente, la falta de estudios que comparen criterios de progresión diferentes en programas de ejercicio similares, limita la extracción de conclusiones robustas. Como fortaleza de este estudio, la síntesis narrativa de las metodologías implementadas ha permitido establecer una propuesta de clasificación que permitirá, en futuros estudios, abordar con mayor claridad cada uno de los criterios utilizados. Con respecto al diseño de la revisión, la selección de ensayos controlados aleatorizados ha permitido basar el análisis de la efectividad en estudios de un mayor nivel de evidencia. Sin embargo, esta decisión no ha permitido identificar criterios de progresión utilizados en otros diseños de estudio, lo que es una limitación para la descripción de los criterios existentes en la literatura. Un diseño de revisión de alcance, incluyendo literatura gris, también podría haber aportado un mayor número de criterios, aunque habría dificultado el análisis de la efectividad.





En el cuarto artículo, pese a la pertinencia y la relevancia del aporte científico y clínico que se asocia a la publicación del protocolo de un ensayo controlado aleatorizado y del protocolo de ejercicio que integra, es una limitación inherente para la extracción de conclusiones el hecho de que la efectividad de la propuesta no ha podido ser todavía verificada. El análisis a priori de la ejecución del estudio permite identificar potenciales limitaciones derivadas del mismo: ausencia de tiempo de lavado de tratamientos previos; extensión temporal del programa de intervención, acorde a las aparentes necesidades de la patología pero que puede dificultar obtener un tamaño muestral insuficiente por la existencia de un porcentaje alto de abandonos; utilización como grupo control de intervenciones consideradas la mejor práctica actual pero que, sin embargo, no incluyen una parte del programa actualmente recomendada como es el entrenamiento de la fuerza explosiva mediante saltos y entrenamiento pliométrico.

4.6 Líneas futuras

En el estado de conocimiento actual, es necesario la investigación y el desarrollo de métodos y técnicas que permitan una evaluación directa, en vivo, y con un error asociado reducido, de las cargas aplicadas en el tendón. El desarrollo de estos nuevos métodos debe ser apoyado por la realización de estudios que evalúen sus características y su validez.

Así mismo, se necesitan estudios que comparen intervenciones que apliquen diferentes criterios de progresión de la carga en programas de ejercicio similares, lo que permitirá una comparación adecuada de sus características. Es necesaria, mediante la unión del conocimiento clínico y la investigación, la búsqueda de nuevos criterios de progresión





adaptados a los conocimientos existentes que permitan optimizar los resultados de los programas de ejercicio, así como también aumentar el conocimiento actual sobre la capacidad neuromuscular, los parámetros adecuados para su entrenamiento, el número mínimo de sesiones necesarias en los programas o los niveles de adherencia mínimos requeridos para obtener resultados óptimos.

La ejecución del ensayo controlado aleatorizado cuyo protocolo se presenta en esta tesis doctoral permitirá obtener resultados reales sobre la efectividad del programa presentado frente a otros métodos considerados actualmente como la mejor práctica actual. Posteriormente, nuevos estudios podrán seguir optimizando el conocimiento en el campo, desarrollando, entre otros, un índice ambulatorio de estratificación de la severidad de las tendinopatías.

4.7 Conclusions (English)

4.7.1 General conclusions

The general aim of this doctoral thesis was to analyse the application of loads in therapeutic exercise programmes in tendinopathies and the design of an original exercise programme based on the knowledge about the application of loads on the tendon.

Thus, this project provides the results of the study of the application of loads in the treatment of tendinopathy, analysed from different perspectives. The results obtained provide a better understanding of the evaluation of loads and the progression in their application; they also provide an original intervention methodology based on scientific evidence and clinical experience.



4.7.2 *Specific conclusions*

The specific conclusions of this doctoral thesis are listed below based on the previously established specific aims.

The first specific aim of this doctoral thesis was to analyse and describe the methods and techniques for in vivo quantification of the loads that act on the tendon in dynamic exercises used during rehabilitation, focusing on the advantages and limitations of each one. Consequently, the first specific conclusion is that:

1. There is a predominant use of indirect methods based on inverse dynamics; however, force transducers, optic fibre, and estimations from strain data are also described in the literature. Although these tools may be used in research to make general estimates of tendon loads, the invasiveness of some methods and the loss of immediacy of others make their implementation difficult in the clinical practice.

The second specific aim of this doctoral thesis was to analyse and describe the load progression criteria used in therapeutic exercise programmes in lower limb tendinopathies, as well as to compare their effectiveness in clinical and performance outcomes. Consequently, the second specific conclusion is that:

2. There is a predominant use of pain-based criteria, although the utilisation of these criteria is not supported by solid evidence. It is necessary to develop high-quality studies that compare different progression criteria applied to the same programme.

The third specific aim of this doctoral thesis was to integrate the knowledge acquired during its completion, together with the current evidence and the clinical experience of the doctoral student and his supervisors, to develop a common therapeutic exercise



protocol for the main tendinopathies of the lower limbs (Achilles, patellar and gluteal).

Consequently, the third specific conclusion is that:

3. The integration of the knowledge acquired with scientific evidence and clinical experience allowed developing a common 14-week (70 sessions) therapeutic exercise protocol for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies.

The fourth specific aim of this doctoral thesis was to develop a systematisation of exercise based on the differentiation of stages with different objectives depending on the different adaptations of the neuromuscular system. Consequently, the fourth specific conclusion is that:

4. The integration of the knowledge acquired with scientific evidence and clinical experience allowed developing a systematisation of exercise based on the differentiation of five stages (isometrics, general strength training, velocity-based strength training, high-load strength training, and jumps and plyometrics) with different objectives.

The fifth specific aim of this doctoral thesis was to develop a methodology for the quantification of the intensity of the loads based on specific tests for each of the aspects of the neuromuscular system worked. Consequently, the fifth specific conclusion is that:

5. The integration of the knowledge acquired with scientific evidence and clinical experience allowed developing a methodology for the quantification of the intensity of the loads based on specific tests designed to calculate the load required for the occurrence of fasciculations in a specific time (Stage 1), for the inability to continue moving the load after a certain time (Stages 2 and 4), to obtain a 20% loss of speed in a specific time (Stage 3), and to calculate the





maximum height that can be reached and maintained in repeated vertical jumps for a certain time (Stage 5).

The sixth specific aim of this doctoral thesis was to design a randomised controlled trial that allows studying the effectiveness of the previously proposed protocol. Consequently, the sixth specific conclusion is that:

6. The protocol of a single-blind, parallel, randomised controlled trial that will be conducted among people with Achilles, patellar, and gluteal tendinopathy was developed and published. The study was designed to assess the effect of a common exercise protocol for the three predominant lower limb tendinopathies, based on an individualised control of the dose and training of specific aspects of the neuromuscular system versus the current best practice in the treatment of each of the three studied lower limb tendinopathies.



REFERENCIAS



5. REFERENCIAS

- Abate, M., Schiavone, C., Salini, V., & Andia, I. (2013). Occurrence of tendon pathologies in metabolic disorders. *Rheumatology (Oxford, England)*, 52(4), 599-608. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kes395>
- Abate, M., Silbernagel, K. G., Siljeholm, C., Di Iorio, A., De Amicis, D., Salini, V., Werner, S., & Paganelli, R. (2009). Pathogenesis of tendinopathies: Inflammation or degeneration? *Arthritis Research & Therapy*, 11(3), 235. <https://doi.org/10.1186/ar2723>
- Ackermann, P. W., Salo, P., & Hart, D. A. (2016). Tendon Innervation. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 920, 35-51. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33943-6_4
- Albers, I. S., Zwerver, J., Diercks, R. L., Dekker, J. H., & Van den Akker-Scheek, I. (2016). Incidence and prevalence of lower extremity tendinopathy in a Dutch general practice population: A cross sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-0885-2>
- Alfredson, H., & Cook, J. (2007). A treatment algorithm for managing Achilles tendinopathy: New treatment options. *British Journal of Sports Medicine*, 41(4), 211-216. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.035543>
- Alfredson, H., Ohberg, L., & Forsgren, S. (2003). Is vasculo-neural ingrowth the cause of pain in chronic Achilles tendinosis? An investigation using ultrasonography and colour Doppler, immunohistochemistry, and diagnostic injections. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 11(5), 334-338. <https://doi.org/10.1007/s00167-003-0391-6>
- Alfredson, H., Pietilä, T., Jonsson, P., & Lorentzon, R. (1998). Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(3), 360-366. <https://doi.org/10.1177/03635465980260030301>
- Altman, D. G. (1996). Better reporting of randomised controlled trials: The CONSORT statement. *BMJ*, 313(7057), 570-571.





- Arampatzis, A., De Monte, G., Karamanidis, K., Morey-Klapsing, G., Stafilidis, S., & Brüggemann, G.-P. (2006). Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. *The Journal of Experimental Biology*, 209(Pt 17), 3345-3357. <https://doi.org/10.1242/jeb.02340>
- Arampatzis, A., Mersmann, F., & Bohm, S. (2020). Individualized Muscle-Tendon Assessment and Training. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2020.00723>
- Arena, R., Myers, J., Williams, M. A., Gulati, M., Kligfield, P., Balady, G. J., Collins, E., Fletcher, G., American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology, & American Heart Association Council on Cardiovascular Nursing. (2007). Assessment of functional capacity in clinical and research settings: A scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*, 116(3), 329-343. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.184461>
- Arnoczky, S. P., Lavagnino, M., & Egerbacher, M. (2007). The mechanobiological aetiopathogenesis of tendinopathy: Is it the over-stimulation or the under-stimulation of tendon cells? *International Journal of Experimental Pathology*, 88(4), 217-226. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2613.2007.00548.x>
- Arvidson, E., Dahlman, A. S., Börjesson, M., Gullstrand, L., & Jonsdottir, I. H. (2020). The effects of exercise training on hypothalamic-pituitary-adrenal axis reactivity and autonomic response to acute stress—A randomized controlled study. *Trials*, 21(1), 888. <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04803-3>
- Aström, M., & Rausing, A. (1995). Chronic Achilles tendinopathy. A survey of surgical and histopathologic findings. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 316, 151-164.





- Bahr, R., Fossan, B., Løken, S., & Engebretsen, L. (2006). Surgical treatment compared with eccentric training for patellar tendinopathy (Jumper's Knee). A randomized, controlled trial. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 88(8), 1689-1698. <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.01181>
- Baxter, J. R., Corrigan, P., Hullfish, T. J., O'Rourke, P., & Silbernagel, K. G. (2021). Exercise Progression to Incrementally Load the Achilles Tendon. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 53(1), 124-130. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002459>
- Behrmann, G. P., Hidler, J., & Mirotznik, M. S. (2012). Fiber optic micro sensor for the measurement of tendon forces. *Biomedical Engineering Online*, 11, 77. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-11-77>
- Benjamin, M., Kaiser, E., & Milz, S. (2008). Structure-function relationships in tendons: A review. *Journal of Anatomy*, 212(3), 211-228. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.00864.x>
- Beyer, R., Kongsgaard, M., Hougs Kjær, B., Øhlenschläger, T., Kjær, M., & Magnusson, S. P. (2015). Heavy Slow Resistance Versus Eccentric Training as Treatment for Achilles Tendinopathy: A Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(7), 1704-1711. <https://doi.org/10.1177/0363546515584760>
- Bojsen-Møller, J., & Magnusson, S. P. (2015). Heterogeneous Loading of the Human Achilles Tendon In Vivo. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 43(4), 190-197. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000062>
- Boutry, C. M., Kaizawa, Y., Schroeder, B. C., Chortos, A., Legrand, A., Wang, Z., Chang, J., Fox, P., & Bao, Z. (2018). A stretchable and biodegradable strain and pressure sensor for orthopaedic application. *Nature Electronics*, 1(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1038/s41928-018-0071-7>





- Bramer, W. M., Rethlefsen, M. L., Kleijnen, J., & Franco, O. H. (2017). Optimal database combinations for literature searches in systematic reviews: A prospective exploratory study. *Systematic Reviews*, 6(1), 245. <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0644-y>
- Breda, S. J., Oei, E. H. G., Zwerver, J., Visser, E., Waarsing, E., Krestin, G. P., & Vos, R.-J. de. (2021). Effectiveness of progressive tendon-loading exercise therapy in patients with patellar tendinopathy: A randomised clinical trial. *British Journal of Sports Medicine*, 55(9), 501-509. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103403>
- Brukner, P., & Khan, K. (2016). *Clinical Sports Medicine: Injuries, Fifth Edition*. McGraw-Hill Education Australia.
- Burry, H. C. (1978). Pathogenesis of some traumatic and degenerative disorders of soft tissue. *Australian and New Zealand Journal of Medicine*, 8 Suppl 1, 163-167. <https://doi.org/10.1111/j.1445-5994.1978.tb04816.x>
- Cardoso, T. B., Pizzari, T., Kinsella, R., Hope, D., & Cook, J. L. (2019). Current trends in tendinopathy management. *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology*, 33(1), 122-140. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.02.001>
- Carlsson, A. M. (1983). Assessment of chronic pain. I. Aspects of the reliability and validity of the visual analogue scale. *Pain*, 16(1), 87-101.
- Chaudhry, S., Morrissey, D., Woledge, R. C., Bader, D. L., & Screen, H. R. C. (2015). Eccentric and concentric loading of the triceps surae: An in vivo study of dynamic muscle and tendon biomechanical parameters. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(2), 69-78. <https://doi.org/10.1123/jab.213-0284>
- Chester, R., Costa, M. L., Shepstone, L., Cooper, A., & Donell, S. T. (2008). Eccentric calf muscle training compared with therapeutic ultrasound for chronic Achilles tendon pain—A pilot study. *Manual Therapy*, 13(6), 484-491. <https://doi.org/10.1016/j.math.2007.05.014>
- Chester, R., Jerosch-Herold, C., Lewis, J., & Shepstone, L. (2018). Psychological factors are associated with the outcome of physiotherapy for people with shoulder pain: A





- multicentre longitudinal cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 52(4), 269-275.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096084>
- Chimenti, R. L., Cychosz, C. C., Hall, M. M., & Phisitkul, P. (2017). Current Concepts Review Update: Insertional Achilles Tendinopathy. *Foot & Ankle International*, 38(10), 1160-1169. <https://doi.org/10.1177/1071100717723127>
- Chimenti, R. L., Hall, M. M., Dilger, C. P., Merriwether, E. N., Wilken, J. M., & Sluka, K. A. (2020). Local Anesthetic Injection Resolves Movement Pain, Motor Dysfunction, and Pain Catastrophizing in Individuals With Chronic Achilles Tendinopathy: A Nonrandomized Clinical Trial. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 50(6), 334-343. <https://doi.org/10.2519/jospt.2020.9242>
- Cleather, D. J., & Bull, A. M. J. (2015). The development of a segment-based musculoskeletal model of the lower limb: Introducing FreeBody. *Royal Society Open Science*, 2(6), 140449. <https://doi.org/10.1098/rsos.140449>
- Clifford, C., Paul, L., Syme, G., & Millar, N. L. (2019). Isometric versus isotonic exercise for greater trochanteric pain syndrome: A randomised controlled pilot study. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1), e000558. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000558>
- Cognetti, D. J., Sheean, A. J., Arner, J. W., Wilkerson, D., & Bradley, J. P. (2022). Surgical Management of Patellar Tendinopathy Results in Improved Outcomes and High Rates of Return to Sport: A Systematic Review. *The Journal of Knee Surgery*. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1757701>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.^a ed.). L. Erlbaum Associates.
- Cook, J. L., Kiss, Z. S., Ptasznik, R., & Malliaras, P. (2005). Is vascularity more evident after exercise? Implications for tendon imaging. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 185(5), 1138-1140. <https://doi.org/10.2214/AJR.04.1205>





- Cook, J. L., & Purdam, C. (2012). Is compressive load a factor in the development of tendinopathy? *British Journal of Sports Medicine*, 46(3), 163-168. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090414>
- Cook, J. L., & Purdam, C. R. (2009). Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 43(6), 409-416. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.051193>
- Cook, J. L., Rio, E., Purdam, C. R., & Docking, S. I. (2016). Revisiting the continuum model of tendon pathology: What is its merit in clinical practice and research? *British Journal of Sports Medicine*, 50(19), 1187-1191. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095422>
- Cook, J. L., Rio, E., Purdam, C. R., Girdwood, M., Ortega-Cebrian, S., & Docking, S. I. (2017). El continuum de la patología de tendón: Concepto actual e implicaciones clínicas. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 52(194), 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2017.05.002>
- Cook, J., Rodas, G., McCall, A., Pruna, R., & Til, L. (2021). *Tendon injuries in football players: FC Barcelona 2021 tendon guide*. Barça Innovation Hub.
- Coombes, B. K., Bisset, L., & Vicenzino, B. (2015). Management of Lateral Elbow Tendinopathy: One Size Does Not Fit All. *JOSPT Cases*, 45(11), 938-949. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5841>
- Corps, A. N., Robinson, A. H. N., Movin, T., Costa, M. L., Hazleman, B. L., & Riley, G. P. (2006). Increased expression of aggrecan and biglycan mRNA in Achilles tendinopathy. *Rheumatology*, 45(3), 291-294. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kei152>
- Corradi, E. F. F., Lanza, M. B., Lacerda, L. T., Andrushko, J. W., Martins-Costa, H. C., Diniz, R. C. R., Lima, F. V., & Chagas, M. H. (2021). Acute physiological responses with varying load or time under tension during a squat exercise: A randomized cross-over design. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(2), 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.07.015>





- Corrigan, P., Cortes, D. H., Pohlig, R. T., & Grävare Silbernagel, K. (2020). Tendon Morphology and Mechanical Properties Are Associated With the Recovery of Symptoms and Function in Patients With Achilles Tendinopathy. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(4), 2325967120917271. <https://doi.org/10.1177/2325967120917271>
- Corrigan, P., Cortes, D. H., Pontiggia, L., & Silbernagel, K. G. (2018). THE DEGREE OF TENDINOSIS IS RELATED TO SYMPTOM SEVERITY AND PHYSICAL ACTIVITY LEVELS IN PATIENTS WITH MIDPORTION ACHILLES TENDINOPATHY. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(2), 196-207.
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J. F., & Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1381-1395. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB>
- Cuesta-Vargas, A. I., Gabel, C. P., & Bennett, P. (2014). Cross cultural adaptation and validation of a Spanish version of the Lower Limb Functional Index. *Health and Quality of Life Outcomes*, 12, 75. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-12-75>
- Cuesta-Vargas, A. I., & González-Sánchez, M. (2014). Spanish version of the screening Örebro Musculoskeletal Pain Questionnaire: A cross-cultural adaptation and validation. *Health and Quality of Life Outcomes*, 12. <https://doi.org/10.1186/s12955-014-0157-5>
- Cuesta-Vargas, A. I., Roldan-Jimenez, C., Neblett, R., & Gatchel, R. J. (2016). Cross-cultural adaptation and validity of the Spanish central sensitization inventory. *SpringerPlus*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3515-4>
- Cunha, R. A. da, Dias, A. N., Santos, M. B., & Lopes, A. D. (2012). Comparative study of two protocols of eccentric exercise on knee pain and function in athletes with patellar tendinopathy: Randomized controlled study. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18(3), 167-170. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922012000300006>





- Cushman, D., & Rho, M. E. (2015). Conservative Treatment of Subacute Proximal Hamstring Tendinopathy Using Eccentric Exercises Performed With a Treadmill: A Case Report. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(7), 557-562. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5762>
- Day, J. M., Lucado, A. M., Dale, R. B., Merriman, H., Marker, C. D., & Uhl, T. L. (2021). The Effect of Scapular Muscle Strengthening on Functional Recovery in Patients With Lateral Elbow Tendinopathy: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(5), 744-753. <https://doi.org/10.1123/jsr.2020-0203>
- de Jonge, S., Tol, J. L., Weir, A., Waarsing, J. H., Verhaar, J. A. N., & de Vos, R.-J. (2015). The Tendon Structure Returns to Asymptomatic Values in Nonoperatively Treated Achilles Tendinopathy but Is Not Associated With Symptoms: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(12), 2950-2958. <https://doi.org/10.1177/0363546515605077>
- de Morton, N. A. (2009). The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: A demographic study. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 55(2), 129-133. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(09\)70043-1](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(09)70043-1)
- Dean, B. J. F., Gettings, P., Dakin, S. G., & Carr, A. J. (2016). Are inflammatory cells increased in painful human tendinopathy? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(4), 216-220. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094754>
- Delp, S. L., Loan, J. P., Hoy, M. G., Zajac, F. E., Topp, E. L., & Rosen, J. M. (1990). An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedic surgical procedures. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 37(8), 757-767. <https://doi.org/10.1109/10.102791>
- Dennerlein, J. T., Miller, J. M., Mote, C. D. J., & Rempel, D. M. (1997). A low profile human tendon force transducer: The influence of tendon thickness on calibration. *Journal of Biomechanics*, 30(4), 395-397. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(96\)00158-3](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(96)00158-3)





- Dick, T. J. M., Arnold, A. S., & Wakeling, J. M. (2016). Quantifying Achilles tendon force in vivo from ultrasound images. *Journal of Biomechanics*, 49(14), 3200-3207. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.07.036>
- Dienstbier, R. A. (1991). Behavioral correlates of sympathoadrenal reactivity: The toughness model. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(7), 846-852.
- Dillon, E. M., Erasmus, P. J., Müller, J. H., Scheffer, C., & de Villiers, R. V. P. (2008). Differential forces within the proximal patellar tendon as an explanation for the characteristic lesion of patellar tendinopathy: An in vivo descriptive experimental study. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(11), 2119-2127. <https://doi.org/10.1177/0363546508319311>
- Docking, S. I., & Cook, J. (2016). Pathological tendons maintain sufficient aligned fibrillar structure on ultrasound tissue characterization (UTC). *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(6), 675-683. <https://doi.org/10.1111/sms.12491>
- Docking, S. I., & Cook, J. (2019). How do tendons adapt? Going beyond tissue responses to understand positive adaptation and pathology development: A narrative review. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 19(3), 300-310.
- Docking, S. I., Daffy, J., van Schie, H. T. M., & Cook, J. L. (2012). Tendon structure changes after maximal exercise in the Thoroughbred horse: Use of ultrasound tissue characterisation to detect in vivo tendon response. *Veterinary Journal*, 194(3), 338-342. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.04.024>
- Docking, S. I., Ooi, C. C., & Connell, D. (2015). Tendinopathy: Is Imaging Telling Us the Entire Story? *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(11), 842-852. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5880>
- Drew, B. T., Smith, T. O., Littlewood, C., & Sturrock, B. (2014). Do structural changes (eg, collagen/matrix) explain the response to therapeutic exercises in tendinopathy: A



- systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 48(12), 966-972.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091285>
- Dumas, R., Barré, A., Moissenet, F., & Aissaoui, R. (2019). Can a reduction approach predict reliable joint contact and musculo-tendon forces? *Journal of Biomechanics*, 95, 109329.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109329>
- Earp, J. E., Newton, R. U., Cormie, P., & Blazeovich, A. J. (2016). Faster Movement Speed Results in Greater Tendon Strain during the Loaded Squat Exercise. *Frontiers in Physiology*, 7, 366.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00366>
- Eckenrode, B. J., Kietrys, D. M., & Stackhouse, S. K. (2019). PAIN SENSITIVITY IN CHRONIC ACHILLES TENDINOPATHY. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(6), 945-956.
- Edgar, N., Clifford, C., O'Neill, S., Pedret, C., Kirwan, P., & Millar, N. L. (2022). Biopsychosocial approach to tendinopathy. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 8(3), e001326.
<https://doi.org/10.1136/bmjsem-2022-001326>
- Edsfeldt, S., Rempel, D., Kurska, K., Diao, E., & Lattanza, L. (2015). In vivo flexor tendon forces generated during different rehabilitation exercises. *The Journal of Hand Surgery, European Volume*, 40(7), 705-710. <https://doi.org/10.1177/1753193415591491>
- Enoka, R. M. (2019). Physiological Validation of the Decomposition of Surface EMG Signals. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.03.010>
- Färnqvist, K., Pearson, S., & Malliaras, P. (2020). Adaptation of Tendon Structure and Function in Tendinopathy With Exercise and Its Relationship to Clinical Outcome. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(1), 107-115. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0353>
- Farris, D. J., Buckeridge, E., Trewartha, G., & McGuigan, M. P. (2012). The effects of orthotic heel lifts on Achilles tendon force and strain during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 28(5), 511-519. <https://doi.org/10.1123/jab.28.5.511>



- Fearon, A. M., Ganderton, C., Scarvell, J. M., Smith, P. N., Neeman, T., Nash, C., & Cook, J. L. (2015). Development and validation of a VISA tendinopathy questionnaire for greater trochanteric pain syndrome, the VISA-G. *Manual Therapy, 20*(6), 805-813. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.03.009>
- Fenwick, S. A., Hazleman, B. L., & Riley, G. P. (2002). The vasculature and its role in the damaged and healing tendon. *Arthritis Research, 4*(4), 252-260.
- Ferguson, B. (2014). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 9th Ed. 2014. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association, 58*(3), 328.
- Finni, T., Komi, P. V., & Lukkariniemi, J. (1998). Achilles tendon loading during walking: Application of a novel optic fiber technique. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 77*(3), 289-291. <https://doi.org/10.1007/s004210050335>
- Fiuza-Luces, C., Garatachea, N., Berger, N. A., & Lucia, A. (2013). Exercise is the real polypill. *Physiology, 28*(5), 330-358. <https://doi.org/10.1152/physiol.00019.2013>
- Fleming, B. C., & Beynon, B. D. (2004). In vivo measurement of ligament/tendon strains and forces: A review. *Annals of Biomedical Engineering, 32*(3), 318-328. <https://doi.org/10.1023/b:abme.0000017542.75080.86>
- Franceschi, F., Papalia, R., Paciotti, M., Franceschetti, E., Di Martino, A., Maffulli, N., & Denaro, V. (2014). Obesity as a risk factor for tendinopathy: A systematic review. *International Journal of Endocrinology, 2014*, 670262. <https://doi.org/10.1155/2014/670262>
- Franchi, M., Ottani, V., Stagni, R., & Ruggeri, A. (2010). Tendon and ligament fibrillar crimps give rise to left-handed helices of collagen fibrils in both planar and helical crimps. *Journal of Anatomy, 216*(3), 301-309. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2009.01188.x>
- Franz, J. R., Slane, L. C., Rasske, K., & Thelen, D. G. (2015). Non-uniform in vivo deformations of the human Achilles tendon during walking. *Gait & Posture, 41*(1), 192-197. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.10.001>





- Fredberg, U., & Bolvig, L. (2002). Significance of ultrasonographically detected asymptomatic tendinosis in the patellar and achilles tendons of elite soccer players: A longitudinal study. *The American Journal of Sports Medicine*, 30(4), 488-491. <https://doi.org/10.1177/03635465020300040701>
- Fredberg, U., & Stengaard-Pedersen, K. (2008). Chronic tendinopathy tissue pathology, pain mechanisms, and etiology with a special focus on inflammation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(1), 3-15. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00746.x>
- Frohm, A., Halvorsen, K., & Thorstensson, A. (2007). Patellar tendon load in different types of eccentric squats. *Clinical Biomechanics*, 22(6), 704-711. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.12.006>
- Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273-280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Gabel, C. P., Melloh, M., Burkett, B., & Michener, L. A. (2012). Lower limb functional index: Development and clinimetric properties. *Physical Therapy*, 92(1), 98-110. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100199>
- Ganderton, C., Semciw, A., Cook, J., Moreira, E., & Pizzari, T. (2018). Gluteal Loading Versus Sham Exercises to Improve Pain and Dysfunction in Postmenopausal Women with Greater Trochanteric Pain Syndrome: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Women's Health*, 27(6), 815-829. <https://doi.org/10.1089/jwh.2017.6729>
- Gao, L., Lu, Z., Liang, M., Baker, J. S., & Gu, Y. (2022). Influence of Different Load Conditions on Lower Extremity Biomechanics during the Lunge Squat in Novice Men. *Bioengineering*, 9(7), 272. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9070272>
- Gatz, M., Betsch, M., Dirrichs, T., Schrading, S., Tingart, M., Michalik, R., & Quack, V. (2020). Eccentric and Isometric Exercises in Achilles Tendinopathy Evaluated by the VISA-A Score



