

AUTORES

CHRISTIAN COUPPÉ, PT, PHD^{1,4}

RENÉ B. SVENSSON, PHD^{1,3}

KARIN GRÄVARE SILBERNAGEL,
PT, ATC, PHD⁵

HENNING LANGBERG, PT, PHD,
DSC⁶

S. PETER MAGNUSSON, PT, DSC¹⁻⁴

¹ Institute of Sports Medicine Copenhagen, Bispebjerg Hospital, Copenhagen, Denmark.

² Department of Orthopaedic Surgery, Bispebjerg Hospital, Copenhagen, Denmark.

³ Center for Healthy Aging, Faculty of Health and Medical Sciences, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark.

⁴ Musculoskeletal Rehabilitation Research Unit, Department of Physical Therapy, Bispebjerg Hospital, Copenhagen, Denmark.

⁵ Department of Physical Therapy, University of Delaware, Newark, DE.

⁶ CopenRehab, Department of Public Health, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark. Los autores certifican que no tienen relación ni participación financiera en ninguna organización o entidad con un interés financiero directo en el tema o materiales discutidos en el artículo. Dirección para correspondencia: Dr S. Peter Magnusson, Institute of Sports Medicine Copenhagen, Bispebjerg Hospital, Bispebjerg Bakke 23, 2400 Copenhagen NV, Denmark.

Copyright ©2015 Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy®

E-mail:

p.magnusson@sund.ku.dk

¿EJERCICIOS EXCÉNTRICOS O CONCÉNTRICOS PARA EL TRATAMIENTO DE TENDINOPATÍAS?

Sinopsis

La tendinopatía es un trastorno muy común tanto en deportistas amateurs como de élite. Muchas personas tienen síntomas recurrentes que conducen a condiciones crónicas que dan como resultado el fin de la actividad deportiva. El ejercicio se ha convertido en un tratamiento popular y eficaz y se ha promovido particularmente el ejercicio excéntrico aislado. En este artículo revisamos la evidencia relevante para diferentes regímenes de ejercicios destinados a la rehabilitación de tendinopatías, con especial atención en las cargas aplicadas al tendón y cómo el régimen de ejercicios puede afectar dichas cargas. No existe una evidencia clínica convincente que demuestre que el ejercicio excéntrico con carga aislado mejora los resultados clínicos más que otras terapias de carga. Sin embargo, la gran variedad a veces insuficiente de informes, con detalles de los protocolos de tratamiento, pueden obstaculizar la interpretación de lo que puede ser un régimen de ejercicios óptimo, con respecto a parámetros tales como magnitud de la carga, velocidad de movimiento y período de recuperación entre sesiones de ejercicios. Futuros estudios deberían controlar estos parámetros de carga, evaluar diferentes dosis de ejercicios y pensar más allá de los ejercicios excéntricos aislados para arribar a recomendaciones firmes con respecto a la rehabilitación de individuos con tendinopatías.

J Orthop Sports Phys Ther 2015; 45 (11): 853-863. Epub 14 de octubre de 2015. doi: 10.2519 / jospt.2015.5910

Palabras claves

Aquiles; fuerzas; carga; rótula; recuperación, tendón

El tejido del tendón juega un papel esencial en la transmisión de fuerzas contráctiles al músculo para producir movimiento y por lo tanto está diseñado, específicamente, para soportar cargas considerables. Durante la locomoción, los tendones de Aquiles y rotulianos pueden soportar fuerzas de hasta aproximadamente 8 veces el peso corporal.^{23,31,62} La carga repetitiva sobre el tendón a menudo resulta en lesiones por sobreuso, incluyendo la tendinopatía, que es una condición clínica caracterizada por dolor en el área del tendón durante la actividad, sensibilidad a la palpación localizada, hinchazón local del tendón y rendimiento deteriorado.^{45,60} La tendinopatía es un problema considerable tanto en deportistas de élite como ama-

teurs.^{22, 27, 93} Específicamente, la incidencia de lesiones tendinosas se ha estimado entre el 30% y 50% de todas las lesiones deportivas y el 50% de las lesiones en maratonistas de élite, asimismo se estima que el 6% de las personas sedentarias en algún momento experimenta una lesión en el tendón.^{52, 58} Los síntomas y la disminución del rendimiento pueden durar un período prolongado, incluso años.^{44, 57} El mecanismo exacto de la lesión sigue siendo elusivo, pero entender cómo se adapta el tejido del tendón al mecanismo de la carga podría ser la clave para comprender la patogenia de la tendinopatía y así proporcionar una base para la prevención de lesiones por sobreuso.