- and Shear Wave Elastography. *Sports Health*, 12(4), 373-381.
<https://doi.org/10.1177/1941738119893996>
- Gheidi, N., Kernozek, T. W., Willson, J. D., Revak, A., & Diers, K. (2018). Achilles tendon loading during weight bearing exercises. *Physical Therapy in Sport*, 32, 260-268.
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.05.007>
- Gisslèn, K., Gyulai, C., Söderman, K., & Alfredson, H. (2005). High prevalence of jumper's knee and sonographic changes in Swedish elite junior volleyball players compared to matched controls. *British Journal of Sports Medicine*, 39(5), 298-301.
<https://doi.org/10.1136/bjism.2004.014290>
- Glos, D. L., Butler, D. L., Grood, E. S., & Levy, M. S. (1993). In vitro evaluation of an implantable force transducer (IFT) in a patellar tendon model. *Journal of Biomechanical Engineering*, 115(4A), 335-343. <https://doi.org/10.1115/1.2895495>
- Goerl, K. (2020). Getting tendinopathy treatment (and terminology) right. *The Journal of Family Practice*, 69(3), 127-134.
- Grimaldi, A., & Fearon, A. (2015). Gluteal Tendinopathy: Integrating Pathomechanics and Clinical Features in Its Management. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(11), 910-922. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5829>
- Guyatt, G. H., Oxman, A. D., Vist, G. E., Kunz, R., Falck-Ytter, Y., Alonso-Coello, P., & Schünemann, H. J. (2008). GRADE: An emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*, 336(7650), 924-926.
<https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>
- Habets, B., & van Cingel, R. E. H. (2015a). Eccentric exercise training in chronic mid-portion Achilles tendinopathy: A systematic review on different protocols. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(1), 3-15. <https://doi.org/10.1111/sms.12208>



- Habets, B., & van Cingel, R. E. H. (2015b). Eccentric exercise training in chronic mid-portion Achilles tendinopathy: A systematic review on different protocols. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(1), 3-15. <https://doi.org/10.1111/sms.12208>
- Habets, B., van Cingel, R. E. H., Backx, F. J. G., & Huisstede, B. M. A. (2017). Alfredson versus Silbernagel exercise therapy in chronic midportion Achilles tendinopathy: Study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 18(1), 296. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1656-4>
- Häkkinen, K., & Keskinen, K. L. (1989). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(3), 215-220. <https://doi.org/10.1007/BF02386190>
- Hanlon, S. L., Pohlig, R. T., & Silbernagel, K. G. (2021). Beyond the Diagnosis: Using Patient Characteristics and Domains of Tendon Health to Identify Latent Subgroups of Achilles Tendinopathy. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 51(9), 440-448. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.10271>
- Heales, L. J., Lim, E. C. W., Hodges, P. W., & Vicenzino, B. (2014). Sensory and motor deficits exist on the non-injured side of patients with unilateral tendon pain and disability—Implications for central nervous system involvement: A systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(19), 1400-1406. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092535>
- Heinemeier, K. M., Schjerling, P., Heinemeier, J., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2013). Lack of tissue renewal in human adult Achilles tendon is revealed by nuclear bomb (14)C. *FASEB Journal*, 27(5), 2074-2079. <https://doi.org/10.1096/fj.12-225599>
- Heinemeier, K. M., Schjerling, P., Øhlenschläger, T. F., Eismark, C., Olsen, J., & Kjær, M. (2018). Carbon-14 bomb pulse dating shows that tendinopathy is preceded by years of



- abnormally high collagen turnover. *FASEB Journal*, 32(9), 4763-4775.
<https://doi.org/10.1096/fj.201701569R>
- Hernandez, G., Garin, O., Pardo, Y., Vilagut, G., Pont, À., Suárez, M., Neira, M., Rajmil, L., Gorostiza, I., Ramallo-Fariña, Y., Cabases, J., Alonso, J., & Ferrer, M. (2018). Validity of the EQ-5D-5L and reference norms for the Spanish population. *Quality of Life Research*, 27(9), 2337-2348. <https://doi.org/10.1007/s11136-018-1877-5>
- Hernandez-Sanchez, S., Hidalgo, M. D., & Gomez, A. (2011). Cross-cultural adaptation of VISA-P score for patellar tendinopathy in Spanish population. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 41(8), 581-591. <https://doi.org/10.2519/jospt.2011.3613>
- Hernandez-Sanchez, S., Hidalgo, M. D., & Gomez, A. (2014). Responsiveness of the VISA-P scale for patellar tendinopathy in athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 48(6), 453-457. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091163>
- Hernández-Sánchez, S., Poveda-Pagán, E. J., Alakhdar-Mohmara, Y., Hidalgo, M. D., Fernández-de-Las-Peñas, C., & Arias-Buría, J. L. (2018). Cross-cultural Adaptation of the Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles (VISA-A) Questionnaire for Spanish Athletes With Achilles Tendinopathy. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 48(2), 111-120. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.7402>
- Herzog, W., & Read, L. J. (1993). Lines of action and moment arms of the major force-carrying structures crossing the human knee joint. *Journal of Anatomy*, 182(Pt 2), 213-230.
- Hof, A. L., Van Zandwijk, J. P., & Bobbert, M. F. (2002). Mechanics of human triceps surae muscle in walking, running and jumping. *Acta Physiologica Scandinavica*, 174(1), 17-30. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2002.00917.x>
- Holden, S., Lyng, K., Graven-Nielsen, T., Riel, H., Olesen, J. L., Larsen, L. H., & Rathleff, M. S. (2019). Isometric exercise and pain in patellar tendinopathy: A randomized crossover trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.09.015>



- Horstmann, T., Jud, H. M., Fröhlich, V., Mündermann, A., & Grau, S. (2013). Whole-body vibration versus eccentric training or a wait-and-see approach for chronic Achilles tendinopathy: A randomized clinical trial. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(11), 794-803. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4762>
- Huang, L., Korhonen, R. K., Turunen, M. J., & Finnilä, M. A. J. (2019). Experimental mechanical strain measurement of tissues. *PeerJ*, 7, e6545. <https://doi.org/10.7717/peerj.6545>
- Järvinen, M., Józsa, L., Kannus, P., Järvinen, T. L., Kvist, M., & Leadbetter, W. (1997). Histopathological findings in chronic tendon disorders. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 7(2), 86-95. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00124.x>
- Jayaseelan, D. J., Weber, M. J., & Jonely, H. (2019). Potential Nervous System Sensitization in Patients With Persistent Lower Extremity Tendinopathies: 3 Case Reports. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 49(4), 272-279. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8600>
- Jenkins, N. D. M., Miramonti, A. A., Hill, E. C., Smith, C. M., Cochrane-Snyman, K. C., Housh, T. J., & Cramer, J. T. (2017). Greater Neural Adaptations following High- vs. Low-Load Resistance Training. *Frontiers in Physiology*, 8, 331. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00331>
- Jensen, K., & Di Fabio, R. P. (1989). Evaluation of eccentric exercise in treatment of patellar tendinitis. *Physical Therapy*, 69(3), 211-216.
- Jonsson, P., & Alfredson, H. (2005). Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: A prospective randomised study. *British Journal of Sports Medicine*, 39(11), 847-850. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018630>
- Joseph, C. W., Bradshaw, E. J., Furness, T. P., Kemp, J., & Clark, R. A. (2016). Early changes in Achilles tendon behaviour in vivo following downhill backwards walking. *Journal of Sports Sciences*, 34(13), 1215-1221. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1102955>





- Józsa, L., & Kannus, P. (1997). Histopathological findings in spontaneous tendon ruptures. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 7(2), 113-118. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00127.x>
- Kearney, R. S., Parsons, N., & Costa, M. L. (2013). Achilles tendinopathy management: A pilot randomised controlled trial comparing platelet-rich plasma injection with an eccentric loading programme. *Bone & Joint Research*, 2(10), 227-232. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.210.2000200>
- Kernozek, T., Gheidi, N., & Ragan, R. (2017). Comparison of estimates of Achilles tendon loading from inverse dynamics and inverse dynamics-based static optimisation during running. *Journal of Sports Sciences*, 35(21), 2073-2079. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1255769>
- Kettunen, J. A., Kvist, M., Alanen, E., & Kujala, U. M. (2002). Long-term prognosis for jumper's knee in male athletes. A prospective follow-up study. *The American Journal of Sports Medicine*, 30(5), 689-692. <https://doi.org/10.1177/03635465020300051001>
- Khalil, H., Peters, M., Godfrey, C. M., McInerney, P., Soares, C. B., & Parker, D. (2016). An Evidence-Based Approach to Scoping Reviews. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 13(2), 118-123. <https://doi.org/10.1111/wvn.12144>
- Khan, K., Forster, B., Robinson, J., Cheong, Y., Louis, L., Maclean, L., & Taunton, J. (2003). Are ultrasound and magnetic resonance imaging of value in assessment of Achilles tendon disorders? A two year prospective study. *British Journal of Sports Medicine*, 37(2), 149-153. <https://doi.org/10.1136/bjism.37.2.149>
- Khan, K. M., Cook, J. L., Bonar, F., Harcourt, P., & Astrom, M. (1999). Histopathology of common tendinopathies. Update and implications for clinical management. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 27(6), 393-408.
- Khan, K. M., Cook, J. L., Kannus, P., Maffulli, N., & Bonar, S. F. (2002). Time to abandon the «tendinitis» myth. *BMJ*, 324(7338), 626-627. <https://doi.org/10.1136/bmj.324.7338.626>





- Klimstra, M., Dowling, J., Durkin, J. L., & MacDonald, M. (2007). The effect of ultrasound probe orientation on muscle architecture measurement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *17*(4), 504-514. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.04.011>
- Knobloch, K. (2007). Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *17*(3), 298-299. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00652.x>
- Komi, P. V., Belli, A., Huttunen, V., Bonnefoy, R., Geysant, A., & Lacour, J. R. (1996). Optic fibre as a transducer of tendomuscular forces. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *72*(3), 278-280.
- Kongsgaard, M., Aagaard, P., Roikjaer, S., Olsen, D., Jensen, M., Langberg, H., & Magnusson, S. P. (2006). Decline eccentric squats increases patellar tendon loading compared to standard eccentric squats. *Clinical Biomechanics*, *21*(7), 748-754. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.03.004>
- Kongsgaard, M., Kovanen, V., Aagaard, P., Doessing, S., Hansen, P., Laursen, A. H., Kaldau, N. C., Kjaer, M., & Magnusson, S. P. (2009). Corticosteroid injections, eccentric decline squat training and heavy slow resistance training in patellar tendinopathy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *19*(6), 790-802. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00949.x>
- Kosek, E., Clauw, D., Nijs, J., Baron, R., Gilron, I., Harris, R. E., Mico, J.-A., Rice, A. S. C., & Sterling, M. (2021). Chronic nociplastic pain affecting the musculoskeletal system: Clinical criteria and grading system. *PAIN*, *162*(11), 2629-2634. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002324>
- Kountouris, A., & Cook, J. (2007). Rehabilitation of Achilles and patellar tendinopathies. *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology*, *21*(2), 295-316. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2006.12.003>





- Kozlovskaia, M., Vlahovich, N., Ashton, K. J., & Hughes, D. C. (2017). Biomedical Risk Factors of Achilles Tendinopathy in Physically Active People: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*, 3(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0087-y>
- Krevolin, J. L., Pandya, M. G., & Pearce, J. C. (2004). Moment arm of the patellar tendon in the human knee. *Journal of Biomechanics*, 37(5), 785-788. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.09.010>
- Kubo, K., Ikebukuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., & Kanehisa, H. (2010). Time course of changes in muscle and tendon properties during strength training and detraining. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 322-331. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c865e2>
- Kujala, U. M., Sarna, S., & Kaprio, J. (2005). Cumulative incidence of achilles tendon rupture and tendinopathy in male former elite athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 15(3), 133-135. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000165347.55638.23>
- Kursa, K., Lattanza, L., Diao, E., & Rempel, D. (2006). In vivo flexor tendon forces increase with finger and wrist flexion during active finger flexion and extension. *Journal of Orthopaedic Research*, 24(4). <https://doi.org/10.1002/jor.20110>
- Leadbetter, W. B. (1992). Cell-matrix response in tendon injury. *Clinics in Sports Medicine*, 11(3), 533-578.
- Lian, O. B., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2005). Prevalence of jumper's knee among elite athletes from different sports: A cross-sectional study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 561-567. <https://doi.org/10.1177/0363546504270454>
- Lichtwark, G. A., Bougoulas, K., & Wilson, A. M. (2007). Muscle fascicle and series elastic element length changes along the length of the human gastrocnemius during walking and running. *Journal of Biomechanics*, 40(1), 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.10.035>



- Lichtwark, G. A., & Wilson, A. M. (2005). In vivo mechanical properties of the human Achilles tendon during one-legged hopping. *The Journal of Experimental Biology*, 208(Pt 24), 4715-4725. <https://doi.org/10.1242/jeb.01950>
- Linton, S. J., & Boersma, K. (2003). Early identification of patients at risk of developing a persistent back problem: The predictive validity of the Orebro Musculoskeletal Pain Questionnaire. *The Clinical Journal of Pain*, 19(2), 80-86.
- Louw, A., Sluka, K. A., Nijs, J., Courtney, C. A., & Zimney, K. (2021). Revisiting the Provision of Pain Neuroscience Education: An Adjunct Intervention for Patients but a Primary Focus of Clinician Education. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 51(2), 57-59. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.9804>
- Lui, P. P. Y. (2017). Tendinopathy in diabetes mellitus patients-Epidemiology, pathogenesis, and management. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(8), 776-787. <https://doi.org/10.1111/sms.12824>
- Maffulli, N., Ewen, S. W., Waterston, S. W., Reaper, J., & Barrass, V. (2000). Tenocytes from ruptured and tendinopathic achilles tendons produce greater quantities of type III collagen than tenocytes from normal achilles tendons. An in vitro model of human tendon healing. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(4), 499-505. <https://doi.org/10.1177/03635465000280040901>
- Maffulli, N., Saxena, A., Wagner, E., & Torre, G. (2019). Achilles insertional tendinopathy: State of the art. *Journal of ISAKOS*, 4(1), 48-57. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2017-000144>
- Mafi, N., Lorentzon, R., & Alfredson, H. (2001). Superior short-term results with eccentric calf muscle training compared to concentric training in a randomized prospective multicenter study on patients with chronic Achilles tendinosis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9(1), 42-47. <https://doi.org/10.1007/s001670000148>
- Maganaris, C. N., Chatzistergos, P., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Quantification of Internal Stress-Strain Fields in Human Tendon: Unraveling the Mechanisms that Underlie



- Regional Tendon Adaptations and Mal-Adaptations to Mechanical Loading and the Effectiveness of Therapeutic Eccentric Exercise. *Frontiers in Physiology*, 8, 91. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00091>
- Magnusson, S. P., Langberg, H., & Kjaer, M. (2010). The pathogenesis of tendinopathy: Balancing the response to loading. *Nature Reviews. Rheumatology*, 6(5), 262-268. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2010.43>
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713-721.
- Malliaras, P. (2017). Understanding mechanisms to improve exercise interventions in tendinopathy. *Physical Therapy in Sport*, 27, 50-51. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.12.006>
- Malliaras, P., Barton, C. J., Reeves, N. D., & Langberg, H. (2013). Achilles and patellar tendinopathy loading programmes: A systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sports Medicine*, 43(4), 267-286. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0019-z>
- Malliaras, P., Cook, J., Purdam, C., & Rio, E. (2015). Patellar Tendinopathy: Clinical Diagnosis, Load Management, and Advice for Challenging Case Presentations. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(11), 887-898. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5987>
- Malliaras, P., & O'Neill, S. (2017). Potential risk factors leading to tendinopathy. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 52(194), 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2017.06.001>
- Malliaras, P., Purdam, C., Maffulli, N., & Cook, J. (2010). Temporal sequence of greyscale ultrasound changes and their relationship with neovascularity and pain in the patellar tendon. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 944-947. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.054916>





- Martinez-Valdes, E., Falla, D., Negro, F., Mayer, F., & Farina, D. (2017). Differential Motor Unit Changes after Endurance or High-Intensity Interval Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *49*(6), 1126-1136. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001209>
- Martinez-Valdes, E., Laine, C. M., Falla, D., Mayer, F., & Farina, D. (2016). High-density surface electromyography provides reliable estimates of motor unit behavior. *Clinical Neurophysiology*, *127*(6), 2534-2541. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.10.065>
- Mascaró, A., Cos, M. À., Morral, A., Roig, A., Purdam, C., & Cook, J. (2018). Load management in tendinopathy: Clinical progression for Achilles and patellar tendinopathy. *Apunts. Medicina de l'Esport*, *53*(197), 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2017.11.005>
- Mayer, T. G., Neblett, R., Cohen, H., Howard, K. J., Choi, Y. H., Williams, M. J., Perez, Y., & Gatchel, R. J. (2012). The development and psychometric validation of the central sensitization inventory. *Pain Practice*, *12*(4), 276-285. <https://doi.org/10.1111/j.1533-2500.2011.00493.x>
- Mc Auliffe, S., Bisset, L., Chester, R., Coombes, B. K., Fearon, A., Kirwan, P., McCreesh, K., Mitham, K., Morrissey, D., O'Neill, S., Ross, M. H., Sancho, I., Stephens, G., Vallance, P., van den Akker-Scheek, I., Vicenzino, B., Vuvan, V., Mallows, A., Stubbs, C., ... Plinsinga, M. (2022). ICON 2020—International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: A Scoping Review of Psychological and Psychosocial Constructs and Outcome Measures Reported in Tendinopathy Clinical Trials. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *52*(6), 375-388. <https://doi.org/10.2519/jospt.2022.11005>
- McAuliffe, S., McCreesh, K., Culloty, F., Purtill, H., & O'Sullivan, K. (2016). Can ultrasound imaging predict the development of Achilles and patellar tendinopathy? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(24), 1516-1523. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096288>
- Mellor, R., Bennell, K., Grimaldi, A., Nicolson, P., Kasza, J., Hodges, P., Wajswelner, H., & Vicenzino, B. (2018). Education plus exercise versus corticosteroid injection use versus a





- wait and see approach on global outcome and pain from gluteal tendinopathy: Prospective, single blinded, randomised clinical trial. *British Journal of Sports Medicine*, 52(22), 1464-1472. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-k1662rep>
- Merry, K., Napier, C., Waugh, C. M., & Scott, A. (2022). Foundational Principles and Adaptation of the Healthy and Pathological Achilles Tendon in Response to Resistance Exercise: A Narrative Review and Clinical Implications. *Journal of Clinical Medicine*, 11(16), 4722. <https://doi.org/10.3390/jcm11164722>
- Millar, N. L., Murrell, G. A. C., & McInnes, I. B. (2017). Inflammatory mechanisms in tendinopathy – towards translation. *Nature Reviews Rheumatology*, 13(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2016.213>
- Millar, N. L., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Kirwan, P. D., Galatz, L. M., Abrams, G. D., Murrell, G. A. C., McInnes, I. B., & Rodeo, S. A. (2021). Tendinopathy. *Nature Reviews Disease Primers*, 7(1), 1-21. <https://doi.org/10.1038/s41572-020-00234-1>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), 1006-1012. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.005>
- Muff, G., Dufour, S., Meyer, A., Severac, F., Favret, F., Geny, B., Lecocq, J., & Isner-Horobeti, M.-E. (2016). Comparative assessment of knee extensor and flexor muscle strength measured using a hand-held vs. Isokinetic dynamometer. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(9), 2445-2451. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2445>
- Murphy, M., Travers, M., Gibson, W., Chivers, P., Debenham, J., Docking, S., & Rio, E. (2018). Rate of Improvement of Pain and Function in Mid-Portion Achilles Tendinopathy with Loading Protocols: A Systematic Review and Longitudinal Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(8), 1875-1891. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0932-2>
- Neblett, R., Mayer, T. G., Hartzell, M. M., Williams, M. J., & Gatchel, R. J. (2016). The Fear-avoidance Components Scale (FACS): Development and Psychometric Evaluation of a





- New Measure of Pain-related Fear Avoidance. *Pain Practice*, 16(4), 435-450.
<https://doi.org/10.1111/papr.12333>
- Negro, F., Muceli, S., Castronovo, A. M., Holobar, A., & Farina, D. (2016). Multi-channel intramuscular and surface EMG decomposition by convolutive blind source separation. *Journal of Neural Engineering*, 13(2), 026027. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/13/2/026027>
- Nielsen, R. O., Cederholm, P., Buist, I., Sørensen, H., Lind, M., & Rasmussen, S. (2013). Can GPS be used to detect deleterious progression in training volume among runners? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1471-1478.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182711e3c>
- Niesen-Vertommen, S. L., Taunton, J. E., Clement, D. B., & Mosher, R. E. (1992). The effect of eccentric versus concentric exercise in the management of Achilles tendonitis. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2(2), 109-113.
- Nijs, J., George, S. Z., Clauw, D. J., Fernández-de-las-Peñas, C., Kosek, E., Ickmans, K., Fernández-Carnero, J., Polli, A., Kapreli, E., Huysmans, E., Cuesta-Vargas, A. I., Mani, R., Lundberg, M., Leysen, L., Rice, D., Sterling, M., & Curatolo, M. (2021). Central sensitisation in chronic pain conditions: Latest discoveries and their potential for precision medicine. *The Lancet Rheumatology*, 3(5), e383-e392. [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(21\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(21)00032-1)
- Nikanjam, M., Kursu, K., Lehman, S., Lattanza, L., Diao, E., & Rempel, D. (2007). Finger flexor motor control patterns during active flexion: An in vivo tendon force study. *Human Movement Science*, 26(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.09.002>
- Noback, P. C., Freibott, C. E., Tantigate, D., Jang, E., Greisberg, J. K., Wong, T., & Vosseller, J. T. (2018). Prevalence of Asymptomatic Achilles Tendinosis. *Foot & Ankle International*, 39(10), 1205-1209. <https://doi.org/10.1177/1071100718778592>



- Nørregaard, J., Larsen, C. C., Bieler, T., & Langberg, H. (2007). Eccentric exercise in treatment of Achilles tendinopathy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(2), 133-138. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00545.x>
- Nourissat, G., Berenbaum, F., & Duprez, D. (2015). Tendon injury: From biology to tendon repair. *Nature Reviews Rheumatology*, 11(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2015.26>
- O'Brien, M. (1997). Structure and metabolism of tendons. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 7(2), 55-61. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00119.x>
- Pareja-Blanco, F., Alcazar, J., Sánchez-Valdepeñas, J., Cornejo-Daza, P. J., Piqueras-Sanchiz, F., Mora-Vela, R., Sánchez-Moreno, M., Bachero-Mena, B., Ortega-Becerra, M., & Alegre, L. M. (2020). Velocity Loss as a Critical Variable Determining the Adaptations to Strength Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(8), 1752-1762. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002295>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J. a. L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 724-735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Pearson, S. J., Stadler, S., Menz, H., Morrissey, D., Scott, I., Munteanu, S., & Malliaras, P. (2020). Immediate and Short-Term Effects of Short- and Long-Duration Isometric Contractions in Patellar Tendinopathy. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 30(4), 335-340. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000625>
- Peters, M. D. J., Godfrey, C. M., Khalil, H., McInerney, P., Parker, D., & Soares, C. B. (2015). Guidance for conducting systematic scoping reviews. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 13(3), 141-146. <https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000050>
- Petersen, W., Welp, R., & Rosenbaum, D. (2007). Chronic Achilles tendinopathy: A prospective randomized study comparing the therapeutic effect of eccentric training, the AirHeel



- brace, and a combination of both. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(10), 1659-1667. <https://doi.org/10.1177/0363546507303558>
- Pienimäki, T. T., Tarvainen, T. K., Siira, P. T., & Vanharanta, H. (1996). Progressive Strengthening and Stretching Exercises and Ultrasound for Chronic Lateral Epicondylitis. *Physiotherapy*, 82(9), 522-530. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)66275-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)66275-X)
- Pizzolato, C., Lloyd, D. G., Zheng, M. H., Besier, T. F., Shim, V. B., Obst, S. J., Newsham-West, R., Saxby, D. J., & Barrett, R. S. (2019). Finding the sweet spot via personalised Achilles tendon training: The future is within reach. *British Journal of Sports Medicine*, 53(1), 11-12. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099020>
- Plinsinga, M. L., Brink, M. S., Vicenzino, B., & van Wilgen, C. P. (2015). Evidence of Nervous System Sensitization in Commonly Presenting and Persistent Painful Tendinopathies: A Systematic Review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(11), 864-875. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5895>
- Plinsinga, M. L., Meeus, M., Brink, M., Heugen, N., & van Wilgen, P. (2021). Evidence of Widespread Mechanical Hyperalgesia but Not Exercise-Induced Analgesia in Athletes With Mild Patellar Tendinopathy Compared With Pain-Free Matched Controls: A Blinded Exploratory Study. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 100(10), 946-951. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001673>
- Post, A. A., Rio, E. K., Sluka, K. A., Moseley, G. L., Bayman, E. O., Hall, M. M., de Cesar Netto, C., Wilken, J. M., Danielson, J. F., & Chimenti, R. (2020). Effect of Pain Education and Exercise on Pain and Function in Chronic Achilles Tendinopathy: Protocol for a Double-Blind, Placebo-Controlled Randomized Trial. *JMIR Research Protocols*, 9(11), e19111. <https://doi.org/10.2196/19111>
- Powell, E. S., & Trail, I. A. (2004). Forces transmitted along human flexor tendons during passive and active movements of the fingers. *Journal of Hand Surgery*, 29(4), 386-389. <https://doi.org/10.1016/j.jhsb.2004.02.004>





- Powell, E. S., & Trail, I. A. (2009). Forces transmitted along human flexor tendons—The effect of extending the fingers against the resistance provided by rubber bands. *The Journal of Hand Surgery, European Volume*, 34(2), 186-189. <https://doi.org/10.1177/1753193408096016>
- Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A., & Buckingham, B. (1983). The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, 17(1), 45-56. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(83\)90126-4](https://doi.org/10.1016/0304-3959(83)90126-4)
- Pufe, T., Petersen, W. J., Mentlein, R., & Tillmann, B. N. (2005). The role of vasculature and angiogenesis for the pathogenesis of degenerative tendons disease. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(4), 211-222. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00465.x>
- Purdam, C. R., Jonsson, P., Alfredson, H., Lorentzon, R., Cook, J. L., & Khan, K. M. (2004). A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 395-397. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.000053>
- Rabin, R., & de Charro, F. (2001). EQ-5D: A measure of health status from the EuroQol Group. *Annals of Medicine*, 33(5), 337-343. <https://doi.org/10.3109/07853890109002087>
- Rath, E., Schwarzkopf, R., & Richmond, J. C. (2010). Clinical signs and anatomical correlation of patellar tendinitis. *Indian Journal of Orthopaedics*, 44(4), 435-437. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.69317>
- Rees, J. D., Lichtwark, G. A., Wolman, R. L., & Wilson, A. M. (2008). The mechanism for efficacy of eccentric loading in Achilles tendon injury; an in vivo study in humans. *Rheumatology*, 47(10), 1493-1497. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ken262>
- Rees, J. D., Stride, M., & Scott, A. (2014). Tendons—Time to revisit inflammation. *British Journal of Sports Medicine*, 48(21), 1553-1557. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091957>



- Reilly, D. T., & Martens, M. (1972). Experimental Analysis of the Quadriceps Muscle Force and Patello-Femoral Joint Reaction Force for Various Activities. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 43(2), 126-137. <https://doi.org/10.3109/17453677208991251>
- Revak, A., Diers, K., Kernozek, T. W., Gheidi, N., & Olbrantz, C. (2017). Achilles Tendon Loading During Heel-Raising and -Lowering Exercises. *Journal of Athletic Training*, 52(2), 89-96. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.1.04>
- Richards, J., Selfe, J., Sinclair, J., May, K., & Thomas, G. (2016). The effect of different decline angles on the biomechanics of double limb squats and the implications to clinical and training practice. *Journal of Human Kinetics*, 52, 125-138. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0200>
- Riel, H., Lindstrøm, C. F., Rathleff, M. S., Jensen, M. B., & Olesen, J. L. (2019). Prevalence and incidence rate of lower-extremity tendinopathies in a Danish general practice: A registry-based study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 239. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2629-6>
- Riley, G. (2004). The pathogenesis of tendinopathy. A molecular perspective. *Rheumatology*, 43(2), 131-142. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keg448>
- Riley, G. (2008). Tendinopathy—From basic science to treatment. *Nature Clinical Practice. Rheumatology*, 4(2), 82-89. <https://doi.org/10.1038/ncprheum0700>
- Riley, G., Curry, V., DeGroot, J., van El, B., Verzijl, N., Hazleman, B. L., & Bank, R. A. (2002). Matrix metalloproteinase activities and their relationship with collagen remodelling in tendon pathology. *Matrix Biology*, 21(2), 185-195. [https://doi.org/10.1016/s0945-053x\(01\)00196-2](https://doi.org/10.1016/s0945-053x(01)00196-2)
- Rio, E., Kidgell, D., Moseley, G. L., Gaida, J., Docking, S., Purdam, C., & Cook, J. (2016). Tendon neuroplastic training: Changing the way we think about tendon rehabilitation: a narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(4), 209-215. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095215>



- Rio, E., Kidgell, D., Purdam, C., Gaida, J., Moseley, G. L., Pearce, A. J., & Cook, J. (2015). Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, *49*(19), 1277-1283. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094386>
- Rio, E., Moseley, L., Purdam, C., Samiric, T., Kidgell, D., Pearce, A. J., Jaberzadeh, S., & Cook, J. (2014). The Pain of Tendinopathy: Physiological or Pathophysiological? *Sports Medicine*, *44*(1), 9-23. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0096-z>
- Rio, E., Sandler, J., Cheng, K., Moseley, G. L., Cook, J., & Girdwood, M. (2021). Sensory Processing in People With and Without Tendinopathy: A Systematic Review With Meta-analysis of Local, Regional, and Remote Sites in Upper- and Lower-Limb Conditions. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *51*(1), 12-26. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.9417>
- Rio, E., van Ark, M., Docking, S., Moseley, G. L., Kidgell, D., Gaida, J. E., van den Akker-Scheek, I., Zwerver, J., & Cook, J. (2017). Isometric Contractions Are More Analgesic Than Isotonic Contractions for Patellar Tendon Pain: An In-Season Randomized Clinical Trial. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *27*(3), 253-259. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000364>
- Robertson, D., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2004). *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics.
- Robinson, J. M., Cook, J. L., Purdam, C., Visentini, P. J., Ross, J., Maffulli, N., Taunton, J. E., Khan, K. M., & Victorian Institute Of Sport Tendon Study Group. (2001). The VISA-A questionnaire: A valid and reliable index of the clinical severity of Achilles tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, *35*(5), 335-341.
- Rodriguez-Moya, A., González-Sánchez, M., & Cuesta-Vargas, A. I. (2011). Efecto del vendaje neuromuscular a corto plazo en la fuerza en la extensión de rodilla. *Fisioterapia*, *33*(6), 256-261. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2011.07.007>





- Rompe, J. D., Nafe, B., Furia, J. P., & Maffulli, N. (2007). Eccentric loading, shock-wave treatment, or a wait-and-see policy for tendinopathy of the main body of tendo Achillis: A randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(3), 374-383. <https://doi.org/10.1177/0363546506295940>
- Roos, E. M., Engström, M., Lagerquist, A., & Söderberg, B. (2004). Clinical improvement after 6 weeks of eccentric exercise in patients with mid-portion Achilles tendinopathy – a randomized trial with 1-year follow-up. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(5), 286-295. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.378.x>
- Rosengarten, S. D., Cook, J. L., Bryant, A. L., Cordy, J. T., Daffy, J., & Docking, S. I. (2015). Australian football players' Achilles tendons respond to game loads within 2 days: An ultrasound tissue characterisation (UTC) study. *British Journal of Sports Medicine*, 49(3), 183-187. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092713>
- Rudavsky, A., & Cook, J. (2014). Physiotherapy management of patellar tendinopathy (jumper's knee). *Journal of Physiotherapy*, 60(3), 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.06.022>
- Sancho, I., Morrissey, D., Willy, R. W., Barton, C., & Malliaras, P. (2019). Education and exercise supplemented by a pain-guided hopping intervention for male recreational runners with midportion Achilles tendinopathy: A single cohort feasibility study. *Physical Therapy in Sport*, 40, 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.08.007>
- Sayed-Noor, A., Englund, E., Wretenberg, P., & Sjöden, G. (2008). Pressure-Pain Threshold Algometric Measurement in Patients With Greater Trochanteric Pain After Total Hip Arthroplasty. *The Clinical Journal of Pain*, 24(3), 232-236. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e3181602159>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and



- Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3508-3523.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002200>
- Schuind, F., Garcia-Elias, M., Cooney, W. P., & An, K. N. (1992). Flexor tendon forces: In vivo measurements. *The Journal of Hand Surgery*, 17(2), 291-298.
[https://doi.org/10.1016/0363-5023\(92\)90408-h](https://doi.org/10.1016/0363-5023(92)90408-h)
- Scott, A., Squier, K., Alfredson, H., Bahr, R., Cook, J. L., Coombes, B., de Vos, R.-J., Fu, S. N., Grimaldi, A., Lewis, J. S., Maffulli, N., Magnusson, S. P., Malliaras, P., Mc Auliffe, S., Oei, E. H. G., Purdam, C. R., Rees, J. D., Rio, E. K., Gravare Silbernagel, K., ... Zwerver, J. (2020). ICON 2019: International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: Clinical Terminology. *British Journal of Sports Medicine*, 54(5), 260-262.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100885>
- Self, B. P., & Paine, D. (2001). Ankle biomechanics during four landing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1338-1344. <https://doi.org/10.1097/00005768-200108000-00015>
- September, A., Rahim, M., & Collins, M. (2016). Towards an Understanding of the Genetics of Tendinopathy. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 920, 109-116.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-33943-6_9
- Seth, A., Hicks, J. L., Uchida, T. K., Habib, A., Dembia, C. L., Dunne, J. J., Ong, C. F., DeMers, M. S., Rajagopal, A., Millard, M., Hamner, S. R., Arnold, E. M., Yong, J. R., Lakshmikanth, S. K., Sherman, M. A., Ku, J. P., & Delp, S. L. (2018). OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement. *PLoS Computational Biology*, 14(7), e1006223. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006223>
- Seynnes, O. R., Bojsen-Møller, J., Albracht, K., Arndt, A., Cronin, N. J., Finni, T., & Magnusson, S. P. (2015). Ultrasound-based testing of tendon mechanical properties: A critical evaluation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 118(2), 133-141.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00849.2014>

- Sichting, F., Kram, N. C., & Legerlotz, K. (2021). An Identical Twin Study on Human Achilles Tendon Adaptation: Regular Recreational Exercise at Comparatively Low Intensities Can Increase Tendon Stiffness. *Frontiers in Physiology*, *12*, 777403. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.777403>
- Silbernagel, K. G., Brorsson, A., & Lundberg, M. (2011). The majority of patients with Achilles tendinopathy recover fully when treated with exercise alone: A 5-year follow-up. *The American Journal of Sports Medicine*, *39*(3), 607-613. <https://doi.org/10.1177/0363546510384789>
- Silbernagel, K. G., Thomeé, R., Eriksson, B. I., & Karlsson, J. (2007a). Full symptomatic recovery does not ensure full recovery of muscle-tendon function in patients with Achilles tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(4), 276-280. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.033464>
- Silbernagel, K. G., Thomeé, R., Eriksson, B. I., & Karlsson, J. (2007b). Continued sports activity, using a pain-monitoring model, during rehabilitation in patients with Achilles tendinopathy: A randomized controlled study. *The American Journal of Sports Medicine*, *35*(6), 897-906. <https://doi.org/10.1177/0363546506298279>
- Silbernagel, K. G., Thomeé, R., Thomeé, P., & Karlsson, J. (2001). Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain—A randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *11*(4), 197-206.
- Sinclair, J., Edmundson, C., Atkins, S., Taylor, P. J., & Vincent, H. (2015). The effect of front and back squat techniques on peak loads experienced by the Achilles tendon. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, *07*(3). <https://doi.org/10.29359/BJHPA.07.3.01>
- Slane, L. C., Dandois, F., Bogaerts, S., Vandenneucker, H., & Scheys, L. (2018). Non-uniformity in the healthy patellar tendon is greater in males and similar in different age groups. *Journal of Biomechanics*, *80*, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.08.021>



- Slane, L. C., & Thelen, D. G. (2014). Non-uniform displacements within the Achilles tendon observed during passive and eccentric loading. *Journal of Biomechanics*, 47(12), 2831-2835. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.07.032>
- Smart, K. M., Blake, C., Staines, A., & Doody, C. (2010). Clinical indicators of «nociceptive», «peripheral neuropathic» and «central» mechanisms of musculoskeletal pain. A Delphi survey of expert clinicians. *Manual Therapy*, 15(1), 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.07.005>
- Smidt, G. L. (1973). Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *Journal of Biomechanics*, 6(1), 79-92. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(73\)90040-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(73)90040-7)
- So, B., Kim, H.-J., Kim, J., & Song, W. (2014). Exercise-induced myokines in health and metabolic diseases. *Integrative Medicine Research*, 3(4), 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2014.09.007>
- Soslowsky, L. J., Thomopoulos, S., Tun, S., Flanagan, C. L., Keefer, C. C., Mastaw, J., & Carpenter, J. E. (2000). Neer Award 1999: Overuse activity injures the supraspinatus tendon in an animal model: A histologic and biomechanical study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 9(2), 79-84. <https://doi.org/10.1067/mse.2000.101962>
- Sprague, A. L., Smith, A. H., Knox, P., Pohlig, R. T., & Grävare Silbernagel, K. (2018). Modifiable risk factors for patellar tendinopathy in athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 52(24), 1575-1585. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-099000>
- Stasinopoulos, D., & Stasinopoulos, I. (2004). Comparison of effects of exercise programme, pulsed ultrasound and transverse friction in the treatment of chronic patellar tendinopathy. *Clinical Rehabilitation*, 18(4), 347-352. <https://doi.org/10.1191/0269215504cr757oa>
- Stefansson, S. H., Brandsson, S., Langberg, H., & Arnason, A. (2019). Using Pressure Massage for Achilles Tendinopathy: A Single-Blind, Randomized Controlled Trial Comparing a Novel





- Treatment Versus an Eccentric Exercise Protocol. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(3), 2325967119834284. <https://doi.org/10.1177/2325967119834284>
- Stevens, M., & Tan, C.-W. (2014). Effectiveness of the Alfredson protocol compared with a lower repetition-volume protocol for midportion Achilles tendinopathy: A randomized controlled trial. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 44(2), 59-67. <https://doi.org/10.2519/jospt.2014.4720>
- Swain, D. P., Abernathy, K. S., Smith, C. S., Lee, S. J., & Bunn, S. A. (1994). Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(1), 112-116.
- Tompra, N., van Dieën, J. H., & Coppeters, M. W. (2016). Central pain processing is altered in people with Achilles tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 50(16), 1004-1007. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095476>
- Tran, Q. T., & Docherty, D. (2006). Dynamic training volume: A construct of both time under tension and volume load. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(4), 707-713.
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., ... Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Vallance, P., Crowley, L., Vicenzino, B., & Malliaras, P. (2021). Contralateral mechanical hyperalgesia and altered pain modulation in men who have unilateral insertional Achilles tendinopathy: A cross-sectional study. *Musculoskeletal Science and Practice*, 52, 102353. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2021.102353>
- van Ark, M., Cook, J. L., Docking, S. I., Zwerver, J., Gaida, J. E., van den Akker-Scheek, I., & Rio, E. (2016). Do isometric and isotonic exercise programs reduce pain in athletes with patellar



- tendinopathy in-season? A randomised clinical trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(9), 702-706. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.11.006>
- van Ark, M., Rio, E., Cook, J., van den Akker-Scheek, I., Gaida, J. E., Zwerver, J., & Docking, S. (2018). Clinical Improvements Are Not Explained by Changes in Tendon Structure on Ultrasound Tissue Characterization After an Exercise Program for Patellar Tendinopathy. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 97(10), 708-714. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000951>
- van der Plas, A., de Jonge, S., de Vos, R. J., van der Heide, H. J. L., Verhaar, J. A. N., Weir, A., & Tol, J. L. (2012). A 5-year follow-up study of Alfredson's heel-drop exercise programme in chronic midportion Achilles tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 46(3), 214-218. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090035>
- van der Worp, H., van Ark, M., Roerink, S., Pepping, G.-J., van den Akker-Scheek, I., & Zwerver, J. (2011). Risk factors for patellar tendinopathy: A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 45(5), 446-452. <https://doi.org/10.1136/bjism.2011.084079>
- van Wilgen, C. P., Kaptein, A. A., & Brink, M. S. (2010). Illness perceptions and mood states are associated with injury-related outcomes in athletes. *Disability and Rehabilitation*, 32(19), 1576-1585. <https://doi.org/10.3109/09638281003596857>
- van Wilgen, C. P., Konopka, K. H., Keizer, D., Zwerver, J., & Dekker, R. (2013). Do patients with chronic patellar tendinopathy have an altered somatosensory profile? A Quantitative Sensory Testing (QST) study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(2), 149-155. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01375.x>
- van Wilgen, P., van der Noord, R., & Zwerver, J. (2011). Feasibility and reliability of pain pressure threshold measurements in patellar tendinopathy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(6), 477-481. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.05.004>



- Visentini, P. J., Khan, K. M., Cook, J. L., Kiss, Z. S., Harcourt, P. R., & Wark, J. D. (1998). The VISA score: An index of severity of symptoms in patients with jumper's knee (patellar tendinosis). Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 1(1), 22-28.
- Visnes, H., Hoksrud, A., Cook, J., & Bahr, R. (2005). No Effect of Eccentric Training on Jumper's Knee in Volleyball Players During the Competitive Season: A Randomized Clinical Trial. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 15(4), 227-234. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000168073.82121.20>
- Visser, J. J., Hoogkamer, J. E., Bobbert, M. F., & Huijing, P. A. (1990). Length and moment arm of human leg muscles as a function of knee and hip-joint angles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(5-6), 453-460. <https://doi.org/10.1007/BF00236067>
- Vlist, A. C. van der, Breda, S. J., Oei, E. H. G., Verhaar, J. A. N., & Vos, R.-J. de. (2019). Clinical risk factors for Achilles tendinopathy: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 53(21), 1352-1361. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099991>
- Voutilainen, A., Pitkäaho, T., Kvist, T., & Vehviläinen-Julkunen, K. (2016). How to ask about patient satisfaction? The visual analogue scale is less vulnerable to confounding factors and ceiling effect than a symmetric Likert scale. *Journal of Advanced Nursing*, 72(4), 946-957. <https://doi.org/10.1111/jan.12875>
- Wang, J. H.-C. (2006). Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics*, 39(9), 1563-1582. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.05.011>
- Wang, J. H.-C., Guo, Q., & Li, B. (2012). Tendon biomechanics and mechanobiology—A mini-review of basic concepts and recent advancements. *Journal of Hand Therapy*, 25(2), 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2011.07.004>





- Weinert-Aplin, R. A., Bull, A. M. J., & McGregor, A. H. (2015). Investigating the Effects of Knee Flexion during the Eccentric Heel-Drop Exercise. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(2), 459-465.
- Wong, W. K., Li, M. Y., Yung, P. S.-H., & Leong, H. T. (2020). The effect of psychological factors on pain, function and quality of life in patients with rotator cuff tendinopathy: A systematic review. *Musculoskeletal Science and Practice*, 47, 102173.
<https://doi.org/10.1016/j.msksp.2020.102173>
- Wren, T. A., Yerby, S. A., Beaupré, G. S., & Carter, D. R. (2001). Mechanical properties of the human achilles tendon. *Clinical Biomechanics*, 16(3), 245-251.
[https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(00\)00089-9](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(00)00089-9)
- Yeh, C.-H., Calder, J. D., Antflick, J., Bull, A. M. J., & Kedgley, A. E. (2021). Maximum dorsiflexion increases Achilles tendon force during exercise for midportion Achilles tendinopathy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.
<https://doi.org/10.1111/sms.13974>
- Yelland, M. J., Sweeting, K. R., Lyftogt, J. A., Ng, S. K., Scuffham, P. A., & Evans, K. A. (2011). Prolotherapy injections and eccentric loading exercises for painful Achilles tendinosis: A randomised trial. *British Journal of Sports Medicine*, 45(5), 421-428.
<https://doi.org/10.1136/bjism.2009.057968>
- Young, M., Cook, J., Purdam, C., Kiss, Z., & Alfredson, H. (2005). Eccentric decline squat protocol offers superior results at 12 months compared with traditional eccentric protocol for patellar tendinopathy in volleyball players. *British Journal of Sports Medicine*, 39(2), 102.
<https://doi.org/10.1136/bjism.2003.010587>
- Yu, J., Park, D., & Lee, G. (2013). Effect of eccentric strengthening on pain, muscle strength, endurance, and functional fitness factors in male patients with achilles tendinopathy. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 92(1), 68-76.
<https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31826eda63>





- Yuan, J., Murrell, G. A. C., Trickett, A., & Wang, M.-X. (2003). Involvement of cytochrome c release and caspase-3 activation in the oxidative stress-induced apoptosis in human tendon fibroblasts. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 1641(1), 35-41. [https://doi.org/10.1016/s0167-4889\(03\)00047-8](https://doi.org/10.1016/s0167-4889(03)00047-8)
- Yuan, J., Murrell, G. A. C., Wei, A.-Q., & Wang, M.-X. (2002). Apoptosis in rotator cuff tendonopathy. *Journal of Orthopaedic Research*, 20(6), 1372-1379. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(02\)00075-X](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(02)00075-X)
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and Practice of Strength Training* (2.^a ed.). Human Kinetics.
- Zellmer, M., Kernozek, T. W., Gheidi, N., Hove, J., & Torry, M. (2019). Patellar tendon stress between two variations of the forward step lunge. *Journal of Sport and Health Science*, 8(3), 235-241. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.12.005>
- Zelzer, E., Blitz, E., Killian, M. L., & Thomopoulos, S. (2014). Tendon-to-bone attachment: From development to maturity. *Birth Defects Research. Part C*, 102(1), 101-112. <https://doi.org/10.1002/bdrc.21056>
- Zhang, B., Zhong, L., Xu, S., Jiang, H., & Shen, J. (2013). Acupuncture for chronic Achilles tendinopathy: A randomized controlled study. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 19(12), 900-904. <https://doi.org/10.1007/s11655-012-1218-4>
- Zhang, Q., Adam, N. C., Hosseini Nasab, S. H., Taylor, W. R., & Smith, C. R. (2021). Techniques for In Vivo Measurement of Ligament and Tendon Strain: A Review. *Annals of Biomedical Engineering*, 49(1), 7-28. <https://doi.org/10.1007/s10439-020-02635-5>
- Zwerver, J., Bredeweg, S. W., & Hof, A. L. (2007). Biomechanical analysis of the single-leg decline squat. *British Journal of Sports Medicine*, 41(4), 264-268. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.032482>



HABILIDADES AQUIRIDAS



6.HABILIDADES ADQUIRIDAS

Durante la realización de esta tesis doctoral he comprendido que lo más importante de la misma no es la titulación adquirida, como tampoco lo es el manuscrito o las publicaciones que la integran. Desde mi punto de vista, lo que verdaderamente tiene interés en un trabajo de tal magnitud y relevancia es el desarrollo personal y profesional que el doctorando experimenta recorriendo el camino.

El Doctorado representa un momento de crecimiento y aprendizaje como investigador, pero es, sin lugar a duda, una etapa que te mejora como profesional y como persona. Se trata de un camino que inicias buscando la respuesta a algunas preguntas hasta que te das cuenta de que, quizás, lo más importante es no dejar nunca de hacerse preguntas.

6.1 *Investigación*

Como investigador, inicié mi camino en la Universitat de València bajo las instrucciones de mi director José Casaña Granell y de Joaquín Calatayud Villalba, en el seno del Grupo de Investigación EXercise INTERvention for Health (EXINH). Junto a ellos realicé, inicialmente como estudiante, mis primeras colaboraciones en la medición e intervención de estudios científicos y, ya como Graduado en Fisioterapia, mis primeros trabajos de revisión sistemática y mis primeras intervenciones con pacientes. Con el inicio de mi etapa predoctoral en la Universidad de Málaga, me integré en el Grupo de Investigación Clinimetría (F-14) de la Universidad de Málaga y el Instituto de Investigación Biomédica de Málaga (IBIMA) bajo la supervisión de mi director y tutor Antonio Cuesta Vargas. En esta etapa, acompañado por un magnífico grupo de compañeros, he consolidado numerosas habilidades metodológicas como investigador,





así como adquirido nuevas destrezas en el uso de instrumentos y tecnologías y en el manejo de diversas poblaciones clínicas.

El contrato predoctoral de Formación de Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Universidades que he disfrutado durante estos cuatro años me ha permitido dedicarme plenamente a mi actividad como personal investigador en formación. Esto ha facilitado mi participación en diversos proyectos del Grupo Clinimetría, complementarios al desarrollo de mi tesis doctoral, que han contribuido a mi formación académica, profesional y personal. Como investigador, estos proyectos me han permitido adquirir habilidades en el uso del electromiógrafo bipolar y del electromiógrafo de alta densidad, el ecógrafo, el dinamómetro o las unidades de medición inercial. Así mismo, me han permitido adquirir destrezas en el análisis de los datos obtenidos, utilizando software informático especializado como MEGAWIN, OTBiolab+, ImageJ, el software de análisis estadístico SPSS o MatLab, un entorno de programación para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y cálculo numérico especialmente útil en investigación para el análisis y la representación de los datos. Otras destrezas y conocimientos adquiridos durante este periodo son los conocimientos para la realización de revisiones (sistemáticas y de alcance) y metaanálisis, el uso de pruebas y tests validados para las mediciones de estudios de intervención, los aspectos fundamentales de los diseños de intervención (reclutamiento, análisis del cumplimiento de los criterios de selección, asignación aleatoria, cegamiento y la propia intervención y el análisis de los datos), el análisis de los datos obtenidos y la estadística o el fundamental manejo de bases de datos.

Durante esta etapa, he desarrollado también mi capacidad para la elaboración de protocolos de estudio y la preparación de documentos necesarios para su ejecución,





incluyendo en este apartado las solicitudes para la aprobación ética de las diferentes investigaciones. Así mismo, he adquirido habilidad en la escritura de manuscritos de diversa índole y en el trabajo colaborativo con compañeros de mi disciplina y de disciplinas diferentes.

Uno de los aspectos cuya importancia he comprendido durante mi etapa predoctoral es la necesidad de la difusión de los resultados de investigación y de la transferencia de estos. El verdadero objetivo de un estudio no es la publicación de un artículo científico, sino que sus resultados sean transferidos y se traduzcan en cambios y mejoras. Durante esta etapa, he participado en diferentes eventos científicos en forma de jornadas y congresos nacionales e internacionales, en los cuales he participado como ponente, como asistente y a través de la presentación de posters y comunicaciones orales.

Adicionalmente, durante mi etapa predoctoral he desarrollado dos estancias de investigación en el extranjero. En primer lugar, realicé una estancia de tres meses en la Vrije Universiteit Brussel de Bruselas (Bélgica), bajo la supervisión de un fisioterapeuta e investigador de reconocido prestigio, el Profesor Jo Nijs. En esta estancia pude conocer otras metodologías de trabajo, complementar mi formación como profesional e investigador en materia de dolor y educación y mejorar mis habilidades comunicativas en otras lenguas. Posteriormente, realicé una estancia de un mes en la empresa ITWare de Budapest (Hungría) al amparo de un proyecto financiado por la Comisión Europea. Entre las habilidades y destrezas adquiridas durante esta estancia, en el contexto de una empresa tecnológica privada, es necesario destacar la adquisición de un nuevo punto de vista ante las situaciones del día a día, propio de este tipo de entornos, pero no extendido en nuestro campo profesional. Ambas estancias han supuesto un crecimiento profesional y personal.





Con respecto al conocimiento adquirido en el manejo de poblaciones clínicas, como investigador y profesional de la salud he tenido la oportunidad de ampliar mi conocimiento y trabajar con pacientes de diversas patologías, incluyendo los pacientes con tendinopatía a los que se dirige esta tesis, pero también pacientes con cáncer de mama y supervivientes, pacientes con insuficiencia cardiaca, pacientes con síndrome postpolio o personas con sarcopenia.

Fruto del trabajo y de las colaboraciones durante este recorrido son los 25 artículos científicos en revistas internacionales con impacto publicados durante mi etapa predoctoral.

6.2 Idiomas

El aprendizaje de idiomas ha sido también un apartado para tener en cuenta en esta etapa. Durante la misma, he podido obtener el certificado “Certificate in Advanced English” de Cambridge (Nivel C1), además de adquirir nociones básicas de francés, neerlandés y húngaro durante mis estancias de investigación en Bélgica y Hungría.

6.3 Docencia

Las horas de docencia que mi contrato predoctoral tiene asociadas me han permitido iniciar mi actividad docente. Esta actividad docente se desarrolló, inicialmente, con la observación de un referente como Antonio Cuesta y, posteriormente, con las 240 horas de docencia propia en las asignaturas de Procedimientos Generales en Fisioterapia I y Métodos Específicos de Intervención en Fisioterapia I, del Grado en Fisioterapia, y en la asignatura Sistemas de Rehabilitación y Ayuda a la Discapacidad, del Grado en Ingeniería



de la Salud, todas ellas en la Universidad de Málaga. La oportunidad de impartir docencia y, sobre todo, su preparación, me ha permitido mejorar las habilidades de planificación, síntesis de contenidos y gestión de grupos, conocer los procesos de gestión dentro de un Departamento, Facultad y Universidad y profundizar mi estudio en contenidos profesionales y académicos de la profesión, entre otros aspectos. Adicionalmente, he podido compartir la tutorización de un Trabajo Final de Grado junto con mi director Antonio Cuesta.