Tendinopatía es el término comúnmente aceptado para la condición clínica que se presenta en los tendones sobrecargados, y alrededor de ellos.⁴⁶ Antes estas lesiones se consideraban el resultado de un proceso inflamatorio prolongado (tendinitis crónica).⁹⁰ Sin embargo, más recientemente, se ha debatido en qué medida la inflamación juega un papel en la tendinopatía crónica.^{25, 63, 80} El inicio lento e insidioso de la tendinopatía hace que sea difícil identificar el comienzo de la condición en los seres humanos y los esfuerzos para desarrollar modelos animales a fin de estudiar los primeros signos de la condición han sido inconsistentes.^{32, 35} Por lo tanto, el rol definitivo de la inflamación en los estadios tempranos de la condición sigue siendo difícil de investigar. A pesar de estas limitaciones, se ha demostrado que el tendón de las personas con tendinopatía de Aquiles no muestra marcadores inflamatorios elevados luego de 1 hora de running.⁷⁷ En lugar de estar inflamado, el tejido del tendón obtenido de individuos con tendinopatía es típicamente más celular que el tejido sano y muestra los dos signos de degeneración general del tejido, que incluye la degeneración y la necrosis del colágeno, así como signos de regeneración, incluyendo neovascularización, estructura de fibra irregular y aumento de la sustancia fundamental (ver Fredberg y Stengaard-Pedersen).²⁵

La tendinopatía es un desafío clínico sustancial porque puede limitar severamente la participación deportiva durante meses e incluso años.^{4, 44} La lista de tratamientos disponibles actualmente para esta patología es extensa e incluye cirugía, medicamentos antiinflamatorios no esteroideos, corticoesteroides, inyección esclerosante, terapia de ondas de choque, inyección de plasma rico en plaquetas, inyección de dextrosa (proloterapia) hiperosmolar intratendinosa, inyección de alto volumen de 10 ml 0.5% bupivacaína y 40 ml de solución salina normal en el paratendón, Kinesio Tape y ultrasonido terapéutico, solo por mencionar algunos.^{81, 92} Aunque estas y otras opciones de tratamiento están descritas en la literatura, en las tendinopatías han predominado diversos tratamientos con carga.⁶⁴ Parece ser que los paradigmas de carga producen resultados clínicos^{2, 61, 88}, estructurales⁵⁰ y bioquímicos⁴⁹ positivos.

Gran parte de la atención sobre los programas de carga como paradigma de tratamiento para estas lesiones se originó en un artículo publicado por Stanish y col.⁹⁰ en 1986. En este artículo, el régimen de carga fue des-

"La incidencia de lesiones tendinosas se ha estimado entre el 30% y 50% de todas las lesiones deportivas y el 50% de las lesiones en maratonistas de élite, asimismo se estima que el 6% de las personas sedentarias en algún momento experimenta una lesión en el tendón."

"Este paradigma de carga excéntrica aislada ha ganado una gran popularidad y es ampliamente considerado como el tratamiento de elección, aunque falte evidencia convincente de que sea el programa de ejercicios más efectivo."

critico como un ejercicio de a, es decir, un componente excéntrico seguido rápidamente por un componente concéntrico. Por ejemplo, en el caso del tendón rotuliano, "El paciente, desde una posición de pie, flexiona las rodillas y realiza una sentadilla abruptamente, luego retrocede a la posición de pie".⁹⁰ La progresión del protocolo del ejercicio, con disminución de los síntomas, se describió con el aumento de la velocidad del movimiento, y luego se agregó una carga externa para una progresión adicional.⁹⁰ Aproximadamente una década más tarde, se sugirió que la contracción excéntrica aislada, sin el acompañamiento de un componente concéntrico de un ciclo estiramiento-acortamiento, ofrecía mejores resultados clínicos a pacientes con tendinopatía.⁴ Este paradigma de carga excéntrica aislada ha ganado, desde entonces, una gran popularidad y ahora es ampliamente considerado como el tratamiento de elección, aunque falte evidencia convincente de que sea el programa de ejercicios más efectivo.⁶⁴ Recientemente han surgido nuevos programas de ejercicios basados en la carga, tales como entrenamiento concéntrico aislado⁶¹, entrenamiento de resistencia lenta pesada^{9,49} y entrenamiento concéntrico / excéntrico progresando a entrenamiento excéntrico.^{88,89} Este artículo se enfoca en la lógica subyacente de varios de estos paradigmas de carga.