6.4 Ámbito clínico

La etapa del Doctorado me ha permitido crecer como profesional, refiriéndome en este caso al ámbito puramente clínico. La realización del Experto Universitario por la Universidad de Málaga en Ejercicio Terapéutico y Readaptación Funcional en Fisioterapia significó un antes y un después en mi visión de la fisioterapia. En estos años, he continuado aprendiendo de la parte más clínica de la profesión, fundamentalmente a través de un profesional de reconocido prestigio como Antonio Cuesta con quien he tenido la oportunidad de compartir abundantes horas, pero también de otros referentes nacionales e internacionales, incluyendo compañeros y amigos, a los que estoy profundamente agradecido.

6.5 Desarrollo personal

Durante este camino, he desarrollado habilidades relacionadas con el desarrollo personal. La constancia, la resistencia al esfuerzo, la autogestión del tiempo propio, la eficiencia, la gestión de recursos y grupos o el trabajo en equipo son habilidades que se



han visto reforzadas durante esta etapa. Del mismo modo, las habilidades sociales y de comunicación se han visto potenciadas gracias a las oportunidades que he tenido para exponerme ante grupos de personas de diferente tamaño y naturaleza, resaltando en este punto, además de la docencia, las cinco ponencias en las Jornadas del Grupo Clinimetría y otras ponencias realizadas a nivel nacional.



PERSPECTIVAS





7. PERSPECTIVAS

Hace más de cuatro años inicié el camino en el estudio de las tendinopatías. Este camino, que he transitado con tesón y pasión durante todo este tiempo, no concluye con la finalización de mi etapa predoctoral, sino que debe continuar durante la etapa postdoctoral que ahora comienza. En esta nueva etapa se abren nuevos desafíos, entre los que destaca la realización del ensayo controlado aleatorizado cuyo protocolo se presenta en el cuarto artículo de esta tesis doctoral. La duración de la intervención y las características de la muestra han dificultado el reclutamiento e incrementado la mortalidad experimental del estudio, aspecto que ha imposibilitado su inclusión en una tesis doctoral que ha coincidido temporalmente con una pandemia y las restricciones que de ella se han derivado. Sin embargo, la importancia de los resultados que de este estudio se extraerán hacen de este uno de los ejes principales de la etapa postdoctoral. Así mismo, se establece como otro objetivo principal de la etapa postdoctoral el desarrollo de un índice ambulatorio de estratificación de la severidad en las tendinopatías, que permitirá la estratificación de los pacientes dependiendo de su severidad y su posibilidad de inclusión en las diferentes etapas del nuevo programa de ejercicio terapéutico propuesto en el cuarto artículo de esta tesis. Otra línea futura para tener en cuenta es la validación de cuestionarios y tests que son habitualmente utilizados en investigación y clínica en el ámbito de las tendinopatías pero que no han sido sometidos a los análisis psicométricos necesarios para conocer las propiedades asociadas a su aplicación en esta población.

Así mismo, el primer artículo incluido en esta tesis doctoral deja en evidencia la falta de métodos y técnicas que permitan una evaluación in vivo y directa de las cargas aplicadas





en el tendón y que sean aplicables tanto en investigación como en clínica. Por este motivo, debe explorarse el estudio y desarrollo de nuevos métodos.

Finalmente, y como complemento al estudio de la aplicación de ejercicio y cargas, se ha creado una red de trabajo internacional (TENDON PNE NETWORK), fruto del trabajo realizado durante esta tesis doctoral y las estancias asociadas, con el objetivo de llenar el hueco existente actualmente, en clínica e investigación, con respecto a la aplicación de educación en neurociencia del dolor en tendinopatías. Esta línea, complementaria a la tesis doctoral, ha sido iniciada ya mediante la realización de una revisión de alcance sobre las intervenciones de dolor en neurociencia de dolor aplicadas en tendinopatía, así como con la elaboración de una guía para clínicos. Nuevas estancias, nuevas publicaciones y el desarrollo de un conjunto de pruebas y métodos específico para la aplicación de este tipo de intervención en tendinopatías son el objetivo de esta línea de investigación en la etapa postdoctoral.



EXPANDED SUMMARY

(ENGLISH)



8. EXPANDED SUMMARY (ENGLISH)

8.1 Introduction

The term "tendinopathy" was agreed upon in the International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus (ICON 2019) as the preferred term to describe persistent tendon pain with loss of function related to mechanical load, as a better alternative to other traditionally used terms such as tendinitis and tendinosis (Scott et al., 2020).

Overall, available data indicate that the incidence and prevalence of lower limb tendinopathies are around 11.83 and 10.52 cases per 1000 person-years, respectively (Albers et al., 2016). The most affected locations are the patellar, the Achilles, and the gluteal tendon, in the lower limbs, and the rotator cuff and extensor tendons of the forearm, in the upper limbs (Magnusson et al., 2010). In the case of sports, prevalence rates increase up to 45 % in patellar tendinopathy in elite male volleyball players (Lian et al., 2005). Therefore, the high rates of prevalence and persistence have an impact on the functional capacity to exercise and work, causing an economic and social burden.

Despite progress in this field of knowledge, the causes of the onset of tendinopathy have not yet been fully understood. Three conceptual models stand out (Cardoso et al., 2019; J. L. Cook et al., 2016): the primary tendon cell response model, the collagen disruption/degeneration model (mechanical theory), and the inflammation model. Similarly, different theories have been proposed to explain tendon pathophysiology. From the initial views based on a predominantly inflammatory process, or theories based on degeneration and alteration of the tendon structure, the current approach considers that mechanisms related to several of these theories could participate in the process. From the perspective of degenerative tendinopathy, it is possible to explain a large part of the changes that occur in the tendon. Thus, the abnormal tendon, compared to a



healthy tendon, seems to consist of a greater proportion of type III collagen fibres, altered and with a certain degree of disorganisation, accumulation of glycosaminoglycans between the fibrils, inflammatory cell infiltrates, and abundant ground substance (Millar et al., 2021). Additionally, there is an increase in cell activation and proliferation in the affected tendon, with neovascularisation and neoinnervation, that is, creation of new vessels and nerve fibres which is not observed in the healthy tendon (Millar et al., 2021). In the affected tendon, the tenocytes are longer and thinner, with smaller volume, a more significant proportion of nuclei and a lower extracellular matrix production (Millar et al., 2021).

The tendon pathology must be approached considering the disposition and architecture of the tendon, which, connecting the muscle with the bone, reflects its function as a transmitter of the forces (predominantly tensile forces) generated during the contraction of the skeletal muscle for movement. However, the tendons perform other tasks such as joint stabilisation and absorption of forces in activities with impact, thus protecting other musculoskeletal system structures (Riley, 2008). The capacity and function of the tendon are closely related to some of its mechanical properties, among which it is worth highlighting stiffness, a property related to the modulus of elasticity or Young's modulus, and its viscoelastic behaviour.

During daily activities, the tendon is subjected to different load types (tension, compression, and shear), which can occur separately or in combination (J. Cook et al., 2021). Tendons are mechanosensitive tissues that respond to mechanical stimuli through changes in their composition and structure, affecting their mechanical and viscoelastic properties (Wang et al., 2012). Tendinous cells are especially sensitive to tensile stimuli, modulating processes through mechanotransduction (Merry et al., 2022). The changes





produced as a result of these processes can be positive when they respond to the application of loads in an adequate physiological range, or they can be detrimental in response to excessive or insufficient loads.

In the context of persistent pain, it is necessary to consider mechanisms that can favour the progression and perpetuation of pain. Among others, psychological, psychosocial, and behavioural factors are being studied to better understand their relationship with the findings obtained in tendon pathology (Mc Auliffe et al., 2022). Examples of these contributing factors in the process may be fear of movement or pain and pain catastrophism (Chimenti et al., 2020; Wong et al., 2020), but also others such as illness perceptions about pain and maladaptive cognitions and beliefs, anxiety or stress (Edgar et al., 2022; C. P. van Wilgen et al., 2010). In patients with a predominance of psychological and psychosocial factors there may be an aversion to movement and exercise, which may hinder the implementation of the therapeutic intervention. For this reason, in these patients, the elimination of cognitive and emotional barriers through an educational intervention may be essential to facilitate participation and introduction in more active parts of treatment, such as therapeutic exercise programmes.

In this context, therapeutic exercise, applied with adequate control of the applied loads, together with therapeutic education, are considered first-line treatments in tendinopathy, with numerous studies published in recent decades (Docking & Cook, 2019; Cardoso et al., 2019; Mellor et al., 2018; Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009). Passive interventions (e.g., injectable therapies, extracorporeal shockwave therapy, percutaneous electrolysis therapy, non-steroidal anti-inflammatory medications, glycerol trinitrate patches, corticosteroid injections, or massage) play a complementary role in treatment, sometimes being useful for pain and symptomatology





control, improving adherence to other active approaches, or in those cases with insufficient evolution. However, it has been suggested that using passive strategies separately could be insufficient and its use, in the case of some techniques, is controversial for its possible harmful effects (Cardoso et al., 2019). In those cases in which conservative treatment does not obtain the desired results, there is the possibility of considering surgical intervention in which the affected parts of the tendon, which according to some hypotheses could be a source of symptoms, are resected (Cognetti et al., 2022).

Concerning the active approach through therapeutic exercise, the use of isometric contractions is closely associated with the search for analgesia and the control of symptoms in the short-term, although its use together with isotonic strength training has also been related to more significant gains in muscle strength (Rio et al., 2015, 2017). In the medium and long term, the most widely used therapeutic exercise programmes are generally based on isotonic training, usually in a single stage in which the intensity increases progressively. In these programmes, isolated eccentric training has been widely used in research and clinical practice in the last decades due to the enormous popularity of the Alfredson protocol, initially designed for Achilles tendinopathy (Alfredson et al., 1998). However, the evidence does not seem to support the superiority of this approach over the combined use of concentric and eccentric contractions (Beyer et al., 2015; Habets & van Cingel, 2015b; Kongsgaard et al., 2009; Malliaras et al., 2013). In this context, other programmes such as the HSR incorporate progressive strength training with high loads that integrates all phases of movement (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009), obtaining similar and even better results. As an alternative to these traditional programmes, in recent years, new protocols have been proposed that





incorporate the training of other neuromuscular capacities and include jump work and plyometrics, movements performed with greater velocity, and aerobic exercise through running (Sancho et al., 2019). Although there is a lack of literature in the context of gluteal tendinopathy, some approaches have been used, integrating therapeutic exercise and education (Ganderton et al., 2018; Mellor et al., 2018). These programmes introduce work in stages of specific movements related to the biomechanics of the gluteal tendon. Different aspects are considered in the conception of the content and duration of the therapeutic exercise programmes, such as the current state of the patients, their context, and their objectives. These programmes, which usually last for weeks and months, could be divided into different stages (Mascaró et al., 2018): 1) control of excessive loads; 2) search for analgesia; 3) progressive isotonic strength training; 4) velocity-based strength, plyometrics, and energy storage capacity training and specific training for each sport or activity; and 5) return to activity and maintenance of the developed adaptations.

One of the fundamental aspects of therapeutic exercise programmes is the methodology used to establish and progress applied loads. The objective of the dosage and load progression criteria is to obtain maximum efficiency while minimizing the possible risk of injury. However, there is currently significant heterogeneity in the methodologies used, requiring further analysis of the available criteria.

For an optimal choice and adaptation of loads, it is of special interest to have tools that allow quantifying the loads that act on the tendon during the exercises performed by the patient. These tools would enable greater precision in prescribing loads compared to strategies such as estimating the maximum repetition (RM). This better knowledge of the applied loads seems relevant from the perspective of some authors who suggest the existence of an optimal range of force and tendon strain to obtain positive adaptations





(Pizzolato et al., 2019). The analysis of the loads that act on the tendon can be approached from various perspectives, highlighting the quantification of the absolute forces applied or the measurement of the strain or deformation produced as a result of these forces (Huang et al., 2019; Wang et al., 2012).

8.1.1 Justification

The proper application of loads is one of the bases of therapeutic exercise programmes in tendinopathies. However, the load that acts on the tendon during the exercises is usually unknown. There is no gold standard for determining its dosage and progression, requiring an analysis of current tools and developing new ones. The study of the characteristics of the load progression criteria previously used and their effectiveness could provide relevant information for optimising results in exercise programmes. Additionally, and despite the existing consensus regarding the convenience of training different neuromuscular properties (isometric contractions, progressive isotonic strength training, velocity-based strength, plyometrics and energy storage capacity training, and specific training for each sport or activity), most current programmes are based on a single-stage training that includes a progressive load increase. The development of a new protocol common for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies that contemplates individualised dosage and progression, including work on the different neuromuscular adaptations recommended by current knowledge, could represent a significant clinical contribution in the management of the three main tendinopathies of the lower limbs.



8.1.2 Hypotheses and objectives

8.1.2.1 General hypothesis and objective

It is hypothesised that a better knowledge of the loads that act on the tendon in exercise programmes, including quantification methods and the most appropriate criteria for load progression, will enable the development of an exercise programme based on an efficient and individualised application of loads for the three main tendinopathies of the lower limbs (Achilles, patellar and gluteal).

For this reason, the general objective of this doctoral thesis was to analyse the application of loads in therapeutic exercise programmes in tendinopathies and to design an original exercise programme for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies.

8.1.2.2 Specific hypotheses and objectives

8.1.2.2.1 First specific objective

The first specific objective of this doctoral thesis was to analyse and describe the methods and techniques for in vivo quantification of the loads that act on the tendon, focusing on their advantages and limitations.

To achieve this objective, a scoping review was carried out and reported, with the hypothesis that there are direct and indirect estimation methods for quantifying loads through force and strain analysis. This objective is focused on the first article of the doctoral thesis, entitled "Modelling and in vivo evaluation of tendon forces and strain in dynamic rehabilitation exercises: a scoping review".

8.1.2.2.2 Second specific objective

The second specific objective of this doctoral thesis was to analyse and describe the load progression criteria used in therapeutic exercise programmes in tendinopathies of the lower limbs (Achilles, patellar and gluteal), as well as to compare their effectiveness in clinical and performance outcomes.

A systematic review of load progression criteria was carried out and reported to achieve this objective, with the hypothesis that the use of pain as the primary criterion for progression, maintenance, or regression in applied loads could not be supported by the evidence, thereby overestimating or underestimating the capacity and need of the tendon. This objective is focused on the second and third articles of the doctoral thesis, entitled "Progression criteria in loading exercise programmes in lower limb tendinopathy: a protocol for a systematic review and meta-analysis" and "Load progression criteria in exercise programmes in lower limb tendinopathy: a systematic review".

8.1.2.2.3 Third specific objective

The third specific objective of this doctoral thesis was to integrate the knowledge acquired during its completion, together with the current evidence and the clinical experience of the doctoral student and his supervisors, to develop an intervention protocol through therapeutic exercise for the main tendinopathies of the lower limbs (Achilles, patellar and gluteal) based on the individualisation of the load and progression criteria, as well as on the training by stages of different neuromuscular characteristics.

The proposed hypothesis was that a common therapeutic exercise programme for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies, based on the individualisation of load and

its progression criteria and the training of different neuromuscular characteristics, could allow simplifying the variety of exercises for the different tendinopathies with results equal to or superior to the best current evidence. This objective is focused on the fourth article of the doctoral thesis, entitled “Effect of a common exercise program with an individualised progression criterion based on the measurement of neuromuscular capacity versus current best practice for lower limb tendinopathies (MáLaGa trial): a protocol for a randomised clinical trial”.

8.1.2.2.4 Fourth specific objective

The fourth specific objective of this doctoral thesis was to develop an exercise systematisation based on the differentiation of stages with different objectives depending on the different adaptations of the neuromuscular system.

The hypothesis was that a therapeutic exercise programme based on the training of different neuromuscular adaptations could allow a simplification of the variety of exercises of the different tendinopathies with results equal to or superior to the best current evidence. This objective is focused on the fourth article of the doctoral thesis.

8.1.2.2.5 Fifth specific objective

The fifth specific objective of this doctoral thesis was to develop a methodology for quantifying the intensity of the loads based on specific tests for each of the aspects of the neuromuscular system. The hypothesis was that the individualisation of the load and progression criteria using specific tests for each of the aspects of the neuromuscular system could allow a simplification of the variety of exercises of the different tendinopathies with results equal to or superior to the best current evidence. This objective focuses on the fourth article of the doctoral thesis.



8.1.2.2.6 Sixth specific objective

The sixth specific objective of this doctoral thesis was to design a randomised controlled trial that allows studying the effectiveness of the proposed intervention protocol to fulfil the third specific objective of this work.

The proposed hypothesis was that the design of a randomised controlled trial would demonstrate the non-inferiority or superiority of the common exercise program compared to the current best practice of each of the tendinopathy locations studied. This objective is focused on the fourth article of the doctoral thesis.

8.2 Presentation of the articles

Four studies have been developed in this doctoral thesis to achieve the stated objectives, including a scoping review, a protocol for a systematic review and the subsequent systematic review, and a protocol for a randomised controlled trial that includes a proposal for a programme of therapeutic exercise for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies.

The scoping and systematic reviews, which were focused on the analysis of the methods for quantifying the loads acting on the tendon during exercises and on the load progression criteria used in therapeutic exercise programmes in tendinopathy, respectively, were essential to know, synthesise, and consolidate the current knowledge about the application of loads in this population.

The realisation of the systematic review was preceded by the prior publication of the protocol, specifying the objectives, methods, and results of interest of the review. This



procedure aims to ensure the transparency of the methodology used in the study, thus minimizing the selection bias.

Finally, the knowledge acquired during the realisation of these studies and through the in-depth study of tendinopathy during the period of completion of the thesis, was combined with the clinical experience of the thesis supervisors and the doctoral student to design and propose a new therapeutic exercise programme for Achilles, patellar and gluteal tendinopathy. This new programme, called "MaLaGa Protocol", has been integrated into one of the intervention groups of a randomised controlled trial for comparison with the current best practices. The protocol of this randomised controlled trial has been published and included as a publication that supports this doctoral thesis.

Together, these four publications develop a thematic unit around the study of the loads applied in the treatment of tendinopathies in physiotherapy.

8.2.1 Methodology of the first article

The PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) guidelines (Tricco et al., 2018) were followed for undertaking and reporting this scoping review.

8.2.1.1 Information sources and search strategy

Four databases were scanned by two reviewers (A.E-E, J.C.G.) from database inception to February 2021: Embase, PubMed, Web of Science, and Google Scholar. The following combinations of terms were used in the first three databases: "Tendon [Title] AND Load [Title]"; "Tendon [Title] AND Force [Title]"; "Tendon [Title] AND Biomechanics [Title]"; "Tendon AND wave"; "Tendon [Title] AND Properties [Title]". Additionally, "Tendon AND Load" was used in Embase and PubMed. The combinations of terms "Tendon AND Force", "Tendon AND Biomechanics", "Tendon AND Properties", "Tendon AND Load",



and “Tendon AND wave” were searched in Google Scholar, retrieving the first 200 references for each. This number of references was retrieved according to a previous study, considering the special characteristics of this search engine (Bramer et al., 2017).

8.2.1.2 Eligibility criteria

All studies that met the following eligibility criteria were included:

- a) Cross-sectional studies published in scientific journals;
- b) Focused on evaluating the forces, stress, and strain (tendon strain evaluation was included if it was described as a way to quantify loads) of tendons in vivo using direct or indirect techniques;
- c) During dynamic exercises;
- d) Available in English or Spanish language.

Conversely, those studies meeting any of these exclusion criteria were discarded: (a) Studies with evaluation of neuromuscular or joint forces that do not describe evaluating the tendon; (b) investigated tasks were running, walking, jumping, landing or other everyday tasks that are not rehabilitative exercises; (c) conference proceedings; (d) book chapters.

8.2.1.3 Study selection

All retrieved references were imported into Mendeley to later be included in Rayyan (<https://www.rayyan.ai/>). Duplicates were identified and removed. The remaining references were screened by title and abstract by one author (A.E-E) to exclude clearly irrelevant articles. Finally, two reviewers (A.E-E, J.C.G.) screened the full texts of identified articles to select those that met the eligibility criteria. A third reviewer solved any disagreements (A.I.C.V).





8.2.1.4 Data extraction

An extraction form was used including the following data: authors and year of publication; study setting; study population; participant demographics; details of the evaluation technique; dynamic exercises evaluated; tendon forces/stress/strain results.

8.2.1.5 Synthesis of results

The studies were grouped by the types of measurement techniques applied and by the tendon location, summarising the type of settings, populations and article types for each group, along with the broad findings.

8.2.1.6 Methodological quality analysis

Current guidelines on conducting a scoping review describe the inclusion of a methodological quality analysis as not necessary (Khalil et al., 2016; Peters et al., 2015). Likewise, the lack of a standardised tool for the methodological evaluation of the heterogeneous type of studies included in this review makes methodological analysis difficult.

8.2.2 Methodology of the second and third article

The Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (Moher et al., 2009) were followed for undertaking and reporting this scoping review (third article). The study was prospectively registered in PROSPERO (registration number: CRD42018110997) and its protocol has been published in an impact journal (second article).



8.2.2.1 Search

Two reviewers (A.E-E, A.I.C.V.) searched Pubmed, Embase, Scopus, and PEDro from inception to 24th September 2020. The following search terms were combined for a main search: (“Patellar tendin*” OR “jumper's knee” OR “lander's knee” OR “achilles tendin*” OR “midportion achilles tendin*” OR “mid-portion achilles tendin*” OR “mid-substance Achilles tendin*” OR “midsubstance Achilles tendin*” OR “non-insertional Achilles tendin*” OR “gluteal tendin*” OR “greater trochanteric bursitis” OR “greater trochanteric pain syndrome” OR “lower limb tendinopathy” OR “tendinopathy” OR “tendonopathy” OR “tendonitis”) AND (“exercise” OR “strength” OR “training” OR “resistance” OR “loading” OR “progressive” OR “physical activity” OR “eccentric” OR “plyometric” OR “guided imagery” OR “stretching”). Supplementary Appendix 1 of the third article includes details about the searches in the different search engines.

8.2.2.2 Eligibility criteria

All randomised controlled trials that met the following eligibility criteria based on the PICO framework were included:

- a) Participants: people with patellar, midportion Achilles (those studies where the location of the painful area was not specified or where both locations were analysed as a whole were included, considering the predominant incidence of midportion Achilles tendinopathies), or gluteal tendinopathy; at least 16 years old.
- b) Interventions: progressive exercise programmes; at least one group where physical exercise was administered as monotherapy. Physical exercise has been defined as a subcategory of physical activity consisting of planned, structured, and repetitive movement performed with the purpose of improving or maintaining physical performance or health (Ferguson, 2014). Any voluntary action of the neuromuscular

system was considered as physical exercise, including strength training; aerobic exercise; plyometrics; active, self-assisted, or guided imagery exercise; active, or self-assisted stretching exercises; other similar forms of exercise; or a combination of these exercises.

- c) Control interventions: no intervention, sham, or other experimental groups.
- d) Outcomes: studies measuring at least function, pain, or performance outcomes.
- e) No gender, ethnicity, year of publication, or language restrictions were imposed.

Those studies that met any of the following exclusion criteria were excluded: (a) including participants with previous tendon surgery; (b) studies in which the exercise was not applied as monotherapy in any of the groups or where the control group involved a supplemented modality of the exercise performed in the intervention group.

8.2.2.3 Procedures

All references were imported into Mendeley and duplicates were identified and removed. Two independent authors (A.E-E, A.I.C.V.) screened the remaining results by title and abstract. Two reviewers screened the full texts of selected articles to identify those that satisfied the eligibility criteria. A third reviewer (J.C.G.) solved any disagreements.

8.2.2.4 Data extraction and quality assessment

Two reviewers (A.E-E, A.I.C.V.) assessed the full texts of the selected studies using an extraction form that included: study setting; study population; participant demographics and baseline characteristics; details of the intervention and control conditions; permission to perform additional physical activity; load progression criteria of the exercise programmes; recruitment and study completion rates; outcomes; effect size

(Cohen's *d*) or percentage of change of a main outcome; significance level; and relevant information about risk of bias. Disagreements between the two reviewers were discussed with a third reviewer (J.C.G.). Authors were contacted by email to obtain additional information not reported in their articles.

Two reviewers independently assessed the quality and internal validity of the studies using the PEDro scale (Maher et al., 2003). Item 1 pertains to external validity and was not considered for the total score. In this review, those studies scoring 7–10 were considered of good methodological quality, those scoring ranging 5–6 were considered of fair methodological quality, while those that score below five were considered of poor quality.

8.2.2.5 Data synthesis and analysis

A narrative synthesis to report and compare the different load progression criteria existing in the scientific literature was conducted. Although the authors of most of the studies were contacted by mail to obtain the necessary data for inclusion in a meta-analysis, most of these data could not be obtained. Thus, due to the lack of studies with complete data and the existing critical heterogeneity, it was only possible to conduct a narrative synthesis. The different intervention or control groups were organised in the tables by prioritising exercise interventions over passive interventions regardless of the order of interventions in the original studies. In cases where two or more exercise interventions were compared, the intervention that obtained the greatest effect size in the study was prioritized. In all cases, the latest measurement of the main outcome was selected for analysis, thus focusing on the long-term effectiveness of the interventions. The Cohen's *d* of a main clinical and performance outcome was retrieved or calculated to quantify and compare the effectiveness of the interventions (Cohen, 1988). Where

possible, the VISA (VISA-A, VISA-P, or VISA-G) questionnaire or VAS were chosen as the main clinical outcome to homogenise the analysis, as they were the most frequently used outcomes. The effect size was classified into four levels: $d < 0.2$ was considered a trivial effect size; $d \geq 0.2$ was considered a small effect size; $d \geq 0.5$ was considered a medium effect size, and $d \geq 0.8$ was considered a large effect size (Cohen, 1988). The significance level was set at 0.05.

8.2.3 Methodology of the fourth article

8.2.3.1 Trial design

This protocol describes a single-blind, parallel, randomised controlled trial (RCT) that will be conducted among people with lower limb tendinopathy. The study has been approved by the Portal de Ética de la Investigación Biomédica de Andalucía Ethics Committee (1221-N-19) and registered in ClinicalTrials.gov (NCT03853122). This protocol has been reported according to the Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials (SPIRIT) Declaration.

The trial adheres to the principles of the Declaration of Helsinki. All participants will be informed about the purpose and content of the study and written informed consent will be completed from all of them.

8.2.3.2 Patient and Public Involvement

Patients will be involved in the conduct of this study. During the design stage, different inputs were received from patients with tendinopathy, which helped in the elaboration of the protocol. Once the trial has been published, participants will be informed of the results through a mail and will be sent details of the results in a study newsletter suitable for a non-specialist audience.

8.2.3.3 Participants

People with mid-portion Achilles, patellar or gluteal tendinopathy will be recruited from a Spanish Health Centre. Potential participants will be identified by one of the two medical specialists who will act as recruiters.

8.2.3.3.1 Eligibility criteria

Due to the specific characteristics of each of the studied tendinopathies, general and specific eligibility criteria to each region will be established.

General inclusion criteria

- a) People between 18 and 65 years with a clinical diagnosis of mid-portion Achilles, patellar, or gluteal tendinopathy;
- b) Pain duration for at least one month.
- c) *General exclusion criteria*
- d) Corticosteroid injection in the studied tendon in the last 12 months;
- e) Other injuries in the affected lower limb in the last 12 months;
- f) Previous surgery for musculoskeletal causes of the affected lower limb in the last 12 months;
- g) Tendinous rupture history in the affected lower limb;
- h) Systemic diseases such as rheumatic arthritis or diabetes mellitus.

Specific eligibility criteria for gluteal tendinopathy (Mellor et al., 2018)

Inclusion criteria: Lateral hip pain, an intensity of pain of at least 4/10 on a 11-point numeric rating scale (0 = no pain, 10 = worst pain imaginable), and clinical diagnosis of gluteal tendinopathy by a doctor (with functional assessment of physiotherapy).



Exclusion criteria: Low-back, sciatic, or inguinal pain of an intensity greater than 2/10 on a numerical scale.

Specific eligibility criteria for patellar tendinopathy

Inclusion criteria: Pain localised to the inferior pole of the patella at palpation and during jumping and landing activities, pain during testing on the single-leg decline squat (SLDS) (Rio et al., 2017), and an intensity of pain of at least 3/10 on an 11-point numeric rating scale (0 = no pain, 10 = worst pain imaginable). Pain is localised by the patient using only one or two fingers (Cardoso et al., 2019).

Exclusion criteria: Presence of a diffuse knee pain indicative of possible patellofemoral pain (Holden et al., 2019).

Specific eligibility criteria for Achilles tendinopathy

Inclusion criteria: pain and swelling at 2 to 7 cm from the calcaneal insertion (Habets et al., 2017).

Exclusion criteria: diagnosis of insertional Achilles tendinopathy (Habets et al., 2017).

8.2.3.4 Concealed allocation

The allocation will be concealed by sealed opaque envelopes. An assistant not involved in the study will prepare sealed and numbered consecutively opaque envelopes. Each envelope will be assigned a group randomly by a computer-generated random number list. They will be kept in a locked file cabinet only accessible to the assistant. Once the fulfilment of the selection criteria and the participation in the study are confirmed, each subject will receive an envelope sequentially and will be assigned to the corresponding group.





8.2.3.5 Interventions

At the beginning of the programme, participants in both groups will receive individual education on basic pathophysiology of tendinopathy and the risk factors for each of the locations. Likewise, they will receive education on the identification of normal symptoms and signs and those that indicate an excess in the dose, as well as on an adequate load selection and progression.

The participants allocated to the experimental group will perform an innovative therapeutic exercise programme consisting of the training of different neuromuscular characteristics and a quantification and load progression based on the use of functional tests. The programme of the experimental group will consist of 14 weeks in which 70 individualised physiotherapy sessions will be conducted, including supervised and semi-supervised sessions. A minimum of 14 sessions will be conducted in a supervised face-to-face way. Thirty-seven sessions will be conducted in a semi-supervised manner, performing the exercises autonomously, but with possible assistance from instructors. Additionally, participants will conduct twenty-eight sessions of unsupervised individualised aerobic training. These sessions will be conducted with an intensity between 60-75% of VO_2 max.

The neuromuscular resistance exercise programme will consist of five stages divided into 2, 4, 4, 2, and 2 weeks, respectively. The frequency of the neuromuscular strength training will be of three weekly sessions. Additionally, two weekly sessions of aerobic work will be done. The approximate duration of each session will be 30 minutes. The exercises (four exercises) will be common for the three different locations of the tendinopathies. Two of the exercises will be performed alternately in each session. During the first four stages, these exercises are based on four different positions of the





feet in the leg press (feet shoulder-width apart; left foot forward; right foot forward; feet apart with 45° external rotation). These four positions are chosen because they offer greater variability in a triple extension movement (hip, knee, and ankle extension) such as leg press exercise. Stages 1-4 are based on isometric contractions, heavy slow isotonic resistance exercises strength training through exercises performed with a velocity loss of 20%, and very high-load strength training. During Stage 5, the exercises will consist of four different jumping modalities (countermovement jump, CMJ; drop jump, DJ; DJ with dual task; and repeated vertical jumps).

In the different stages, the dose tests are designed to calculate the load needed for the appearance of fasciculations (stage 1), the inability to continue moving the load (stage 2 and 4), and a loss of speed of 20% (stage 3) on a given time, or to calculate the height maximum that can be maintained in repeated vertical jumps that can be maintained for a specified time (stage 5). In general, the working time of each series has been chosen to be less than the time calculated in the test. This fact, together with a high number of series, allows a different work in the first series, focused on accumulating volume, and in the last series, where due to neuromuscular fatigue a limit similar to that obtained in the test is reached. Specific intervention details, as well as detailed information of each of the stages, are available in the Supplementary File of the fourth article.

Participants allocated to the control group will carry out a 14-week therapeutic physical exercise programme. The programme will be based on the isolated eccentric training protocol described by Alfredson (Alfredson et al., 1998) for Achilles tendinopathy. The Alfredson's protocol modified version of Purdam et al. (2004) (Purdam et al., 2004) and the LEAP protocol of Mellor et al. (2018) (Mellor et al., 2018) will be applied for patellar and gluteal tendinopathy, respectively. The three protocols will be adapted to be carried



out in 14 weeks to match the training of the control and intervention groups. Detailed information on the protocol and exercises used is available in the Supplementary File.

Participants of both groups will keep track through an activity diary.

Participants will be allowed to perform light and moderate physical activity as long as it does not produce an increase in symptoms both during and especially at 24 hours (VAS >50 mm). Likewise, they will be recommended to abandon those workouts that do not allow adequate recovery between sessions when applied together with the training programme proposed in this study.

8.2.3.6 Outcome measures

Both groups will be evaluated at the beginning, in the middle (7 weeks), and at the end of the programme, as well as in medium (26 weeks) and long-term (52 weeks) follow-up. The same assessor, blinded to the group allocation of the participants, will measure each outcome at each of the measurements.

8.2.3.6.1 *Primary outcome measures*

The Victorian Institute of Sports Assessment (VISA) questionnaire (VISA-A, VISA-P, and VISA-G for Achilles, patellar, and gluteal tendinopathy, respectively) (Visentini et al., 1998; Robinson et al., 2001; Fearon et al., 2015), tool that assesses the presence of symptoms and their effect on physical function, will be considered the primary outcome and will be used to assess the effectiveness of the programme applied in each group.

8.2.3.6.2 *Secondary outcome measures*

Additionally, the following secondary outcomes will be evaluated: Visual Analogue Scale (VAS) for pain level; pressure pain threshold; Örebro Musculoskeletal Pain Questionnaire



(ÖMPQ) to predict long-term disability; Central Sensitisation Inventory (CSI) to identify patients who have symptoms that may be related to central sensitisation; Fear Avoidance Components Scale (FACS) to comprehensively evaluate fear avoidance behaviours; EQ-5 dimensions-5 levels (EQ-5D-5L) to assess health-related quality of life; International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF) to assess the type and amount of physical activity usually performed by the patient; treatment satisfaction using a visual analog scale from 0 to 100mm, with 0 being “not at all satisfied” and 10 being “extremely satisfied”; Lower-Limb Functional Index (LLFI) to assess the functional capacity of the lower extremities; isometric lower-limb strength using a s-beam load cell in a leg press machine using as performed and using a hand-held dynamometer; and high-density electromyography (HDEMG) to study variables of the central and peripheral nervous system such as the discharge frequency of the motor units or the conduction velocity. The results of the treatment satisfaction scale will be complemented with some questions to explore the motivations and barriers encountered during the intervention, which will allow clinicians and researchers to know relevant information beyond the effect of the intervention.

8.2.3.7 Data management

The answers obtained in the VISA questionnaire will be converted into their corresponding score for each subject. The difference in means obtained in each group between the baseline evaluation and at the end of the programme (14 weeks) will be used to determine the success of each treatment.





8.2.3.8 Sample size

The treatment effect will be evaluated by comparing success rates on the VISA measurements at follow-up between groups. With an a priori calculation based on the effect size of the LEAP study for gluteal tendinopathy ($d = 0.59$) (Mellor et al., 2018), and, using an α value of 0.05 and a power of 0.8, the sample size is estimated at 44 participants per arm. Assuming losses of 15% of the sample in the follow-up measurement, the necessary sample size will be of 52 participants per group for a total sample of 104 participants.

8.2.3.9 Blinding

Due to the nature of the study, neither therapists nor subjects can be blinded. Nevertheless, the researchers responsible for the assessment and analysis of the results will be blinded to the allocation of the participants.

8.2.3.10 Statistical analysis

Statistical analyses will be conducted based on an intention-to-treat approach. A One-Way Analysis of variance (ANOVA) will be carried out both at the beginning and at each of the measurement times to verify the existence of significant differences between groups. If a non-parametric distribution is found, a Kruskal Wallis test will be carried out at each measurement time. No subgroup or additional analyses are planned a priori.



8.3 Results

8.3.1 Results of the first article

Twenty-one studies that examined the methods and techniques used for in vivo load quantification during dynamic exercises were included in the scoping review. These studies included a sample of 300 subjects, of whom 202 were healthy people, and the remaining 98 patients were awaiting open carpal tunnel release surgery.

In the included studies, different methodologies for quantifying the loads that act on the tendon were identified, differentiating those focused on quantifying the forces and those aimed at measuring the tendon strain. Among the methodologies based on the quantification of forces, there is a predominant use of inverse dynamics using kinetic and kinematic data, but also different models of force transducers (buckle, S-shaped, and load cells) and fibre optic sensors. On the other hand, the use of some ultrasound procedures was identified among the methodologies that evaluated tendon strain as a measure of deformation.

In all the studies included in the review, different dynamic exercises commonly used in recovery processes were analysed, including different variants of heels raising and lowering, variants of the squat exercise, knee flexions and extensions, lunges, up and down stairs, and flexion and extension of the fingers and the wrist.

8.3.2 Results of the second and third articles

The results of the second and third articles are reported jointly, as they refer to the protocol of a systematic review and its completed version. In this systematic review, 30 studies were included, which describe different progression criteria in therapeutic exercise programmes for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies. In total, these



studies included a sample of 1,253 subjects, of which 709 participants had a diagnosis of Achilles tendinopathy, 216 had patellar tendinopathy, and 328 had been diagnosed with gluteal tendinopathy.

The analysis of the load progression criteria used in the different therapeutic exercise programmes revealed a predominant use (used in at least one of the groups of 20 of the 30 studies included) of a criterion based on the gradual increase in load through the incorporation of additional weight when the pain during the execution of the exercises decreases or disappears. Another widely used criterion was the introduction of predefined conditioning stages. This criterion is based on planning, before the beginning of the programme, a progression in volume, complexity of the exercises, or intensity through the designation of relative intensity values that are gradually increased with the passing of the weeks. This criterion considers pain and other symptoms, but only as a safety criterion in case the limits are exceeded.

The analysis and integration of the progression criteria allowed developing a new classification. Thus, the identified progression criteria were grouped into six groups corresponding to two categories: 1) use of pain as the main progression criterion, including a criterion based on evoking pain during exercises (Evoking Pain-Based) and another criterion based on avoiding pain (Avoid Pain-Based), and 2) control of pain and symptoms up to a specific limit, with progression being marked by other main criteria, including a criterion based on predefined conditioning stages, a criterion based on fatigue, a criterion based on subjective perception, and a criterion based on a linear temporal increase.





The effectiveness of the criteria was analysed by comparing the effect sizes (Cohen's d) and the percentages of change of the groups where it was implemented versus the control groups. This analysis was implemented in clinical and performance outcomes.

All studies analysed at least one clinical outcome. The most evaluated clinical outcome was the VISA questionnaire (VISA-A, VISA-P, or VISA-G), which was analysed in 17 of the 30 studies. Pain, using a visual analogue scale (14 studies) or numerical scale (one study), or through separate questions about analgesic medication intake (one study), was also a widely used outcome. Other outcomes used were the global perception of change, the Foot and Ankle Outcome Score (FAOS), the Hip dysfunction and Osteoarthritis Outcome Score (HOOS), the Oxford Hip Score (OHS), the Lateral Hip Pain questionnaire, or questions designed purposely for the study of pain. The design of the included studies only allowed comparing between some of the criteria. The combination of the Evoking Pain-Based criterion with isolated eccentric training achieved favourable significant differences in the VISA-A questionnaire versus a non-intervention group in Achilles (Rompe et al., 2007), and versus passive therapies such as ultrasound therapy and transverse friction massage in patellar tendinopathy using the VISA-P (Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2004). However, this combination did not show significant differences in VISA-A or VISA-P versus the HSR programme based on Conditioning Stages (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009). One study (Cunha et al., 2012) compared the effectiveness of two isolated eccentric programmes, performing the exercise with the greatest pain without altering performance and with the Avoid Pain-Based criterion, respectively, showing no significant differences in VISA-P between groups.

Performance outcomes were analysed in only ten of the 30 studies. The most analysed outcomes were strength, using an isokinetic dynamometer (five studies), and jumping





capacity, using the countermovement jump test (four studies). Other outcomes analysed were ankle joint range of motion (two studies) and hip abduction torque (one study). No statistically significant differences were found between groups for any of the main performance outcomes in the included studies.

The analysis of the methodological quality carried out using the PEDro scale (Maher et al., 2003) reported good (>7 points), fair (5-6 points), and low (<5 points) quality in 12, 14, and six of the studies, respectively.

8.3.3 Results of the fourth article

Despite being an article corresponding to a protocol of a randomised controlled trial and, therefore, without results of the proposed intervention, this article makes an interesting contribution with the integration of a new protocol for the main tendinopathies of the lower limbs.

This protocol (MaLaGa protocol) consists of a common programme for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies based on the specific training of different neuromuscular capacities. The protocol consists in a 14-week programme with a frequency of five weekly sessions. Of the total of 70 sessions, 28 correspond to two weekly sessions of aerobic work. The remaining 42 sessions refer to neuromuscular training in stages, carried out with a frequency of three sessions per week. The neuromuscular training consists in five stages of two to four weeks (isometrics, two weeks; general strength, four weeks; high-load strength, four weeks; velocity-based strength training, two weeks; and jumping, plyometrics, and energy storage capacity training, two weeks) with a differentiated work of the neuromuscular capacities of the patient.





8.4 Discussion

The general objective of this doctoral thesis was to analyse the application of loads in therapeutic exercise programmes in tendinopathies and to design an original exercise programme based on this knowledge, current evidence, and clinical experience. In general, the methodology implemented in the four studies allowed increasing the field of knowledge on various topics such as the techniques and methods used for quantifying the loads that act on the tendon during exercises and the load progression criteria that can be used during therapeutic exercise programmes. Likewise, the knowledge acquired, together with the current context of scientific evidence and the clinical experience of the doctoral student and his supervisors, enabled the development of an original and common intervention protocol for Achilles, patellar and gluteal tendinopathy.

8.4.1 Methods and techniques for quantifying the loads that act on the tendon

One of the main findings of the scoping review was that most of the existing studies used an indirect method based on inverse dynamics for the quantification of the forces that act on the tendon, while only a few direct measurement methods have been implemented in this type of measurement.

Indirect methodologies based on inverse dynamics can be implemented in research, with caution in their interpretation, to make general estimates of loads in dynamic exercises, generating classifications or progressions based on the load applied to the tendon in a series of exercises. As an alternative, direct force quantification methods can potentially reduce measurement error by using sensors that directly measure this parameter. However, the applicability of these methods is limited by the need to insert sensors





within the body segments, which can potentially alter the results (Fleming & Beynnon, 2004). Additionally, it is necessary that the sensors comply with safety requirements associated with their biotolerance and biocompatibility with human tissues (Fleming & Beynnon, 2004).

The development of force transducers was an opportunity to directly record the tensile forces produced in the entire cross section of the tendon, but their invasive nature considerably reduces their application contexts. The introduction of optic fibre sensors has made it possible to reduce some of the limitations of force transducers, especially those related to the size of the sensors and the wound caused for their insertion (Finni et al., 1998). In the current context, the characteristics of techniques using optic fibre sensors make them one of the options with the greatest potential; moreover, once some of their technical limitations have been solved (reduction of the accuracy in the measurement of the sensor by the wound, the movement of the skin, the migration of the cable and the velocity of execution of the exercise [Behrmann et al., 2012; Komi et al., 1996]), they could be considered adequately justified for in vivo evaluation in the general clinical population.

The quantification of tendon strain as a measure of the deformation produced by the forces that act on the tendon has been considered as a potential source of information (Pizzolato et al., 2019; Arampatzis et al., 2020; Magnusson et al., 2010; Huang et al., 2019). This approach has some advantages over other methods, especially those related to the lack of invasiveness (Q. Zhang et al., 2021). However, this approach also has several limitations that have been studied mainly in isometric exercises (Fleming & Beynnon, 2004; Seynnes et al., 2015; Q. Zhang et al., 2021), although these are transferred, with greater impact, to the context of the study of dynamic exercises. These





limitations are related to the difficulty in placing and fitting the probe in the analysed tendon (Klimstra et al., 2007; Seynnes et al., 2015; Q. Zhang et al., 2021), with a spatial limitation derived from the use of probes of a standard size for the measurement of long tendons (Seynnes et al., 2015), and by analysing tendon deformations that occur in all three dimensions using two-dimensional images (Seynnes et al., 2015; Q. Zhang et al., 2021). Currently, there are different procedures that aim to minimise these limitations (Seynnes et al., 2015); however, the potential measurement error associated with these techniques is too high for a precise use. Considering the above, the use of this technique in research may allow obtaining relevant information on the loads that act on the tendon during dynamic exercises, although its use has not yet been transferred to the clinic environment. The advantages of this approach suggest that the development of this methodology could reduce the complexity of its implementation, its limitations, and its measurement error, and may in the future be a potential tool for clinicians.

8.4.2 Load progression criteria

In the context of therapeutic exercise programmes, an adequate individualisation of the load seems essential, also taking into account the progression criteria. The results of the systematic review included in the second and third articles of this doctoral thesis underlined an extended use of pain-based criteria versus the use of criteria based on the physical, functional, or structural capacity of the individual and the tendon. This reality seems to be largely conditioned by the popularity that, during the last decades, Alfredson's eccentric protocol has experienced (Alfredson et al., 1998) in clinical practice and in research. However, in the progress experienced in the updating and optimisation of traditional protocols according to new evidence, essential aspects of exercise





programmes such as the load progression criteria have not been addressed. The new classification of the criteria proposed in the third article of this doctoral thesis differentiates two general categories: criteria that use pain as the main progression criterion (pain-based) and criteria that maintain control of pain and symptoms allowing them up to a certain limit (secondary criterion), basing the progression on another main criterion. The lack of superiority of pain-based criteria observed in the studies could indicate that the protocols that integrate these types of criteria could be underestimating or overestimating the actual capacity of the tendon and, therefore, misestimating the potential effect of the treatment. Although pain may be an interesting reflection of the patient's clinical status, its level and persistence may be strongly influenced by factors beyond the capacity of the tendon, such as some psychosocial factors. In addition, there may be significant inter-individual and intra-individual differences (at different times) in the perception of pain. Thus, the use of pain as the main criterion may not be appropriate. Alternatively, other criteria that consider the patient's ability could lead to a better estimate of the functional and neuromuscular capacity of the tendon and the individual to support and assimilate the loads applied in therapeutic exercise programmes. With the use of this type of criteria, pain and the presence of other symptoms can be monitored and only allowed up to certain limits in order to preserve the integrity and safety of the patient, although other objective or subjective variables can be used to guide the load progression. Popular programmes that have shown good results, such as HSR (Beyer et al., 2015; Kongsgaard et al., 2009) and LEAP (Mellor et al., 2018), integrate this type of criteria through predefined conditioning stages in which a weekly progressive increase of the relative intensity is configured through the concept of maximum repetitions, in the case of HSR, or through an increase in the complexity of





the exercises, in the case of the LEAP protocol. Considering all of the above, although it is necessary to develop high quality studies focused on comparing different progression criteria in similar exercise programmes, it is suggested that the use of the combination of a criterion based on functional capacity, such as the criterion of predefined conditioning stages, together with the interpretation and subjective perception of therapist and patient, may be a potential option for the optimisation of therapeutic exercise programmes compared to the use of pain as the primary criterion.

8.4.3 Design of therapeutic exercise programmes in tendinopathies

Different therapeutic exercise programmes with heterogeneous methodologies have obtained similar positive results in the approach to tendinopathy. A possible interpretation of these findings may be the possibility of obtaining the benefits of therapeutic exercise with a wide spectrum of methodologies (Cardoso et al., 2019). However, this phenomenon has also been attributed to the fact that current methods could produce a general increase in load and exercise tolerance, although without solving some of the problems present in tendinopathy (Malliaras, 2017).

Additionally, despite the benefits obtained with the implementation of these programmes, it should be considered that a relatively high percentage of patients (10-72%) still report that they are not feeling fully satisfied with the results of the treatment (Kettunen et al., 2002; Silbernagel et al., 2011; van der Plas et al., 2012). This fact may suggest the need to include in the programmes additional phases that contemplate neuromuscular adaptations associated with the training of high-velocity exercises, plyometrics, or energy storage capacities and the specific context of each sport or activity, as suggested by the current literature (Mascaró et al., 2018). However, the need





to integrate a more specific and individualised training of neuromuscular capacities through adequate parameterisation and dosage should also be considered.

In this context, the protocol proposed in the fourth article of this doctoral thesis integrates a common proposal for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies through five stages based on different neuromuscular capacities (isometric training, general strength, velocity-based strength training, strength with high loads, and jumps, plyometrics and energy storage capacity). Likewise, this protocol incorporates aerobic training in a novel way from the initial phases, intending to obtain benefits related to the systemic effects of this type of exercise in addition to the local adaptations. This approach is complemented by the implementation of specific tests for each stage and each neuromuscular capacity, seeking to individualise and optimise the load applied. Time-based series are prioritised over repetition-based series to ensure adequate working time for all body systems involved. The load progression is based on the neuromuscular capacity of the individual, through predefined conditioning stages in which an increase in volume or load associated with the results of the tests is proposed.

Considering the above, the development of studies such as the one proposed in the fourth article of this doctoral thesis will provide physiotherapists with directly applicable evidence on exercise programmes and their properties. In the case of demonstrating the non-inferiority of the experimental protocol, the results will provide physiotherapists and clinicians from other disciplines with a tool that will simplify the movements integrated into traditional exercise programmes through training of specific neuromuscular adaptations.





8.4.4 Implications for clinical practice

The results of the scoping review carried out in the first article show the existence of a gap between current technology and methodologies and the needs of clinical practice. Thus, the disadvantages of current methodologies do not allow their use for the individual quantification of a patient's tendon load within a standard clinical context. The evaluation of individual cases is possible, but this practice requires the use of indirect methodologies with slow and complex processing and a potential accumulated measurement error or the introduction of sensors into the body, this being a highly invasive procedure. However, and considering the associated measurement error, the data obtained by current methodologies could be used in clinical practice as load reference values, useful for the selection of exercises in loading programmes.

The findings of the systematic review developed in the framework of the second and third articles may have an impact on clinical practice. Thus, the identification, categorisation, and analysis of progression criteria makes it easier for clinicians to be aware of the methodology they use for progression in exercise programmes. The progression criteria used are usually linked to a historical heritage of traditional programmes. Their analysis may make it possible to decouple the advantages and disadvantages of the characteristics of these programmes from the progression criteria they apply. Likewise, the analysis of the advantages and disadvantages of each type of criterion will allow the clinician to select the appropriate progression criterion for the context of their patients.

Finally, the original intervention protocol integrated in the fourth article could be, once its effectiveness has been verified, a tool of interest in clinical practice for use within the therapeutic approach of Achilles, patellar and gluteal tendinopathies. In this approach,





the current consensus raises the need to include patient education, load management, and a therapeutic exercise programme. In the initial phase, an adaptation of the load is necessary, including a temporary cessation or replacement of provocative activities. This may be implemented together with a therapeutic education programme (which can include pain education) focused on addressing the maladaptive beliefs and cognitions and the unrealistic expectations of the patient. In the initial phases, in those patients with a greater severity and irritability of the symptoms, a prior reduction of the symptoms may be essential, for which the use of isometric exercises or other passive approaches may be useful. These procedures can facilitate the adherence of patients to later phases of treatment, in which active methodologies predominate. Therapeutic exercise interventions, such as the one proposed in the fourth article, are the core of the treatment and represent a tool of interest to improve aspects of the nervous and neuromuscular system. These programmes incorporate movement and exercise with gradually increased loads, also facilitating the reduction of some negative psychosocial components. Finally, a gradual return to the usual activity levels is necessary, including sport, work, recreational or daily-live activities.

8.4.5 Strengths and limitations

The methodology used in the four articles integrated into this doctoral thesis has some limitations that must be pointed out. Firstly, the main limitation of the scoping review reported in the first article is the difficulty of tracking the literature due to the variety and heterogeneity of terms used in this field. This limitation has been minimized through an extensive search in four of the main databases. Likewise, although it is a strength that the characteristics of other types of exercises have been considered in the discussion and





interpretation of the results, the limitation of the search to the methods used in dynamic exercises other than running, cycling, or jumping limits the extrapolation of results to this type of exercises included in some therapeutic exercise programmes in tendinopathy.

In the case of the systematic review carried out in the context of the second and third articles, the main limitation found is the heterogeneity and the deficiencies in the reporting of the data of the included studies. This aspect did not allow extracting precise and conclusive information or performing one or more meta-analyses to assess the effectiveness of the different criteria. The exclusion of insertional Achilles tendinopathies also limits evidence extraction in this subgroup. Likewise, the absence of washing-out of previous treatments in most of the studies, the permission to take analgesics or non-steroidal anti-inflammatory drugs in some of the studies included and, especially, the lack of studies that compare different progression criteria in similar exercise programmes limit the drawing of robust conclusions. Regarding review design, the selection of randomised controlled trials has allowed the analysis of effectiveness to be based on studies with a higher level of evidence. However, this decision has not allowed to identify progression criteria used in other study designs, which is a limitation for the description of the existing criteria in the literature. A scoping review design, including grey literature, could also have provided a greater number of criteria, although it would have complicated the analysis of the effectiveness. As a strength of this study, the narrative synthesis of the identified methodologies has allowed to establish a classification proposal that will allow, in future studies, to address with greater precision each of the criteria used.

In the fourth article, despite the pertinence and relevance of the scientific and clinical contribution associated with the publication of the protocol of a randomised controlled trial and the exercise protocol that it integrates, there is an inherent limitation derived





from the fact that the effectiveness of the proposal has not been studied. The a priori analysis of the execution of the study allows to identify potential limitations derived from it: absence of washing-out time of previous treatments; extension of the intervention program, according to the apparent needs of the pathology but which may make it difficult to obtain an insufficient sample size due to the existence of a high percentage of dropouts; use as a control group interventions considered the best current practice but which, however, do not include a part of the current recommendations such as the inclusion of explosive strength training using jumps and plyometric training.

8.4.6 Future studies

The results of this doctoral thesis open several fields for the execution of additional studies. Firstly, future studies should investigate new methods and techniques that enable a direct evaluation, in vivo, and with a reduced associated error, of the loads that act on the tendon. Additionally, further studies are needed to compare similar exercise programmes in which different load progression criteria are applied, which will allow for an adequate comparison of their properties. Regarding the exercise programmes, the execution of the protocol described in the fourth article of this doctoral thesis will offer information on the effectiveness of the proposed programme compared to other methods currently considered as the current best practice.

Finally, the development of an ambulatory index for the stratification of severity in tendinopathies is proposed. This development could allow adjusting the stages of the intervention in a more individualised manner.



8.5 Conclusions

8.5.1 General conclusions

This project provides the results of the study of the application of loads in the treatment of tendinopathy, analysed from different perspectives. The results obtained provide a better understanding of the evaluation of loads and the progression in their application; they also provide an original intervention methodology based on scientific evidence and clinical experience.

8.5.1 Specific conclusions

The specific conclusions of this doctoral thesis are listed below based on the previously established specific aims.