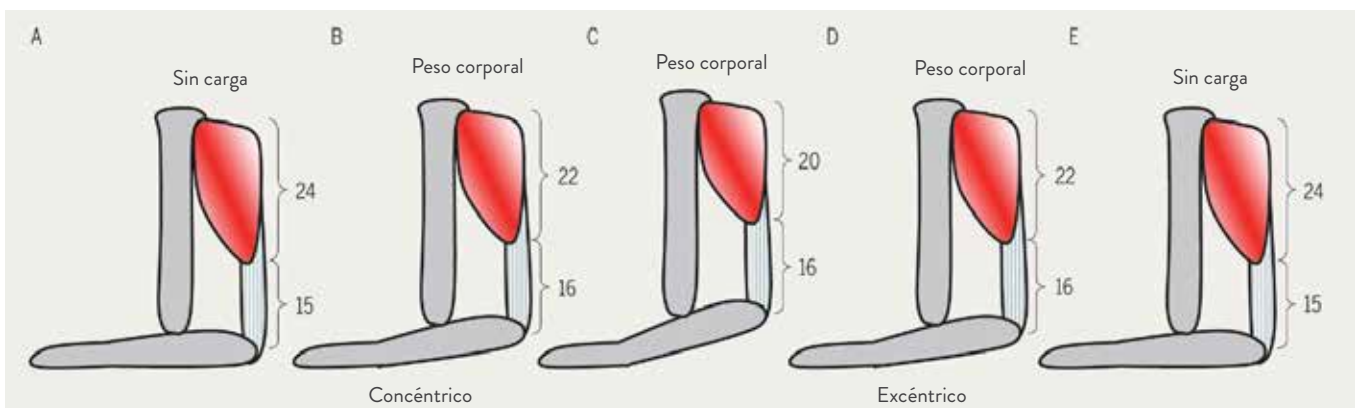


FIGURA 1. Ilustración esquemática de la contracción muscular concéntrica y excéntrica alrededor de la articulación del tobillo. Los números ilustran las longitudes (no a escala). (A) Durante la elevación concéntrica del talón, el tendón y el músculo inicialmente se relajan. (B) A medida que el músculo se acorta, se genera fuerza, lo que hace que el tendón se alargue hasta que se haya alcanzado la fuerza suficiente y el talón comience a levantarse. (C) Mientras que los músculos se acortan aún más, el talón continúa levantándose con una fuerza prácticamente invariable y, debido a la carga constante, también se mantiene constante la longitud del tendón. (D) En la fase excéntrica, el talón baja a medida que el músculo se alarga, aún con una fuerza casi constante, y en consecuencia el tendón conserva su longitud. (E) Finalmente, el músculo se alarga a medida que se relaja y el tendón se acorta porque se elimina la carga. Tenga en cuenta que en los gráficos, la longitud del tendón está determinada por la cantidad de carga transportada Independientemente de la longitud del músculo.

RESPUESTA DEL TENDÓN SANO A LA CARGA

En 2007, la American College of Physicians y la American Pain Society Está bien establecido que el ejercicio en general puede afectar tanto al músculo esquelético³⁸ como al tendón⁴⁸. En el tendón, se produce un agudo aumento del flujo sanguíneo y de la síntesis del colágeno^{54,55} y los efectos a largo plazo conducen a la hipertrofia de tejidos y la alteración de

las propiedades del material.^{12, 85, 98} La magnitud y el tipo de adaptación probablemente dependa del régimen de ejercicios, incluida la magnitud de la carga, el rango de movimiento realizado, el modo de contracción (alargamiento excéntrico / acortamiento concéntrico), la velocidad de movimiento, el número de repeticiones y los períodos de descanso entre las sesiones de ejercicios. Se puede confeccionar una amplia gama de programas de ejercicios variando estos componentes, desde programas de resistencia (baja carga, alta velocidad, muchas repeticiones), a otros de fuerza (alta carga, baja velocidad, pocas repeticiones), con innumerables combinaciones en el medio. Los respuesta del tendón a los diversos parámetros de ejercicios serán discutidos en las siguientes secciones, aunque siga siendo limitado el conocimiento sobre varios asuntos.