1. There is a predominant use of indirect methods based on inverse dynamics; however, force transducers, optic fibre, and estimations from strain data are also described in the literature. Although these tools may be used in research to make general estimates of tendon loads, the invasiveness of some methods and the loss of immediacy of others make their implementation difficult in the clinical practice.
2. There is a predominant use of pain-based criteria, although the utilisation of these criteria is not supported by solid evidence. It is necessary to develop high-quality studies that compare different progression criteria applied to the same programme.
3. The integration of the knowledge acquired with scientific evidence and clinical experience allowed developing a common 14-week (70 sessions) therapeutic exercise protocol for Achilles, patellar and gluteal tendinopathies



4. The integration of the knowledge acquired with scientific evidence and clinical experience allowed developing a systematisation of exercise based on the differentiation of five stages (isometrics, general strength training, velocity-based strength training, high-load strength training, and jumps and plyometrics) with different objectives.
5. The integration of the knowledge acquired with scientific evidence and clinical experience allowed developing a methodology for the quantification of the intensity of the loads based on specific tests designed to calculate the load required for the occurrence of fasciculations in a specific time (Stage 1), for the inability to continue moving the load after a certain time (Stages 2 and 4), to obtain a 20% loss of speed in a specific time (Stage 3), and to calculate the maximum height that can be reached and maintained in repeated vertical jumps for a certain time (Stage 5).
6. The protocol of a single-blind, parallel, randomised controlled trial that will be conducted among people with Achilles, patellar, and gluteal tendinopathy was developed and published. The study was designed to assess the effect of a common exercise protocol for the three predominant lower limb tendinopathies, based on an individualised control of the dose and training of specific aspects of the neuromuscular system versus the current best practice in the treatment of each of the three studied lower limb tendinopathies.



ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1: Metodología utilizada en los estudios incluidos

Anexo 1.1 Metodología utilizada en el primer artículo

Esta revisión de alcance se llevó a cabo siguiendo las directrices de la extensión de PRISMA (del inglés, *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para revisiones de alcance (PRISMA-ScR) (Tricco et al., 2018). Esta revisión no se ha registrado en el registro prospectivo internacional de revisiones sistemáticas PROSPERO (en inglés, International prospective register of systematic reviews) porque esta plataforma no acepta registros para revisiones de alcance, revisiones de literatura o revisiones de mapeo.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Siguiendo las recomendaciones de un estudio reciente (Bramer et al., 2017) para las revisiones biomédicas, dos revisores (A.E-E, J.C.G.) realizaron búsquedas en cuatro bases de datos desde el inicio de los registros hasta febrero de 2021: Embase, PubMed (incluido Medline), Web of Science y Google Scholar. En las tres primeras bases de datos se utilizaron las siguientes combinaciones de términos: “Tendon [Title] AND Load [Title]”; “Tendon [Title] AND Force [Title]”; “Tendon [Title] AND Biomechanics [Title]”; “Tendon AND wave”; “Tendon [Title] AND Properties [Title]”. Adicionalmente, se empleó la cadena de búsqueda “Tendon AND Load” en las bases de datos de Embase y PubMed. Las combinaciones de términos “Tendon AND Force”, “Tendon AND Biomechanics”, “Tendon AND Properties”, “Tendon AND Load”, y “Tendon AND wave” fueron utilizadas en Google Scholar, recuperando las primeras 200 referencias de cada búsqueda. Se

recuperó este número de referencias debido a las características especiales de este motor de búsqueda, considerando las recomendaciones de un estudio previo (Bramer et al., 2017). En el Apéndice Complementario 1 del primer artículo se presenta información detallada sobre las fuentes de información y las combinaciones de términos utilizadas en el conjunto de bases de datos.

Criterios de selección

Se incluyeron todos los estudios que cumplieron los siguientes criterios de selección:

- a) estudios transversales publicados en revistas científicas;
- b) centrados en evaluar las fuerzas, el estrés y el estiramiento (se incluyó la evaluación de la deformación tendinosa si se describía como una forma de cuantificación de las cargas) de los tendones in vivo utilizando técnicas directas o indirectas;
- c) durante ejercicios dinámicos;
- d) disponibles en inglés o español.

Por el contrario, se descartaron los estudios que cumplieron cualquiera de los siguientes criterios de exclusión: a) estudios con evaluación de fuerzas neuromusculares o articulares que no describen la evaluación del tendón; b) estudios cuyos ejercicios analizados fueron correr, caminar, saltar, aterrizar u otras tareas cotidianas que no fueran ejercicios de rehabilitación; c) actas de congresos; d) capítulos de libros.

Selección de estudios

Todas las referencias recuperadas se importaron al gestor bibliográfico Mendeley para incluirlas posteriormente en Rayyan (<https://www.rayyan.ai/>), una herramienta de

apoyo para revisiones sistemáticas. Se identificaron y eliminaron los duplicados. Las referencias restantes fueron examinadas por título y resumen por un autor (A.E-E) para excluir artículos claramente irrelevantes. Finalmente, dos revisores (A.E-E, J.C.G.) examinaron los textos completos de los artículos identificados para seleccionar aquellos que cumplieran con los criterios de selección. Un tercer revisor resolvió cualquier desacuerdo existente (A.I.C.V).

Extracción de datos

Dos revisores (A.E-E, J.C.G.) evaluaron los textos completos de los estudios seleccionados. Para obtener la información de los estudios, se utilizó un formulario de extracción que incluyó los siguientes datos: autores y año de publicación; contexto del estudio; población de estudio; datos demográficos de los participantes; detalles de la técnica de evaluación; ejercicios dinámicos evaluados; resultados de fuerzas/estiramiento del tendón.

En esta revisión, se incluyeron los estudios que analizaron las fuerzas y el estiramiento en el tendón en ejercicios dinámicos, especialmente los utilizados comúnmente en la rehabilitación del tendón. No se tuvieron en cuenta los análisis dinámicos basados en correr, caminar o montar en bicicleta, ni las baterías de ejercicios basados en actividades cotidianas o laborales.

Síntesis de resultados

Los resultados se agruparon por los tipos de técnicas de medición aplicadas y por la localización anatómica del tendón, sintetizando el tipo de entornos, poblaciones y tipos de artículos para cada grupo, junto con los hallazgos generales.

Análisis de la calidad metodológica

Las directrices actuales para la realización de revisiones de alcance entienden como no necesaria la inclusión de un análisis de la calidad metodológica (Khalil et al., 2016; Peters et al., 2015) Así mismo, la falta de una herramienta estandarizada para la evaluación metodológica del heterogéneo tipo de estudios incluidos en esta revisión dificulta el análisis metodológico. En este contexto, teniendo en cuenta que esta revisión se centra en analizar las metodologías de evaluación de fuerzas y estiramiento utilizadas en los estudios incluidos más que en la magnitud de los resultados obtenidos, se considera que la ausencia de análisis de la calidad metodológica influye en los resultados y conclusiones de esta revisión de una manera mínima.

Anexo 1.2 Metodología utilizada en el segundo y tercer artículo

Esta revisión sistemática se realizó siguiendo las directrices de PRISMA (Moher et al., 2009). Adicionalmente, fue registrada prospectivamente en PROSPERO (número de registro: CRD42018110997) y su protocolo fue publicado en una revista de impacto, incluyéndose este en esta tesis doctoral como segundo artículo.

Búsqueda

Dos revisores (A.E-E, A.I.C.V.) realizaron una búsqueda en las bases de datos de Pubmed, Embase, Scopus, y PEDro desde el inicio de los registros hasta el 24 de septiembre de 2020. Los siguientes términos de búsqueda relacionados con la localización anatómica de la tendinopatía y el ejercicio se combinaron para una búsqueda principal: (“Patellar tendin*” OR “jumper's knee” OR “lander's knee” OR “achilles tendin*” OR “midportion

achilles tendin*" OR "mid-portion achilles tendin*" OR "mid-substance Achilles tendin*" OR "midsubstance Achilles tendin*" OR "non-insertional Achilles tendin*" "gluteal tendin*" OR "greater trochanteric bursitis" OR "greater trochanteric pain syndrome" OR "lower limb tendinopathy" OR "tendinopathy" OR "tendonopathy" OR "tendonitis") AND ("exercise" OR "strength" OR "training" OR "resistance" OR "loading" OR "progressive" OR "physical activity" OR "eccentric" OR "plyometric" OR "guided imagery" OR "stretching"). En el Apéndice Complementario 1 del tercer artículo se proporciona información detallada sobre las búsquedas en los diferentes motores.

Criterios de selección

Se incluyeron todos los ensayos controlados aleatorizados que cumplieron los siguientes criterios de selección basados en el marco PICO:

- a) Participantes: pacientes con tendinopatía rotuliana, de la porción media del Aquiles (se incluyeron aquellos estudios en los que no se especificó la localización del área dolorosa o donde ambas variantes de tendinopatía aquilea se analizaron conjuntamente, considerando la incidencia predominante de tendinopatías de la porción media) o glútea; al menos 16 años de edad.
- b) Intervenciones: programas de ejercicio progresivo; al menos un grupo donde se administró ejercicio físico como monoterapia. El ejercicio físico se definió como una subcategoría de actividad física consistente en movimientos planificados, estructurados y repetitivos realizados con el propósito de mejorar o mantener el rendimiento físico o la salud (Ferguson, 2014) Cualquier acción voluntaria del sistema neuromuscular fue considerada como ejercicio físico, incluyendo entrenamiento de fuerza; ejercicio aeróbico; pliometría; ejercicio de imaginería

activo, autoasistido o guiado; ejercicios de estiramientos activos o autoasistidos; otras formas similares de ejercicio; o una combinación de estos ejercicios.

- c) Intervenciones de control: ninguna intervención, placebo u otros grupos experimentales.
- d) Resultados: estudios que midieron al menos la función, el dolor o los resultados de rendimiento.
- e) No se impusieron restricciones de género, etnia, año de publicación o idioma.

Se excluyeron los estudios que cumplieron cualquiera de los siguientes criterios de exclusión: (a) inclusión de participantes con cirugía previa del tendón; (b) estudios en los que el ejercicio no se aplicó como monoterapia en ninguno de los grupos o donde el grupo control involucró una modalidad suplementada del ejercicio realizado en el grupo de intervención.

Procedimientos

Todas las referencias fueron importadas al software de gestión bibliográfica Mendeley y se identificaron y eliminaron los duplicados. Dos autores independientes (A.E-E, A.I.C.V.) examinaron los resultados restantes por título y resumen. Estos mismos autores examinaron los textos completos de los artículos seleccionados para identificar aquellos que cumplieran con los criterios de elegibilidad. Un tercer revisor resolvió cualquier desacuerdo existente (J.C.G.).

Extracción de datos y evaluación de la calidad

Dos revisores (A.E-E, A.I.C.V.) recuperaron y evaluaron de forma independiente los textos completos de los estudios seleccionados mediante un formulario de extracción que



incluía: contexto del estudio; población de estudio; datos demográficos de los participantes y características basales; detalles de las condiciones de intervención y control; permiso para realizar actividad física adicional; criterios de progresión de la carga de los programas de ejercicio; reclutamiento y tasas de compleción de los estudios; resultados; tamaño del efecto (d de Cohen) o porcentaje de cambio de un resultado principal; nivel de significación; e información relevante sobre el riesgo de sesgo. Los desacuerdos entre los dos revisores se discutieron con un tercer revisor (J.C.G.). Cuando fue necesario, los autores fueron contactados por correo electrónico para obtener información adicional no descrita en sus artículos.

Dos revisores (A.E-E, A.I.C.V.) evaluaron de forma independiente la calidad metodológica y la validez interna de los estudios incluidos mediante la escala PEDro (Maher et al., 2003). Esta escala de 11 ítems se considera una medida válida y fiable de la calidad metodológica de los ensayos controlados aleatorizados (de Morton, 2009; Maher et al., 2003). Cada ítem satisfecho del 2 al 11 (ítems correspondientes a la validez interna, es decir, la medida en que un estudio establece una relación causal confiable entre un tratamiento y un resultado) aporta un punto a la puntuación total de PEDro (0, peor puntuación; 10, mejor puntuación). El ítem 1 informa sobre la validez externa y no se considera para la puntuación total. De esta manera, la escala PEDro tiene el objetivo de clasificar aquellos estudios de diferente calidad metodológica para permitir un análisis preciso. En esta revisión, los estudios con una puntuación de 7 a 10 se consideraron de buena calidad metodológica, los que obtuvieron una puntuación de 5 a 6 se consideraron de calidad metodológica aceptable, mientras que los que obtuvieron una puntuación inferior a cinco se consideraron de mala calidad metodológica.

Síntesis y análisis de datos





Se realizó una síntesis narrativa para informar y comparar los diferentes criterios de progresión de la carga existentes en la literatura científica. Aunque los autores de la mayoría de los estudios fueron contactados por correo para obtener los datos necesarios para su inclusión en un metaanálisis, no fue posible obtener la mayoría de estos datos. Por lo tanto, debido a la falta de estudios con datos completos y la heterogeneidad existente, sólo fue posible realizar una síntesis narrativa. Los diferentes grupos de intervención o control se organizaron en las tablas priorizando las intervenciones con ejercicios sobre las intervenciones pasivas, independientemente del orden de las intervenciones en los estudios originales. En los casos en que se compararon dos o más intervenciones con ejercicios, se priorizó la intervención que obtuvo el mayor tamaño del efecto en el estudio. En todos los casos, se seleccionó para el análisis la última medición del resultado principal, centrándose así en la efectividad a largo plazo de las intervenciones. Además, se evaluó la heterogeneidad de los estudios incluidos ordenando los resultados por características metodológicas (localización de la tendinopatía, intervención, tipo de grupo control utilizado, criterios de progresión, informe de datos).

La d de Cohen de los principales resultados clínicos y de rendimiento se recuperó o calculó para cuantificar y comparar la efectividad de las intervenciones (Cohen, 1988). Cuando fue posible, se eligió el cuestionario VISA (VISA-A, VISA-P o VISA-G) o la EVA del dolor como el resultado clínico principal para homogeneizar el análisis, ya que fueron las variables más utilizadas. El tamaño del efecto se clasificó en cuatro niveles: $d < 0.2$ se consideró un tamaño del efecto trivial; $d \geq 0.2$ se consideró un tamaño del efecto pequeño; $d \geq 0.5$ se consideró un tamaño del efecto medio, y $d \geq 0.8$ se consideró un tamaño del efecto grande (Cohen, 1988). El nivel de significación se fijó en 0.05.





Anexo 1.3 Metodología utilizada en el cuarto artículo

Diseño del estudio

Este protocolo describe un ensayo controlado aleatorizado con un diseño paralelo y ciego simple, que se llevará a cabo entre personas con tendinopatía de miembros inferiores. El estudio ha sido aprobado por el Comité Ético del Portal de Ética de la Investigación Biomédica de Andalucía (1221-N-19) y registrado en ClinicalTrials.gov (NCT03853122). Este protocolo ha sido reportado de acuerdo con la Declaración SPIRIT (en inglés, *Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials*) para estudios de intervención. Una vez concluido, el estudio se publicará siguiendo la lista de verificación de las Normas consolidadas de reporte de ensayos CONSORT (en inglés, *Consolidated Standards of Reporting Trials*) para garantizar un informe transparente y estandarizado (Altman, 1996).

El ensayo se adhiere a los principios de la Declaración de Helsinki. Todos los participantes serán informados sobre el propósito y el contenido del estudio. Se completará el consentimiento informado por escrito por parte de todos los participantes incluidos en el estudio.

Participación de pacientes

Durante la etapa de diseño, se recibieron diferentes aportaciones de pacientes con tendinopatía, lo que ayudó en la elaboración del protocolo. Una vez publicado el ensayo, los participantes serán informados de los resultados a través de un correo y se les enviarán detalles de los resultados en un informe del estudio adecuado para un público no especializado.





Participantes

Detalles del reclutamiento

Se realizará un reclutamiento de personas con tendinopatía aquilea, rotuliana o glútea en un Centro de Salud español.

Los potenciales participantes serán identificados por uno de los dos especialistas médicos que actuarán como reclutadores. Los reclutadores identificarán a las personas con al menos una de las tres tendinopatías de miembros inferiores estudiadas y establecerán el cumplimiento de los criterios de selección que se describen a continuación. Todos los sujetos serán informados sobre el propósito y las características del estudio, y se les pedirá su participación voluntaria en el estudio.

Criterios de selección

Debido a las características específicas de cada una de las tendinopatías estudiadas, se establecerán criterios de selección generales y específicos para cada región.

Criterios generales de inclusión

- a) Personas de entre 18 y 65 años con un diagnóstico clínico de tendinopatía de la porción media del Aquiles, rotuliana o glútea;
- b) con una duración del dolor de al menos un mes.

Criterios generales de exclusión

- a) Inyección de corticosteroides en el tendón estudiado en los últimos 12 meses;
- b) otras lesiones en el miembro inferior afectado en los últimos 12 meses;
- c) cirugía previa por causas musculoesqueléticas del miembro inferior afectado en los últimos 12 meses;
- d) historia de rotura tendinosa en el miembro inferior afectado;



- e) enfermedades sistémicas como artritis reumática o diabetes mellitus.

Criterios específicos de selección para la tendinopatía glútea (Mellor et al., 2018)

Criterios de inclusión: dolor lateral de cadera, con una intensidad de dolor de al menos 4/10 en una escala numérica de 11 puntos (0 = sin dolor, 10 = peor dolor imaginable) y diagnóstico clínico de tendinopatía glútea por un médico (con evaluación funcional de fisioterapia).

Criterios de exclusión: dolor lumbar, ciático o inguinal de intensidad superior a 2/10 en una escala numérica de 11 puntos.

Criterios específicos de selección para la tendinopatía rotuliana

Criterios de inclusión: dolor localizado en el polo inferior de la rótula a la palpación y durante actividades que impliquen salto o aterrizaje, dolor durante la sentadilla unilateral en plano declinado (Rio et al., 2017), y una intensidad de dolor de al menos 3/10 en una escala numérica de 11 puntos (0 = ningún dolor, 10 = peor dolor imaginable). El dolor se localiza por parte del paciente usando sólo uno o dos dedos (Cardoso et al., 2019).

Criterios de exclusión: presencia de dolor difuso en la rodilla indicativo de posible dolor patelofemoral (Holden et al., 2019).

Criterios específicos de selección para la tendinopatía de la porción media del

Aquiles

Criterios de inclusión: dolor e hinchazón entre los 2 y 7 cm desde la inserción en el calcáneo (Habets et al., 2017).

Criterios de exclusión: diagnóstico de tendinopatía insercional del Aquiles
(Habets et al., 2017).

Las pruebas de imagen, como la resonancia magnética o la ecografía, solo han mostrado una correlación pobre o moderada con el dolor en la tendinopatía (Docking et al., 2015; K. Khan et al., 2003). Además, en el International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus (ICON 2019), se acordó que la imagen no siempre es necesaria para un diagnóstico de tendinopatía, ya que este es predominantemente clínico. (Scott et al., 2020). Por esta razón, solo se considerarán los criterios de diagnóstico clínico para la elegibilidad.

Asignación oculta

La asignación se mantendrá oculta mediante el uso de sobres opacos sellados. Para ello, un asistente no involucrado en el estudio preparará sobres sellados y numerados consecutivamente opacos. A cada sobre se le asignará un grupo al azar mediante una lista de números aleatorios generada por ordenador, y estos se guardarán en un archivador cerrado con llave al que solo puede acceder el asistente. Una vez confirmado el cumplimiento de los criterios de selección y la participación en el estudio, cada sujeto recibirá un sobre secuencialmente y será asignado al grupo correspondiente.

Intervenciones

Al comienzo del programa, los participantes de ambos grupos recibirán educación individual sobre la fisiopatología básica de la tendinopatía y los factores de riesgo para cada una de las localizaciones específicas. Así mismo, recibirán educación sobre la



identificación de síntomas y signos normales y aquellos que indican un exceso en la dosis de carga, así como sobre una adecuada selección y progresión de esta.

Grupo experimental

Los participantes asignados al grupo experimental realizarán un novedoso programa de ejercicio terapéutico consistente en el entrenamiento de diferentes características neuromusculares y una cuantificación y progresión de la carga basada en el uso de pruebas funcionales específicas.

El programa del grupo experimental constará de 14 semanas en las que se realizarán 70 sesiones individualizadas de fisioterapia, entre sesiones supervisadas, semisupervisadas y no supervisadas. 42 sesiones consistirán en un entrenamiento neuromuscular por etapas, realizado con una frecuencia de tres sesiones semanales. Además, el participante llevará a cabo veintiocho sesiones de entrenamiento aeróbico individualizado no supervisado. Estas sesiones se llevarán a cabo con una intensidad entre el 60-75% del $VO_2máx$, estimado a partir de los valores de frecuencia cardíaca.

El programa de entrenamiento neuromuscular constará de cinco etapas divididas en dos, cuatro, cuatro, dos y dos semanas, respectivamente. La frecuencia de este entrenamiento será de tres sesiones semanales. Los cuatro ejercicios utilizados serán comunes para las tres ubicaciones diferentes de las tendinopatías. En cada sesión, se realizará de manera alternativa dos de los ejercicios. Durante las primeras cuatro etapas, estos ejercicios se basan en cuatro posiciones diferentes de los pies en la prensa de piernas (pies separados con el ancho de los hombros; pie izquierdo adelantado; pie derecho adelantado; pies separados con rotación externa tibial de 45°). Estas cuatro posiciones se han elegido porque ofrecen una mayor variabilidad en un movimiento de





triple extensión (extensión de cadera, rodilla y tobillo) como el ejercicio de sentadilla en prensa de piernas. Este ejercicio se ha utilizado previamente en protocolos de tendinopatía rotuliana (Kongsgaard et al., 2009), pero se hipotetiza que el movimiento de triple extensión podría ser beneficioso para la función de los tres tendones estudiados en un gran número de actividades de la vida diaria. En cada una de las etapas, los parámetros de carga y velocidad se modificarán para incidir en diferentes características del sistema neuromuscular. Durante la Etapa 5, los ejercicios consistirán en cuatro modalidades de salto diferentes (salto contramovimiento, CMJ por sus siglas en inglés; salto con caída previa, DJ por sus siglas en inglés; DJ con doble tarea; y saltos repetidos verticales.

Ejercicio aeróbico: numerosos estudios han demostrado durante las últimas décadas el efecto del ejercicio como una excelente "polipíldora" que tendría un impacto positivo en muchos sistemas corporales (Fiuza-Luces et al., 2013). Así, además de los efectos que el ejercicio aeróbico pueda tener sobre la capacidad cardiorrespiratoria, la resistencia o el rendimiento, este tipo de ejercicio puede influir sobre el eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal (Arvidson et al., 2020), liberar mioquinas inducidas por el ejercicio (So et al., 2014), o aumentar la sensibilidad a las catecolaminas (Dienstbier, 1991), entre otros efectos potenciales. El ejercicio aeróbico puede ayudar no solo al permitir un retorno progresivo a la actividad deportiva, sino también al proporcionar un posible efecto analgésico y acelerador de la recuperación. Aunque el uso de un cicloergómetro permite estandarizar esta parte del entrenamiento para la mayoría de las personas, debido al objetivo de este tipo de entrenamiento podría adaptarse a otras modalidades de ejercicio aeróbico como correr al aire libre o en una cinta de correr. Esto también incluiría un posible entrenamiento aeróbico de las extremidades superiores (por ejemplo,





utilizando un ergómetro de la parte superior del cuerpo o ejercicios genéricos de las extremidades superiores con naturaleza aeróbica) en las primeras etapas en aquellos casos en los que los síntomas no permiten un trabajo adecuado de las extremidades inferiores.

Etapa 1: basada en contracciones isométricas para controlar los síntomas y preparar el sistema neuromuscular para fases posteriores. El uso de contracciones isométricas ha mostrado algunos beneficios en la tendinopatía como una reducción en la inhibición cortical (Rio et al., 2015, 2016) o analgesia inmediata (Pearson et al., 2020; Rio et al., 2015) y a corto plazo (Pearson et al., 2020; van Ark et al., 2016). La ausencia de diferencias entre los diferentes protocolos sugiere que los efectos pueden estar más relacionados con la obtención de una intensidad y un tiempo adecuados bajo tensión que con parámetros específicos del ejercicio como la fase de la contracción (Pearson et al., 2020).

Etapa 2: esta etapa incluye ejercicios isotónicos y de fuerza realizados de manera lenta y con cargas altas, y ha sido propuesta previamente por numerosos autores con el objetivo de mejorar la fuerza muscular y la rigidez tendinosa (Cardoso et al., 2019; Malliaras et al., 2015; Mascaró et al., 2018). La principal novedad de este estudio es la incorporación de una metodología basada en el tiempo bajo tensión y no en el número de repeticiones. La importancia de garantizar un tiempo suficiente bajo tensión radica en el hecho de que un mayor tiempo con la misma carga de volumen produce una mayor fatiga muscular general (Tran & Docherty, 2006) y un mayor impacto en las respuestas metabólicas (Corradi et al., 2021), lo que puede traducirse en adaptaciones neuromusculares adicionales.





Etapas 3: basada en el entrenamiento de fuerza a través de ejercicios realizados con una pérdida de velocidad máxima del 20%. Este tipo de entrenamiento ha demostrado ser superior a otros (pérdida de velocidad del 0%, 10% y 40%) obteniendo los mayores aumentos de hipertrofia muscular y evitando las adaptaciones neuromusculares negativas observadas en trabajos con mayores pérdidas de velocidad (Pareja-Blanco et al., 2020).

Etapas 4: basada en entrenamiento de fuerza con cargas muy altas. Se ha observado en estudios previos que el entrenamiento de fuerza realizado con cargas muy altas es una buena manera de obtener los máximos beneficios de fuerza (Jenkins et al., 2017; Schoenfeld et al., 2017). Durante algunas décadas, estos incrementos en la fuerza, no explicables únicamente por aumentos en la hipertrofia, se han atribuido a adaptaciones neuronales (Häkkinen & Keskinen, 1989; Jenkins et al., 2017; Schoenfeld et al., 2017; Zatsiorsky & Kraemer, 2006).

Etapas 5: basada en un trabajo de fuerza explosiva mediante saltos y ejercicios pliométricos, dirigido a la mejora de la capacidad de almacenamiento de energía del tendón. Este tipo de entrenamiento ha sido recomendado para la tendinopatía por diferentes autores (Kountouris & Cook, 2007; Malliaras et al., 2015; Mascaró et al., 2018; Sancho et al., 2019).

En las diferentes etapas, los tests de carga están diseñados para calcular la carga necesaria para la aparición de fasciculaciones (Etapas 1), la incapacidad de continuar moviendo la carga (Etapas 2 y 4) y para la obtención de una pérdida de velocidad del 20% (Etapas 3) en un tiempo determinado, o para calcular la altura máxima que se puede mantener en saltos verticales repetidos durante un tiempo específico (Etapas 5). En general, se ha elegido un tiempo de trabajo de cada serie inferior al tiempo calculado en





cada test. Este hecho, unido a un elevado número de series, permite un trabajo diferente en la primera serie, centrado en acumular volumen, y en la última serie, donde debido a la fatiga neuromuscular se alcanza un límite similar al obtenido en la prueba.

Los detalles específicos de la intervención, así como información detallada de cada una de las etapas, están disponibles en el Anexo suplementario del cuarto artículo.