Es sabido que las células del tendón (fibroblastos) responden a estímulos mecánicos en forma de tensión^{42, 66, 96} y que privarlas de la tensión (deformación relativa del tejido) conduce a la degeneración y la apoptosis (muerte celular).^{7, 17, 99} Sin embargo, la respuesta a la dosis de la magnitud de la tensión todavía no está bien establecida. Experimentos de cultivo celular sugieren que hay un aumento de la respuesta (aumento de la expresión de colágeno, reducción de la expresión de la matriz de metaloproteinasas y aumento de la rigidez de la matriz) con mayor tensión^{56, 101} pero puede haber una tensión óptima, más allá de la cual el estiramiento se vuelve perjudicial.^{41, 68} Los valores absolutos de la tensión utilizada en la estimulación del cultivo celular varían mucho, y no se sabe cuánto, de una tensión dada, experimentarán las células en vivo, porque la matriz circundante puede proporcionar un blindaje. En vivo, en personas con tendones de Aquiles sanos, se ha informado que con volumen de ejercicio similar, trabajando al 90% de máxima contracción voluntaria (MCV), que causa aproximadamente el 5% de la tensión del tendón, produce una mayor rigidez y área de sección transversal en comparación con el trabajo a 55% de MCV, lo que causa aproximadamente 3% de tensión en el tendón.⁵

Velocidad y / o duración de la carga durante el ejercicio también parecen ser importantes para la adaptación del tendón.^{6, 41, 51, 56} A nivel celular, la mayoría de los estudios^{30, 41, 97}, aunque no todos²¹, determinaron que la respuesta adaptativa de los fibroblastos a la carga dinámica es superior a la de la carga estática (velocidad cero). Aunque la respuesta a los diferentes regímenes de carga dinámica es compleja debido a la interacción de los parámetros, en general, la evidencia sugiere que el aumento del tiempo con carga y del número de ciclos de carga, así como el aumento del porcentaje de carga da como resultado una respuesta adaptativa positiva (aumento de la resistencia y rigidez de la matriz y disminución de la expresión de metaloproteinasas de la matriz) en fibroblastos cultivados.^{41, 56, 100} La respuesta parece ser un poco diferente en vivo, donde se ha constatado que la rigidez y tamaño (área transversal) del tendón de Aquiles humano fue más sensible a un bajo número de cargas de larga

“La magnitud y el tipo de adaptación probablemente dependa del régimen de ejercicios, incluida la magnitud de la carga, el rango de movimiento realizado, el modo de contracción (alargamiento excéntrico / acortamiento concéntrico), la velocidad de movimiento, el número de repeticiones y los períodos de descanso entre las sesiones de ejercicios.”

“Velocidad y / o duración de la carga durante el ejercicio también parecen ser importantes para la adaptación del tendón. A nivel celular, la mayoría de los estudios, aunque no todos, determinaron que la respuesta adaptativa de los fibroblastos a la carga dinámica es superior a la de la carga estática (velocidad cero).”

duración (ciclos de 6 segundos) que a un gran número de cargas más rápidas (ciclos de 2 segundos) cuando el volumen total de ejercicios se mantuvo constante.^{5,6} Este hallazgo se corrobora con otro estudio que muestra que las contracciones isométricas de larga duración (20 segundos) producen una mayor adaptación del tendón rotuliano (mayor rigidez) que las contracciones rápidas (1 segundo) en ejercicios de igual volumen.⁵¹ En este último estudio, la fuerza muscular y la adaptación del volumen no se vieron afectadas por la duración de la contracción.