Grupo control

Los participantes asignados al grupo control llevarán a cabo un programa de ejercicio terapéutico de 14 semanas. En el caso de los sujetos con tendinopatía aquilea, el programa se basará en el protocolo de entrenamiento excéntrico aislado descrito por Alfredson (Alfredson et al., 1998). La versión modificada del protocolo de Alfredson de Purdam et al. (Purdam et al., 2004) y el protocolo LEAP de Mellor et al. (Mellor et al., 2018) se aplicará para la tendinopatía rotuliana y glútea, respectivamente. Los tres protocolos se adaptarán para llevarse a cabo en 14 semanas con el fin de equiparar las intervenciones realizadas en el grupo control e intervención. En el Anexo suplementario del cuarto artículo figura información detallada sobre el protocolo y los ejercicios utilizados en el grupo control. Este grupo realizará el mismo número de sesiones supervisadas que el grupo de intervención (14 sesiones), realizando el resto de las sesiones de forma autónoma, pero con la ayuda de un instructor cuando sea necesario. Los participantes de ambos grupos llevarán un registro a través de un diario de actividades.

Se permitirá a los participantes realizar actividad física ligera y moderada siempre que no produzca un aumento de los síntomas tanto durante como especialmente a las 24 horas



(EVA >50 mm). Asimismo, se les recomendará abandonar aquellos entrenamientos que no permitan una recuperación adecuada entre sesiones cuando se apliquen junto con el programa de entrenamiento propuesto en este estudio.

Variables de resultado

Ambos grupos serán evaluados al inicio, a mediados (7 semanas) y al final del programa, así como en el seguimiento a medio (26 semanas) y largo plazo (52 semanas). Las evaluaciones y el control y resolución de posibles eventos que puedan ocurrir estarán bajo la supervisión de un investigador. El mismo evaluador, cegado a la asignación grupal de los participantes, medirá cada resultado en cada una de las mediciones.

Variable de resultado primaria

El cuestionario del Victorian Institute of Sports Assessment (VISA-A, VISA-P y VISA-G para tendinopatía aquilea, rotuliana y glútea, respectivamente) (Visentini et al., 1998; Robinson et al., 2001; Fearon et al., 2015), herramienta que evalúa la presencia de síntomas y el efecto de estos en la función física, se considerará como variable primaria y se utilizará para evaluar la efectividad del programa aplicado en cada grupo. El VISA-A y el VISA-P han sido adaptados y validados para la población española mostrando propiedades psicométricas satisfactorias, similares a las obtenidas mediante la versión original en inglés (Hernandez-Sanchez et al., 2011; Hernández-Sánchez et al., 2018).

Variables de resultado secundarias

Adicionalmente, se evaluarán las siguientes variables secundarias:



Escala Visual Analógica (EVA): se utilizará una EVA de 0 a 100 mm para registrar la cantidad de dolor en el tendón en reposo y durante la actividad de carrera, siendo 0 ningún dolor y 100 el peor dolor imaginable (Carlsson, 1983; Price et al., 1983). Además, se preguntará a los sujetos cuánto tiempo transcurre cuando corren hasta el inicio del dolor, con el fin de obtener información complementaria.

Umbral de dolor de presión: se utilizará un algómetro de presión de mano (FPK 20, Wagner Instruments, Greenwich, EE. UU.) con una sonda de 1 cm² para evaluar el umbral de dolor por presión en reposo en el tendón (P. van Wilgen et al., 2011). Los sujetos se colocarán en decúbito prono con el tobillo en posición neutra (90°) para el tendón de Aquiles (Tompra et al., 2016), en sedestación con la rodilla flexionada a 90° para el tendón rotuliano (Holden et al., 2019) y en decúbito lateral con la cadera ligeramente flexionada para el tendón glúteo (Sayed-Noor et al., 2008). El aparato se colocará perpendicular a la piel sobre el área de medida, aumentando la presión ejercida 30kPa/s (Holden et al., 2019). Se instruirá a los participantes para que indiquen cuándo la sensación cambia de presión cómoda a dolor ligeramente desagradable. La prueba se repetirá tres veces con un minuto de descanso entre repeticiones. El valor medio se utilizará para el análisis (Holden et al., 2019).

Cuestionario de dolor musculoesquelético de Örebro (ÖMPSQ): el ÖMPSQ es un cuestionario autoadministrado utilizado para identificar a pacientes con dolor musculoesquelético agudo o subagudo que están en riesgo de retraso en la recuperación. Esta herramienta tiene como objetivo detectar y cuantificar la existencia de aspectos biopsicosociales que puedan afectar negativamente el pronóstico del paciente. Con una puntuación máxima de 210, una puntuación inferior a 105 puntos se relaciona con una discapacidad baja, una puntuación entre 105 y 130 puntos sugiere una discapacidad





moderada y una puntuación superior a 130 puntos se relaciona con una discapacidad alta (Linton & Boersma, 2003). La adaptación y posterior validación de este cuestionario para la población española ha mostrado una tasa superior a 0.85 en fiabilidad en la mayoría de las variables (Cuesta-Vargas & González-Sánchez, 2014).

Inventario de Sensibilización Central (CSI): el inventario CSI se utilizará para identificar y cuantificar el grado de síntomas clave asociados con el síndrome de sensibilización central presente en los sujetos incluidos (Mayer et al., 2012). La puntuación oscila entre 0 (mejor puntuación) y 100 (peor puntuación). Este índice ha sido adaptado y validado al español con un error estándar de la medición del 2.52% (Cuesta-Vargas et al., 2016).

Escala de Componentes de Miedo-evitación (FACS): la escala FACS se utilizará para evaluar exhaustivamente la presencia de creencias y actitudes de miedo-evitación en los participantes. Se solicita a los participantes que reflexionen sobre experiencias dolorosas pasadas y que indiquen el grado en el que esas experiencias influyen en su actividad. Hay 20 pensamientos o sentimientos relacionados con el miedo-evitación que se califican utilizando escalas de 6 puntos (0, completamente en desacuerdo; 5, completamente de acuerdo). El FACS ofrece una puntuación total entre 0 (mejor puntuación) y 100 (peor puntuación), y ha demostrado una alta fiabilidad de prueba/repetición ($r = 0.90-0.94$) (Neblett et al., 2016).

EQ de 5 dimensiones y 5 niveles (EQ-5D-5L): el EQ-5D-5L ha sido desarrollado y validado en numerosos idiomas y poblaciones. Este cuestionario se utiliza para medir la calidad de vida relacionada con la salud. Así, esta herramienta autoinformada registra las percepciones del sujeto sobre su propio estado de salud general actual evaluando cinco dimensiones (movilidad, autocuidado, actividades habituales, dolor/malestar y ansiedad/depresión). Se aplica con un breve cuestionario y una escala analógica visual.





Cada dimensión se clasifica en cinco niveles, con un rango entre "No tengo ningún problema con..." a "Soy incapaz de..." (Rabin & de Charro, 2001). Se ha validado en la población española como un instrumento adecuado para medir la salud percibida (Hernandez et al., 2018).

Forma corta del Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ-SF): el IPAQ-SF evalúa el tipo y la cantidad de actividad física de los pacientes a través de siete preguntas sobre la actividad física realizada los siete días previos. La actividad física puede interpretarse como un valor numérico (reportado como Equivalente Metabólico Medio de la Tarea (MET)-minutos por semana) o como niveles de actividad bajos, moderados o altos. Este formulario ha mostrado propiedades de medición aceptables (Craig et al., 2003).

Satisfacción con el tratamiento: la satisfacción con el tratamiento se evaluará utilizando una escala analógica visual, de 0 a 100 mm, siendo 0 "nada satisfecho" y 10 "extremadamente satisfecho". Se ha demostrado que esta herramienta es menos vulnerable a los factores de confusión y al efecto techo que la escala Likert asimétrica (Voutilainen et al., 2016). Estos resultados se complementarán con preguntas abiertas para explorar las motivaciones y barreras encontradas durante la intervención, lo que permitirá a los clínicos e investigadores conocer información relevante más allá del efecto de la intervención.

Índice Funcional de las Extremidades Inferiores (LLFI): el LLFI es un índice diseñado para evaluar la capacidad funcional de las extremidades inferiores con una combinación de constructos que incluye funciones corporales, estructuras corporales, actividades y participación y factores ambientales. El LLFI contiene 25 ideas como elementos y los participantes tienen que seleccionar con cuáles de ellas se identifican. El LLFI produce



una puntuación total entre 100, mejor puntuación, y 0, peor puntuación (Gabel et al., 2012). La versión española de este índice ha sido validada mostrando una alta fiabilidad (ICC = 0.96) (Cuesta-Vargas et al., 2014).

Fuerza de las extremidades inferiores: la fuerza de las extremidades inferiores se evaluará con dos métodos diferentes. En primer lugar, la fuerza isométrica se evaluará en una máquina de prensa de piernas utilizando una célula de carga con forma de S, tal y como se realizó en un estudio anterior (Rodríguez-Moya et al., 2011). Adicionalmente, la fuerza isométrica se medirá con un dinamómetro de mano siguiendo la metodología de un estudio previo (flexión plantar del tobillo para la tendinopatía de Aquiles, extensión de la rodilla para la tendinopatía rotuliana y abducción de cadera para la tendinopatía glútea) (Muff et al., 2016). En ambas mediciones, se realizarán dos repeticiones y se utilizará el valor medio para el análisis.

Electromiografía de alta densidad: el perfil electromiográfico se calculará utilizando un electromiógrafo de superficie de alta densidad en el músculo cuádriceps. Los participantes ejecutarán contracciones voluntarias isométricas máximas en una máquina de prensa de piernas. Se registrarán los valores de electromiografía durante 20 segundos. Los datos obtenidos se analizarán para extraer la tasa media de descarga de las unidades motoras (en disparos por segundo) y el umbral de reclutamiento y desreclutamiento (en Nw). El perfil electromiográfico solo se evaluará en un subgrupo seleccionado aleatoriamente de cada brazo (Enoka, 2019; Martinez-Valdes et al., 2016, 2017; Negro et al., 2016).



Otras medidas

Se alentará a los participantes a seguir las intervenciones asignadas, tratando de evitar cualquier tratamiento externo al estudio. Se les informará de la importancia del cumplimiento de los programas, y se les pedirá que registren cualquier desviación del protocolo en un diario.

Gestión de los datos

Las respuestas obtenidas en el cuestionario VISA se convertirán en su correspondiente puntuación para cada sujeto. La diferencia de medias obtenidas en cada grupo entre la evaluación basal y al final del programa (14 semanas) se utilizará para determinar el éxito de cada tratamiento.

Tamaño muestral

El efecto del tratamiento se evaluará comparando entre los diferentes grupos las tasas de éxito en las mediciones del cuestionario VISA en el seguimiento. Con un cálculo a priori basado en el tamaño del efecto del estudio LEAP para la tendinopatía glútea ($d = 0.59$) (Mellor et al., 2018), y, utilizando un valor α de 0.05 y un poder estadístico de 0.8, el tamaño de la muestra se estima en 44 participantes por brazo. Suponiendo un porcentaje de abandonos del 15% de la muestra en la medición de seguimiento, el tamaño muestral necesario será de 52 participantes por grupo para una muestra total de 104 participantes.





Cegamiento

Debido a la naturaleza del estudio, ni los terapeutas ni los sujetos pueden ser cegados. Sin embargo, los investigadores responsables de la evaluación y análisis de los resultados estarán cegados a la asignación de los participantes.

Análisis estadístico

Se realizarán análisis estadísticos basados en un enfoque por intención de tratar. Se realizará un Análisis de la varianza (ANOVA) tanto al inicio como en cada uno de los tiempos de medición para verificar la existencia de diferencias significativas inter-grupos. Si se encuentra una distribución no paramétrica, se realizará una prueba de Kruskal Wallis en cada momento de medición. No se prevé, a priori, el uso de análisis de subgrupos o análisis adicionales.



Anexo 2: Información adicional de los resultados del primer artículo

Anexo 2.1 Características de los estudios incluidos en el primer artículo y descripción de los métodos de evaluación. Tabla de Escriche-Escuder et al. 2022 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.

Autor y año	Población	Tendón	Tipo de ejercicio	Parámetro evaluado y metodología de evaluación
Baxter et al. 2021	N= 8; Sanos; 6M, 2F; 30 ±4 años; IMC: 24.1 ±3.2	Aquiles	Ejercicios dinámicos: elevación del talón en sedestación unilateral con 15 kg colocados en el muslo, elevaciones de talón unilateral y bilateral realizadas a una velocidad cómoda y rápida, zancadas, sentadillas y subida y bajada de un escalón bajo (12 cm) y alto (20 cm)	Fuerza: Dinámicas inversas: la fuerza del tendón de Aquiles se estimó como el momento de plantiflexión calculado con análisis de dinámicas inversas dividido por un brazo de momento de plantiflexión de 5 cm, normalizando la carga por el peso corporal del individuo. Modelo musculoesquelético: OpenSim. Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.
Chaudhry et al. 2015	N= 11; Sanos; 6M, 5F; 26.5 ±1.9 años; Peso: 65.92 ±10.5 kg; Altura: 173 ±8 cm	Aquiles	Ejercicios dinámicos: flexión plantar de tobillo concéntrica (elevación del talón) y excéntrica (descenso del talón)	Fuerza: Dinámicas inversas: la fuerza del tendón de Aquiles se calculó dividiendo el momento de la articulación del tobillo aplicado externamente por el brazo de momento, normalizándose por el peso corporal del individuo. La distancia perpendicular al centro de la



				<p>articulación del tobillo desde la línea que une el marcador calcáneo y el marcador del tendón de Aquiles se tomó como el brazo de momento después de la corrección del grosor de la piel medido por ecografía.</p> <p>Análisis de datos: código Matlab. Se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas para el procedimiento.</p> <p>Estiramiento: la longitud del tendón se calculó como la distancia entre la inserción del tendón de Aquiles y la UMT distal del gastrocnemio medial (sistema de ecografía y análisis de movimiento activo).</p>
Gheidi et al. 2018	<p>N= 18; Sanos; 18M;</p> <p>22.1 ±1.8 años;</p> <p>Peso: 74.29 ±11.3 kg;</p> <p>Altura: 177.7 ±8.4 cm</p>	Aquiles	<p>Ejercicios dinámicos: elevación unilateral y bilateral del talón, sentadilla y zancadas</p>	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: las fuerzas musculares se estimaron a partir de un modelo musculoesquelético. Los brazos de momento se basaron en literatura previa (modelo basado en gráficos) (Delp et al., 1990). Las fuerzas musculares calculadas se utilizaron para cuantificar la fuerza total del tendón de Aquiles sumando las fuerzas musculares del gastrocnemio medial y lateral y el sóleo durante la fase de cada ejercicio. Modelo musculoesquelético: Human Body Model. Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.</p>



<p>Rees et al. 2008</p>	<p>N= 7; Sanos; 4M, 3F; 19-41 años;</p>	<p>Aquiles</p>	<p>Ejercicios dinámicos: ejercicios excéntricos de descenso de talón y elevaciones concéntricas de talón</p>	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: la fuerza del tendón de Aquiles se calculó dividiendo el momento de la articulación del tobillo por el brazo de momento entre el tendón de Aquiles y el centro de la articulación del tobillo. Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.</p> <p>Estiramiento: la longitud del tendón de Aquiles se calculó como la distancia entre la UMT del gastrocnemio medial (origen tendinoso) y la inserción del tendón (ecografía y sistema de análisis de movimiento activo).</p>
<p>Revak et al. 2017</p>	<p>N= 21; Sanos; 21M; 21.59 ±1.92 años; Peso: 75.81 ±1.24 kg; Altura: 178.22 ±8.02 cm</p>	<p>Aquiles</p>	<p>Ejercicios dinámicos: elevación y descenso bilateral de talones en sedestación, elevación y descenso de talón bilateral en bipedestación, elevación y descenso unilateral de talón.</p>	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: las fuerzas musculares se estimaron a partir de un modelo musculoesquelético. Las fuerzas musculares se utilizaron para cuantificar la fuerza total del tendón de Aquiles sumando las fuerzas musculares del gastrocnemio medial y lateral y el sóleo para cada ejercicio. Modelo musculoesquelético: Human Body Model. Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.</p> <p>Estiramiento: el estiramiento se calculó indirectamente dividiendo la tensión tendinosa por el módulo de Young promedio de 819 N/mm² reportado en literatura previa.</p>



Sinclair et al. 2015	<p>N= 18; Sanos; 18M;</p> <p>23.61 ±4.17 años;</p> <p>Peso: 75.63 ±6.54 kg;</p> <p>Altura: 178 ±10 cm</p>	Aquiles	Ejercicios dinámicos: sentadillas delanteras y traseras	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: la carga del tendón de Aquiles (CTA) se determinó dividiendo el momento de flexión plantar (MFP) por el brazo estimado del momento del tendón de Aquiles (MA): $CTA = MFP / MA$.</p> <p>El brazo de momento se cuantificó en función del ángulo del plano sagital del tobillo utilizando un procedimiento descrito en la literatura previa (Self & Paine, 2001).</p> <p>Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.</p>
Weinert-Aplin et al. 2015	<p>N= 19; Sanos; 8M, 11F;</p> <p>M: 28 ±3 años;</p> <p>Peso: 73.4 ±12 kg;</p> <p>Altura: 176 ±10 cm</p> <p>F: 29 ±6 años;</p> <p>Peso: 58.7 ±10.2 kg;</p> <p>Altura: 163 ±5 cm</p>	Aquiles	Ejercicios dinámicos: descenso excéntrico de talón (con la rodilla extendida y flexionada) descalzo y calzado	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: se utilizaron datos de cinemática y cinética para calcular los ángulos y los momentos intersegmentarios en las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera siguiendo la dinámica inversa establecida utilizando las ecuaciones de Newton-Euler de movimiento y dinámica de segmentos. Modelo musculoesquelético: modelo musculoesquelético de miembros inferiores implementado en Matlab. Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas (todas las condiciones), y un sistema de medición de presión plantar en el calzado (para condiciones con calzado).</p>



Yeh et al. 2021	N= 18; Sanos; 11M, 7F; 29.6 ±3.8 años; Peso: 70.7 ±12.4 kg; Altura: 171.8 ±7.5 cm	Aquiles	Ejercicios dinámicos: modificación de los protocolos HSR y EXC: elevación y descenso del talón en bipedestación (100, 108-115, 125, 160 de %PC); elevación y descenso del talón en sedestación (13, 21-28, 38, 63 de %PC)	Fuerza: Dinámicas inversas: la fuerza del tendón de Aquiles se calculó dividiendo el par del tobillo por el brazo de momento efectivo específico del participante estimado a partir de la RMN. Modelo musculoesquelético: FreeBody. Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento, datos de plataformas de fuerzas y pruebas de RMN.
Dillon et al. 2008	N= 7; Sanos; 7M; 26.4 ±3.9 años; IMC: 24.8 ±1.5	Rotuliano	Ejercicios dinámicos: sentadilla de una pierna CONC y EXC (110°), extensión de rodilla CON y EXC con un peso de 10 kg unido al pie (90°), subida y bajada de escalón	Fuerza: Fibra óptica: se utilizó una técnica de fibra óptica para detectar fuerzas tanto en la región anterior como en la posterior del tendón rotuliano proximal. La técnica implica que la fibra óptica se inserte a través de toda la sección transversal del tendón y los extremos se unan a una unidad transmisora-receptora para la monitorización de la intensidad de la luz.
Earp et al. 2016	N= 10; Sanos; 10M; 25.8 ±2.8 años; Peso: 83.8 ±9.4 kg; Altura: 177 ±6 cm	Rotuliano	Ejercicios dinámicos: levantamiento desde sentadilla profunda a una intensidad del 60% de 1RM a tres velocidades diferentes: tempo fijo lento, velocidad volitiva sin pausa y salto de velocidad máxima)	Fuerza: Dinámicas inversas: las fuerzas del tendón rotuliano se estimaron multiplicando el momento de la rodilla por el momento derivado de la articulación de la longitud del brazo de la rótula; según lo determinado mediante un modelo publicado anteriormente (Visser et al., 1990). Los momentos relativos de la articulación del tobillo, la rodilla y la cadera se estimaron combinando los datos cinéticos de la



				<p>plataforma de fuerzas con datos cinemáticos utilizando ecuaciones de dinámica inversa estándar y con masas segmentarias estimadas utilizando las ecuaciones derivadas de cadáveres proporcionadas en la literatura previa.(Robertson et al., 2004). Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.</p> <p>Estiramiento: la longitud de la UMT se estimó utilizando modelos previos basados en la posición de las articulaciones y las longitudes de las extremidades individuales. La longitud del tendón del cuádriceps se calculó como la longitud del fascículo instantánea menos la longitud inicial de la UMT.</p>
Frohman et al. 2007	<p>N_{Total}= 14; Sanos; 14M</p> <p>N₁: 13; 36 ±9 años;</p> <p>Peso: 87 ±4kg;</p> <p>Altura: 183 ±5 cm</p> <p>N₂: 11; 39 ±10 años;</p> <p>Peso: 87 ±5 kg;</p> <p>Altura: 183 ±5 cm</p>	Rotuliano	<p>Ejercicios dinámicos: sentadillas excéntricas sosteniendo un peso (disco de barra) de 10 kg en plano declinado y en superficie horizontal, sentadilla excéntrica en dispositivo Bromsman en plano declinado y en superficie horizontal</p>	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: se estimó la fuerza del tendón rotuliano dividiendo el momento de la rodilla por el brazo del momento del tendón rotuliano, específico para el ángulo de flexión de la rodilla correspondiente. Los brazos de momento se basaron en datos para diferentes ángulos reportados en literatura previa (Smidt, 1973). Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.</p>



<p>Reilly and Martens 1972</p>	<p>N= 3; Sanos; 3M; 24, 26, and 30 años</p>	<p>Rotuliano</p>	<p>Ejercicios dinámicos: elevación de piernas, subida de escaleras y flexiones profundas de rodillas</p>	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: el cálculo para el ejercicio de elevación de piernas fue una formulación puramente matemática (basada en el brazo de momento y los ángulos), mientras que los otros casos son una combinación de una formulación matemática con parámetros determinados experimentalmente (plataforma de fuerzas instrumentada con galgas extensiométricas). El brazo de momento de la fuerza del tendón rotuliano se midió a partir de roentgenogramas. Para el procedimiento se utilizó un sistema de fotografía estroboscópica y datos de plataformas de fuerzas.</p>
<p>Richards et al. 2016</p>	<p>N= 18; Sanos; 9M, 9F; 20-46 años; Peso: 75.1 kg (58.3-100)</p>	<p>Rotuliano</p>	<p>Ejercicios dinámicos: sentadillas en plano declinado en diferentes ángulos de declinación (0°, 5°, 10°, 15°, 20° y 25°)</p>	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: la fuerza del tendón rotuliano (FTR) se determinó dividiendo el momento extensor (ME) por el brazo del momento tendinoso (MT): $FTR = ME / MT$. El brazo de momento se cuantificó en función del ángulo de flexión de la rodilla ajustando una curva polinómica de 2º orden a los datos publicados en la literatura previa (Herzog & Read, 1993). Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.</p>
<p>Zellmer et al. 2019</p>	<p>N= 25; Sanos; 25F 22.69 ±0.74 años; Peso: 61.55 ±9.74 kg;</p>	<p>Rotuliano</p>	<p>Ejercicios dinámicos: zancada hacia adelante con la rodilla detrás de los dedos de los pies</p>	<p>Fuerza: Dinámicas inversas: las fuerzas musculares se estimaron a partir de un modelo musculoesquelético. Las fuerzas musculares calculadas se utilizaron para cuantificar la fuerza total del tendón rotuliano</p>



	Altura: 169.39 ±6.44 cm			sumando las fuerzas musculares del recto femoral, vasto medial, vasto lateral y vasto intermedio a lo largo de cada repetición. Modelo musculoesquelético: Human Body Model. Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.
Zwerver et al. 2007	N= 5; Sanos; 2M, 3F; 19-24 años (media 22); Peso: 58-84 kg (media 72); Altura: 168-200 cm (media 180)	Rotuliano	Ejercicios dinámicos: sentadillas unilaterales en plano declinado en diferentes ángulos de declinación (0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25° y 30°) con y sin mochila de 10 kg	Fuerza: Dinámicas inversas: las fuerzas normalizadas del tendón rotuliano se estimaron de acuerdo con la siguiente fórmula: $F_{tendon} = M/d$, donde M es el momento del tobillo y d es el brazo de momento normalizado del tendón rotuliano. El cálculo de los brazos de momento se basó en la literatura previa (Krevolin et al., 2004). Para el procedimiento se utilizó un sistema de captura de movimiento y datos de plataformas de fuerzas.
Edsfeldt et al. 2015	N= 12; pacientes a la espera de cirugía de liberación de túnel carpiano; 4M, 8F; 42 (32-52) años	Mano	Ejercicios dinámicos: extensión de los dedos sin resistencia y flexión de todos los dedos, flexión aislada no asistida de FPD, flexión aislada no asistida de FSD	Fuerza: Transductor de fuerza de hebilla: tras la liberación del ligamento retináculo flexor con una incisión longitudinal, se aislaron los tendones FPD y FSD del índice y se colocaron transductores de fuerza de hebilla alrededor de cada uno. El experimento se llevó a cabo bajo anestesia local.

Kursa et al. 2006	N= 12; pacientes a la espera de cirugía de liberación de túnel carpiano; 4M, 8F; 42 ±10 años	Mano	Ejercicios dinámicos: flexión y extensión de dedos sin resistencia en diferentes ángulos (extensión metacarpofalángica de 15°, 45° y 60° y flexión metacarpofalángica)	Fuerza: Transductor de fuerza de hebilla: tras la liberación del ligamento retináculo flexor con una incisión longitudinal, se aislaron los tendones FPD y FSD del índice y se colocaron transductores de fuerza de hebilla alrededor de cada uno. El experimento se llevó a cabo bajo anestesia local.
Nikanjam et al. 2007	N= 12; pacientes a la espera de cirugía de liberación de túnel carpiano; 4M, 8F; 42 ±10 años	Mano	Ejercicios dinámicos: flexión y extensión de los dedos sin resistencia	Fuerza: Transductor de fuerza de hebilla: tras la liberación del ligamento retináculo flexor con una incisión longitudinal, se aislaron los tendones FPD y FSD del índice y se colocaron transductores de fuerza de hebilla alrededor de cada uno. El experimento se llevó a cabo bajo anestesia local.
Powell and Trail 2004	N= 33; pacientes a la espera de cirugía de liberación de túnel carpiano; 54 (24-86) años	Mano	Ejercicios dinámicos: flexión de dedos sin resistencia y flexión de dedos resistida (polea con pesas 100-500g)	Fuerza: Célula de carga: se utilizó un aparato que consta de tres varillas verticales, cada una de las cuales termina en un "gancho", para las mediciones de la fuerza del tendón. El gancho central está conectado a una célula de carga. El experimento se llevó a cabo bajo anestesia local.
Powell and Trail 2009	N= 24; pacientes a la espera de cirugía de liberación de túnel carpiano; 12M, 12F; 57 (23-86) años	Mano	Ejercicios dinámicos: flexión resistida de los dedos (polea con pesas 100-500g) y extensión resistida de los dedos (banda elástica)	Fuerza: Célula de carga: se utilizó un aparato que consta de tres varillas verticales, cada una de las cuales termina en un "gancho", para las mediciones de la fuerza del tendón. El gancho central está conectado a una célula de carga. El experimento se llevó a cabo bajo anestesia local.



Schuind et al. 1992	N= 5; pacientes a la espera de cirugía de liberación de túnel carpiano; 3M, 2F	Mano	Ejercicios dinámicos: flexión y extensión de muñeca y dedos	Fuerza: Transductor de fuerza con forma de S: se aplicaron transductores de fuerza con forma de S al FLP y a los tendones FSD y FPD del dedo índice. El experimento se llevó a cabo bajo anestesia local.
---------------------	--	------	---	--

CONC= Concéntrica; EXC: Excéntrica; FPD= Flexor profundo de los dedos; FDS= Flexor superficial de los dedos; FLP= Flexor largo del pulgar; HSR= Protocolo Heavy Slow Resistance; M= Sexo masculino; RM= Repetición Máxima; RMN= Resonancia Magnética Nuclear; UMT= Unión miotendinosa; F= Sexo femenino; %PC= Porcentaje del peso corporal.



Anexo 3: Información adicional de los resultados del segundo y tercer artículo

Anexo 3.1 Características de los programas de ejercicio implementados en los estudios incluidos. Tabla de Escriche-Escuder et al. 2020 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.

Estudio	AF*	Intervención			Control		
		Características (Tipo; duración del programa; frecuencia; volumen; series x repeticiones [ejercicios])	Volumen semanal total	Criterio de progresión	Características (Tipo; duración del programa; frecuencia; volumen; series x repeticiones [ejercicios])	Volumen semanal total	Criterio de progresión
TENDINOPATÍA AQUÍLEA							
Gatz et al. (2020)	N/D	EXC+ISOM; 12 semanas; dos veces (EXC) y una vez (ISOM) al día; 3x15 (EXC) y 5x45 segundos (ISOM) (elevación de talones con rodilla extendida)	630 reps/semana (EXC); 1575"/semana (ISOM)	Basado en la Evitación de Dolor y Percepción Subjetiva	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida)	630 reps/semana	Basado en la Evitación de Dolor y Percepción Subjetiva
Stefansson et al. (2019)	N/D	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	Semana 1: 150 reps; semana 2: 630 reps; semanas 3 a 12: 1260 reps	Basado en la Provocación de Dolor		Masaje de presión	
Beyer et al. (2015)	Parcial	HSR; 12 semanas; 3 veces/semana; 3-4x6-15 (tres ejercicios bilaterales: elevación de talones con rodilla extendida y doblada en máquina,	Semana 1: 405 reps; semanas 2 y 3: 324 reps; semanas 4 y 5:	Etapas de Acondicionamiento Físico	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de	1260 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor



		elevación de talones con rodilla extendida sobre disco)	360 reps; semanas 6,7, y 8: 288 reps; semanas 9, 10, 11, y 12: 216 reps		talones con rodilla extendida y flexionada)		
Stevens & Tan (2014)	Parcial	EXC "según tolerancia"; 6 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada); recomendación para lograr un volumen similar al del grupo estándar, pero podían optar por completar un volumen menor que fuera tolerable	1260 reps/semana si se tolera (media: 595 reps/semana)	Basado en la Provocación de Dolor	EXC; 6 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1260 reps/semana (media: 1162 reps/semana)	Basado en la Provocación de Dolor
Kearney et al. (2013)	N/D	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1260 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor		Inyección de PRP	
Yu et al. (2013)	N/D	EXC; 8 semanas; 3 veces/semana; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada; diferentes variantes según la correspondiente semana)	270 reps/semana	Etapas de Acondicionamiento físico	CONC; 8 semanas; 3 veces/semana; 3x15 (plantiflexión usando banda elástica, elevación de talón, salto lateral; diferentes variantes según la correspondiente semana)	405 reps/semana	Etapas de Acondicionamiento Físico
Zhang et al. (2013)	N/D	EXC; 8 semanas; 3 veces/semana; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	270 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor		Acupuntura	
Horstmann et al. (2013)	Sí	EXC; 12 semanas; 3 veces/semana; 3x15 con cada pierna (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	270 reps/semana	Basado en la Fatiga		Grupo control 1: Vibración de cuerpo completa; grupo control 2: esperar y ver	



Yelland et al. (2011)	Sí	EXC; 12 semanas; 3 veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1260 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Inyecciones de proloterapia		
Chester et al. (2008)	N/D	EXC; 12 semanas; una vez al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Ultrasonidos terapéuticos		
Petersen et al. (2007)	Sí	EXC; 12 semanas; 3 veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1890 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Férula AirHeel		
Rompe et al. (2007)	Parcial	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1260 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Grupo control 1: ondas de choque; grupo control 2: esperar y ver		
Nørregaard et al. (2007)	Sí	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1260 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Estiramientos; 12 semanas; dos veces al día; 5x30" (estiramiento con la rodilla recta y doblada)	4200"/semana	Sin progresión
Roos et al. (2004)	N/D	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1260 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Férula nocturna		
Mafi et al. (2001)	Parcial	EXC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (elevación de talones con rodilla extendida y flexionada)	1260 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	CONC; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (diferentes ejercicios según etapas y semanas)	Aproximadamente 1260 reps/semana	Etapas de Acondicionamiento Físico
Silbernagel et al. (2001)	N/D	EXC+CONC; 12 semanas; frecuencia, volumen, y ejercicios variables en cada semana	Variable	Etapas de Acondicionamiento Físico y Percepción Subjetiva	EXC; 12 semanas; 3 veces/día; 3x30 (incluyendo ejercicios que combinan fases excéntricas y concéntricas)	Variable	Percepción Subjetiva



Niesen-Vertommen et al. (1992)	Parcial	EXC; 12 semanas; una vez al día; 6 veces/semana; 5x10 (elevación de talones con rodilla extendida)	300 reps/semana	Basado en la Evitación de Dolor	CONC; 12 semanas; una vez al día; 6 veces/semana; 5x10 (elevación de talones con rodilla extendida)	300 reps/semana	Basado en la Evitación de Dolor
---------------------------------------	---------	--	-----------------	---------------------------------	---	-----------------	---------------------------------

TENDINOPATÍA ROTULIANA

Rio et al. (2017)	Sí	ISOM (ángulo de flexión de rodilla de 60°); 4 semanas; 4 veces/semana; 5x45" mantenidos al 80% MVIC (calculada al inicio)	900"/semana	Incremento Lineal Temporal	Ejercicio isotónico; 4 semanas; 4 veces/semana; 4x8 80% 8RM (calculado al inicio)	128 reps/semana	Incremento Lineal Temporal
van Ark et al. (2016)	Sí	Ejercicio isotónico; 4 semanas; 4 veces/semana; 4x8 80% RM (calculado al inicio)	128 reps/semana	Incremento Lineal Temporal	ISOM (ángulo de flexión de rodilla 60°); 4 semanas; 4 veces/semana; 5x45" 80%MVC	900"/semana	Incremento Lineal Temporal
Da Cunha et al. (2012)	Parcial	Sentadilla EXC dolorosa en plano declinado (máquina con barra guiada); 12 semanas; 3 veces/semana; 3x15	135 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Sentadilla EXC no dolorosa en plano declinado (máquina con barra guiada); 12 semanas; 3 veces/semana; 3x15	135 reps/semana	Basado en la Evitación de Dolor
Kongsgaard et al. (2009)	Parcial	HSR; 12 semanas; 3 veces/semana; volumen variable; 3 ejercicios (sentadilla, prensa de piernas y sentadilla inclinada)	Semana 1: 540 reps; semanas 2 y 3: 432 reps; semanas 4 y 5: 360 reps; semanas 6,7, y 8: 288 reps; semanas 9, 10, 11, y 12: 216 reps	Etapas de Acondicionamiento Físico	Grupo control 1: Sentadilla EXC dolorosa en plano declinado; 12 semanas; dos veces al día, 3x15 (una vez a la semana)/ Grupo control 2: Inyección de corticosteroides	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor



Frohm et al. (2007)	Parcial	Ejercicio común (3x15 encogimientos y 3x1min apoyo monopodal) + EXC sentadilla en plano declinado; 12 semanas; 2 veces/semana; 3x15. Durante las últimas 6 semanas de la intervención, los participantes reanudaron lentamente el entrenamiento supervisado de carrera y salto pliométrico.	90 (encogimientos) + 90 (sentadillas) reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Ejercicio común (3x15 encogimientos y 3x1min apoyo monopodal) + ejercicio EXC con sobregarca (aparato de Bromsman); 12 semanas; 2 veces/semana; 4x4 (esfuerzo máximo). Durante las últimas 6 semanas de la intervención, los participantes reanudaron lentamente el entrenamiento supervisado de jogging y salto pliométrico.	90 (encogimientos) + 32 (sentadillas) reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor
Bahr et al. (2006)	Parcial	Sentadilla EXC en plano declinado; 12 semanas; dos veces al día; 3x15 (sentadilla realizada con flexión de rodilla de 90°)	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Cirugía		
Visnes et al. (2005)	Sí	Sentadilla EXC en plano declinado durante la temporada; 12 semanas; dos veces al día; 3x15	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Entrenamiento habitual (sin intervención)		
Young et al. (2005)	Sí	Sentadilla EXC en plano declinado; 12 semanas; dos veces al día; 3x15	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	Sentadilla EXC en escalón de 10 cm; 12 semanas; dos veces al día; 3x15	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor



Jonsson & Alfredson (2005)	Parcial	Sentadilla EXC en plano declinado; 12 semanas; dos veces al día; 3x15	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor	CONC sentadilla en plano declinado; 12 semanas; dos veces al día; 3x15	630 reps/semana	Basado en la Provocación de Dolor
Stasinopoulos & Stasinopoulos (2004)	N/D	Sentadilla EXC + estiramientos estáticos, 4 semanas, 3 veces/semana, 3x15 (sentadilla unilateral)		Basado en la Provocación de Dolor	Grupo control 1 : fricción transversa/ Grupo control 2: ultrasonidos terapéuticos		
Jensen & Di Fabio (1989)	N/D	Entrenamiento isocinético EXC + estiramientos estáticos; 8 semanas; dos veces al día		Etapas de Acondicionamiento Físico	Estiramientos estáticos; 8 semanas; dos veces al día (Sin progresión)		

TENDINOPATÍA GLÚTEA

Clifford et al. (2019)	Sí	Ejercicio isotónico; 12 semanas; una vez al día; 3x10x6" (dos ejercicios: abducción de cadera en decúbito lateral, abducción de cadera con deslizamiento)	360 reps/semanas; 2520"/semana	Percepción Subjetiva	Ejercicio ISOM: 12 semanas; una vez al día; dos ejercicios: abducción de cadera en decúbito lateral, 6x30"; abducción de cadera con deslizamiento, 3x10x6"	2520"/semana	Percepción Subjetiva
Mellor et al. (2018)	N/D	Ejercicio + educación; 8 semanas (14 sesiones) + programa de entrenamiento en domicilio (4-6 ejercicios); una vez al día	Variable	Etapas de Acondicionamiento Físico	Grupo control 1: corticosteroides / Grupo control 2: esperar y ver		
Ganderton et al. (2018)	No	Ejercicio + educación; 12 semanas; dos veces al día; 2-4x5-15	Variable	Etapas de Acondicionamiento Físico y Percepción Subjetiva	Ejercicio placebo		

AF*= Actividad física adicional permitida; CONC= Entrenamiento de ejercicio concéntrico; EXC= Entrenamiento de ejercicio excéntrico; HSR= Protocolo heavy slow resistance; ISOM= Entrenamiento de ejercicio isométrico; MVC= Máxima contracción voluntaria; N/D= No disponible; PRP= Plasma Rico en Plaquetas; RM= Repetición Máxima; US= Ultrasonidos terapéuticos; EVA= Escala Visual Analógica.

Anexo 3.2 Criterios de progresión en la carga utilizados en los estudios incluidos. Tabla de Escriche-Escuder et al. 2020 reutilizada y traducida con permiso de los poseedores de los derechos.

Estudio	Cat	Criterio de progresión (Grupo 1)	Cat	Criterio de progresión (Grupo 2)
TENDINOPATÍA AQUÍLEA				
Gatz et al. (2020)	BED, PS	Se informó a los pacientes que hicieran los ejercicios con precaución y sin dolor, pasando al siguiente nivel si no sentían dolor o agotamiento con la carga.	BED, PS	Se informó a los pacientes que hicieran los ejercicios con precaución y sin dolor, pasando al siguiente nivel si no sentían dolor o agotamiento con la carga.
Stefansson et al. (2019)	BPD	Si el paciente estuvo libre de dolor durante las 15 repeticiones completas de las 3 series, se agregó peso para la siguiente sesión.		
Beyer et al. (2015)	EA	3x15 repeticiones máximas (15RM), en la semana 1; 3x12 (12RM), en las semanas 2–3; 4x10 (10RM), en las semanas 4 y 5; 4x8 (8RM), de las semanas 6–8; y 4x6 (6RM), de las semanas 9–12.	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor.
Stevens & Tan (2014)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor.	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor.
Kearney et al. (2013)	BPD	Progresión a medida que el dolor lo permite. En primer lugar, se progresó de ejercicios bilaterales a unilaterales. En segundo lugar, la carga se incrementó gradualmente utilizando una mochila cargada.		
Yu et al. (2013)	EA	Diferentes ejercicios, intensidad y complejidad en cada semana, de acuerdo con un protocolo basado en etapas de acondicionamiento físico.	EA	Diferentes ejercicios, intensidad y complejidad en cada semana, de acuerdo con un protocolo basado en etapas de acondicionamiento físico.
Zhang et al. (2013)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor.		
Horstmann et al. (2013)	BF	Los participantes realizaron una serie extra si no había signos de fatiga después de las 3 primeras series. Cuando no era suficiente, la carga se aumentaba gradualmente usando una mochila.		
Yelland et al. (2011)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor.		
Chester et al. (2008)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor		
Petersen et al. (2007)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor		
Rompe et al. (2007)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor		



Nørregaard et al. (2007)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor		
Roos et al. (2004)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor		
Mafi et al. (2001)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor	EA	Diferentes ejercicios, intensidad y complejidad en cada semana, de acuerdo con un protocolo basado en etapas de acondicionamiento físico.
Silbernagel et al. (2001)	EA,PS	Diferentes ejercicios, intensidad y complejidad en cada semana, de acuerdo con un protocolo basado en etapas de acondicionamiento físico. Además, el volumen aumentó gradualmente a medida que la capacidad y los síntomas lo permitieron.	PS	El volumen y la complejidad de los ejercicios aumentaron gradualmente a medida que la capacidad y los síntomas lo permitieron.
Niesen-Vertommen et al. (1992)	BED	Trabajando en un rango de movimiento libre de dolor, progresión cuando la molestia en las últimas cinco a 10 repeticiones estuvo ausente o fue mínima.	BED	Trabajando en un rango de movimiento libre de dolor, progresión cuando la molestia en las últimas cinco a 10 repeticiones estuvo ausente o fue mínima.
TENDINOPATÍA ROTULIANA				
Rio et al. (2017)	TLI	El peso aumentó en un 2.5% cada semana cuando era posible.	TLI	El peso aumentó en un 2.5% cada semana cuando era posible.
van Ark et al. (2016)	TLI	El peso aumentó en un 2.5% cada semana cuando era posible.	TLI	El peso aumentó en un 2.5% cada semana cuando era posible.
Da Cunha et al. (2012)	BPD	Grupo de ejecución con dolor aumentó de peso para realizar ejercicio con el mayor dolor sin alterar el rendimiento.	BED	Cuando los sujetos del grupo "no doloroso", incluso sin adición de carga, presentaron dolor durante el ejercicio, se les dijo que apoyaran las extremidades superiores en una barra con el propósito de disminuir la sobrecarga en el tendón rotuliano.
Kongsgaard et al. (2009)	EA	4x15 repeticiones máximas (15RM) semana 1; 4x12 (12RM) semanas 2-3; 4x10 (10RM) semanas 4-5; 4x8 (8RM) semanas 6-8; y 4x6 (6RM) semanas 9-12.	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor
Frohm et al. (2007)	BPD	Aumento de peso si EVA < 3.	BPD	Aumento de peso (5kg) si EVA < 3; Ejercicio inercial: esfuerzo máximo.
Bahr et al. (2006)	BPD	Cuando el dolor disminuyó a valores <3, el participante agregó carga en una mochila.		
Visnes et al. (2005)	BPD	Con dolor menor de 3 o 4, se recomendó aumentar el peso.		
Young et al. (2005)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor	BPD	Progresión a medida que el dolor disminuía (en primer lugar de lento a rápido, en segundo lugar aumentando la carga).
Jonsson & Alfredson (2005)	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor	BPD	La carga se incrementó gradualmente usando una mochila cargada progresivamente a medida que disminuía el dolor
Stasinopoulos & Stasinopoulos (2004)	BPD	La carga se incrementó gradualmente cargando pesos en las manos a medida que disminuía el dolor		
Jensen & Di Fabio (1989)	EA	La intensidad del ejercicio progresó durante ocho semanas aumentando gradualmente la velocidad de la contracción excéntrica de 30 a 70 °/seg.		

TENDINOPATÍA GLÚTEA





Clifford et al. (2019)	PS	La progresión del ejercicio con las bandas elásticas fue individualizada y basada en la capacidad de cada participante para completar los ejercicios sin aumentar su dolor más allá de 5/10.	PS	La progresión del ejercicio con las bandas elásticas fue individualizada y basada en la capacidad de cada participante para completar los ejercicios sin aumentar su dolor más allá de 5/10.
Mellor et al. (2018)	EA	Diferentes ejercicios, intensidad y complejidad en cada semana, de acuerdo con un protocolo basado en etapas de acondicionamiento físico.		
Ganderton et al. (2018)	EA, PS	Diferentes ejercicios, intensidad y complejidad en cada semana, de acuerdo con un protocolo basado en etapas de acondicionamiento físico. La progresión a través de las etapas también dependió de las habilidades del paciente.		

BED= Basado en la Evitación de Dolor; CAT= Categoría del criterio de progression en la carga; EA= Etapas de Acondicionamiento Físico; BPD= Basado en la Provocación de Dolor; BF= Basado en la Fatiga; RM= repetición máxima; PS= Percepción Subjetiva; ILT= Incremento Lineal Temporal; EVA= Escala Visual Analógica.



TRABAJOS QUE INTEGRAN LA TESIS

Primer artículo

Modelling and in vivo evaluation of tendon forces and strain in
dynamic rehabilitation exercises: a scoping review

Publicado en BMJ Open: 25 de julio de 2022

<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-057605>

Resumen del primer artículo

Objetivos: aunque el ejercicio se considera el enfoque preferido para las tendinopatías, generalmente se desconoce la carga real que el tendón soporta en los programas de ejercicio . El objetivo de este estudio fue revisar las técnicas que se han aplicado in vivo para estimar las fuerzas y tensiones que actúan sobre el tendón humano en ejercicios dinámicos utilizados durante la rehabilitación.

Diseño: revisión de alcance.

Fuentes de información: se realizaron búsquedas en Embase, PubMed, Web of Science y Google Scholar desde el inicio de la base de datos hasta febrero de 2021.

Criterios de elegibilidad: se incluyeron estudios transversales disponibles en inglés o español si estos se centraban en evaluar las fuerzas o la tensión de los tendones humanos in vivo durante ejercicios dinámicos. Se excluyeron los estudios que no evaluaron las fuerzas o la distensión de los tendones; si evaluaron correr, caminar, saltar, aterrizar o no evaluaron ningún ejercicio dinámico; y si eran actas de congresos o capítulos de libros.

Extracción y síntesis de datos: los datos extraídos incluyeron el año de publicación, el ámbito del estudio, las características de la población del estudio, la técnica utilizada y los ejercicios evaluados. Los estudios se agruparon por los tipo de técnicas utilizadas y la ubicación del tendón.

Resultados: se incluyeron 21 estudios. Catorce de estos estudios utilizaron una metodología indirecta basada en dinámicas inversas, nueve de ellos en el tendón de Aquiles y cinco en el rotuliano. Seis estudios implementaron transductores de fuerza para medir las fuerzas de los tendones en pacientes con cirugía abierta de liberación del túnel carpiano. Un estudio aplicó una técnica de fibra óptica para detectar fuerzas en el tendón rotuliano. Cuatro estudios midieron la tensión mediante técnicas basadas en ecografía.

Conclusiones: predomina el uso de dinámicas inversas, pero también se utilizan transductores de fuerza, fibra óptica y estimaciones a partir de datos de deformación del tendón. Si bien estas herramientas se pueden usar para hacer estimaciones generales de las fuerzas y tensiones de los tendones, la invasividad de algunos métodos y la pérdida de inmediatez de otros dificultan proporcionar retroalimentación inmediata a las personas evaluadas.

TRABAJOS QUE INTEGRAN LA TESIS

Segundo artículo

Progression criteria in loading exercise programmes in lower limb
tendinopathy: a protocol for a systematic review and meta-
analysis

Publicado en BMJ Open: 03 de diciembre de 2019

<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-032940>

Resumen del segundo artículo

Introducción: las tendinopatías de miembros inferiores tienen altas tasas de incidencia y prevalencia. Su sintomatología afecta la capacidad funcional de las personas para hacer ejercicio y trabajar, siendo una fuente importante de carga económica y social. La evidencia de las últimas décadas apunta al ejercicio terapéutico como tratamiento de primera línea en las tendinopatías por sus buenos resultados clínicos a corto y largo plazo. Sin embargo, no hay consenso sobre cómo se debe manejar la progresión de la carga a lo largo de los programas de ejercicio progresivo.

Métodos y análisis: esta revisión sistemática se llevará a cabo de acuerdo con las pautas de la guía de Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, PRISMA*). El presente protocolo ha sido registrado en el Registro Prospectivo Internacional de Revisiones Sistemáticas (*International Prospective Register of Systematic Reviews, PROSPERO*). Dos revisores realizarán la búsqueda a través de PubMed y Scopus, incluyendo referencias publicadas hasta el 31 de agosto de 2019. Incluirá ensayos controlados aleatorios que: incluyeron pacientes con tendinopatía de Aquiles, rotuliana o glútea; evaluaron el dolor, la función o el rendimiento; incluyeron al menos un grupo en el que se administró ejercicio físico progresivo como monoterapia. La calidad de los estudios incluidos se evaluará mediante la escala Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Se utilizará el enfoque del Grupo de Trabajo de Grados de Recomendación, Valoración, Desarrollo y Evaluación (*Grades of Recommendation, Assessment, Development and Evaluation Working Group, GRADE*) para evaluar la calidad de la evidencia. Se realizará un metanálisis si hay suficiente homogeneidad entre las intervenciones y las medidas de resultado para garantizar el agrupamiento.

Ética y difusión: no es necesaria la aprobación ética para este protocolo de revisión sistemática. Independientemente de su naturaleza, los resultados obtenidos en este estudio se publicarán en una revista revisada por pares y se presentarán en una conferencia relevante.

TRABAJOS QUE INTEGRAN LA TESIS

Tercer artículo

Load progression criteria in exercise programmes in lower limb
tendinopathy: a systematic review

Publicado en BMJ Open: 19 de noviembre de 2020

<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-041433>

Resumen del tercer artículo

Objetivo: el objetivo de este estudio es resumir y analizar la literatura actual sobre los criterios de progresión que se aplican en los programas de ejercicio progresivo en tendinopatías de miembros inferiores, así como su evidencia y efectividad.

Diseño: revisión sistemática

Métodos: se realizaron búsquedas en Pubmed, Embase, Scopus y PEDro de artículos publicados hasta el 24 de septiembre de 2020. Los criterios de inclusión requirieron que los estudios elegidos fueran ensayos controlados aleatorios que incluyeran pacientes con tendinopatía de la porción media de Aquiles, rotuliana o glútea; evaluaran la función, el dolor o el rendimiento; incluyeran al menos un grupo en el que se administrase ejercicio físico progresivo como monoterapia; e incluyeran al menos un grupo de control. Se excluyeron los estudios que incluyeron sujetos con tratamiento quirúrgico previo del tendón y los estudios en los que el grupo control se implementó una modalidad suplementada del ejercicio realizado en el grupo intervención. Se realizó una síntesis narrativa. Se obtuvo la d de Cohen y el porcentaje de cambio de los principales resultados clínicos y de rendimiento. La calidad metodológica se evaluó mediante la escala PEDro.

Resultados: se incluyeron 30 estudios que describían criterios de progresión. Se identificaron seis tipos de criterios agrupados en dos categorías y se incluyeron en una nueva propuesta de clasificación: el dolor como criterio primario (basado en evocar y evitar el dolor) y el dolor y control de síntomas como criterio secundario (etapas de acondicionamiento, basado en fatiga, percepción subjetiva y aumento lineal temporal). La mayoría de los estudios aplicaron un criterio basado en el dolor. También se aplicaron comúnmente criterios basados en etapas de acondicionamiento. Ocasionalmente se

aplicaron otros criterios como la fatiga, un aumento lineal temporal o la percepción subjetiva de las capacidades del paciente.

Conclusiones: predomina un uso de criterios basados en el dolor, pero la utilización de estos criterios no está respaldada por pruebas sólidas. Esta revisión evidencia la necesidad de estudios que comparen el mismo programa de ejercicios utilizando diferentes criterios de progresión. Se propone una nueva clasificación de los criterios de progresión existentes basada en el uso del dolor como criterio primario o secundario.

TRABAJOS QUE INTEGRAN LA TESIS

Cuarto artículo

Effect of a common exercise programme with an individualised progression criterion based on the measurement of neuromuscular capacity versus current best practice for lower limb tendinopathies (MaLaGa trial): a protocol for a randomised clinical trial

Publicado en BMJ Open: 17 de agosto de 2021

<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046729>

Resumen del cuarto artículo

Objetivos: aunque el ejercicio se considera el enfoque preferido para las tendinopatías, la carga real que actúa sobre el tendón en los programas de carga suele ser desconocida. El objetivo de este estudio fue revisar las técnicas que se han aplicado in vivo para estimar las fuerzas y la tensión que actúan sobre el tendón humano en los ejercicios dinámicos utilizados durante la rehabilitación.

Diseño: revisión de alcance de diseño.

Fuentes de información: se realizaron búsquedas en las fuentes de datos Embase, PubMed, Web of Science y Google Scholar desde el inicio de la base de datos hasta febrero de 2021.

Criterios de elegibilidad: los estudios transversales disponibles en inglés o español se incluyeron si se centraron en evaluar las fuerzas o la tensión de los tendones humanos in vivo durante los ejercicios dinámicos. Los estudios se excluyeron si no evaluaban las fuerzas o la tensión del tendón; si evaluaron correr, caminar, saltar, aterrizar o ningún ejercicio dinámico; y si eran actas de conferencias o capítulos de libros.

Extracción y síntesis de datos: los datos extraídos incluyeron el año de publicación, el entorno del estudio, las características de la población de estudio, la técnica utilizada y los ejercicios evaluados. Los estudios se agruparon por los tipos de técnicas y la ubicación del tendón.

Resultados: se incluyeron veintiún estudios. Catorce estudios utilizaron una metodología indirecta basada en la dinámica inversa, nueve de ellos en el tendón de Aquiles y cinco en el tendón rotuliano. Seis estudios implementaron transductores de fuerza para medir las fuerzas tendinosas en pacientes con cirugía abierta de liberación del túnel carpiano.

Un estudio aplicó una técnica de fibra óptica para detectar fuerzas en el tendón rotuliano. Cuatro estudios midieron la tensión mediante técnicas basadas en ultrasonido.

Conclusiones: existe un uso predominante de la dinámica inversa, pero también se utilizan transductores de fuerza, fibra óptica y estimaciones a partir de datos de deformación. Aunque estas herramientas se pueden utilizar para hacer estimaciones generales de las fuerzas y distensiones de los tendones, la invasividad de algunos métodos y la pérdida de inmediatez de otros dificultan la retroalimentación inmediata a los individuos.