Se desconoce si las células del tendón experimentan alguna forma de fatiga como resultado de los ciclos de carga repetidos. Las células tendinosas tienen una baja tasa metabólica y probablemente no requieren descanso para restaurar sus depósitos de energía. Sin embargo, la respuesta anabólica a la carga se mantiene en el tendón por hasta varios días después de una sesión de ejercicios^{55,65}, algo que podría indicar la necesidad de un período de recuperación posterior al ejercicio.⁶³ Pero, a la inversa, estudios sobre cultivo celular han realizado estimulación continua de fibroblastos por hasta 24 horas por día sin efectos perjudiciales^{41,59} y la mayoría protocolos de ejercicios para el tratamiento de la tendinopatía se realizan todos los días sin períodos de recuperación.^{4,67,89} En general, faltan estudios que aborden específicamente los efectos de la recuperación y cómo afecta a la adaptación del tendón.

El tendón, en gran medida, está compuesto por la matriz extracelular (MEC), que es una estructura pasiva y, a diferencia de las células, no responde activamente a la carga, aunque puede ser afectada diferencialmente por los parámetros del ejercicio. Se ha sugerido que la acumulación de microlesiones puede estar implicada en la etiología de la tendinopatía⁸⁷ y, debido a que la rotación en los tendones es lenta³⁴, el daño en la MEC podría acumularse. Las microlesiones son difíciles de medir, por esa razón su relevancia clínica no está clara. Sin embargo, si tienen un rol, sería un argumento a favor de los períodos de recuperación. Estudios biomecánicos han demostrado que tanto la sobrecarga como la fatiga mecánica pueden causar daño a la MEC del tendón^{43,72} que podría desempeñar un papel en la tendinopatía. La MEC del tendón es también un material viscoelástico, esto significa que los regímenes de carga más lenta pueden producir mayores tensiones que un régimen de carga más rápida, ya que el tendón tiene más tiempo para moverse con lentitud⁷⁴. Moverse con lentitud también parece estar asociado con un mayor deslizamiento relativo de la fibrilla²⁴, lo que puede generar tensiones locales de corte percibidas por las células. Por lo tanto, la carga lenta puede producir estímulos celulares particularmente fuertes que pueden ser beneficiosos para el tendón si la tensión es suficiente, pero podría ser perjudicial si la tensión fuera excesiva. Este comportamiento viscoelástico depende de la cantidad de tiempo que el tendón está sometido a la carga y, por lo tanto, no lo afecta a la contracción muscular (excéntrica o concéntrica).

En resumen, el tendón responde a la carga y responderá con más fuerza a mayores cargas, aunque es probable que exista un nivel óptimo más allá del cual la carga se vuelve perjudicial. Los regímenes de carga más lentos pueden ser superiores a los de carga rápida, mientras que no está clara la importancia de la recuperación entre sesiones de carga.

TENDÓN BAJO CONTRACCIONES MUSCULARES EXCÉNTRICAS Y CONCÉNTRICAS

Aunque algunos regímenes de carga excéntrica para la tendinopatía han sido ampliamente aceptados como tratamiento de elección⁹², los mecanismos potenciales detrás de estos tratamientos no son claros. En la siguiente sección, discutiremos algunos mecanismos propuestos y sus potenciales aplicaciones a la luz de la evidencia existente.

Estrictamente hablando, las descripciones de "concéntrico" y "excéntrico" solo se aplican a los músculos, que se contraen activamente. El tendón es una estructura mecánicamente pasiva que se alarga cuando aumenta la carga y se acorta cuando la carga se reduce (FIGURA 1). Por lo tanto es cuestionable si el modo de contracción muscular y el rango de movimiento para una carga dada tienen un efecto diferencial sobre el tejido del tendón. El hecho de que los músculos puedan producir una mayor fuerza máxima excéntrica que concéntrica sugeriría un potencial para una mayor estimulación mecánica para ejercicios excéntricos que concéntricos.^{18,37} En consecuencia, se ha sugerido que el tendón puede estirarse más durante la carga excéntrica que durante la concéntrica.^{1,90} Sin embargo, mientras que hay un potencial para una mayor carga del tendón y, en consecuencia, el estiramiento con ejercicios excéntricos, dicho potencial es poco utilizado porque los ejercicios de rehabilitación rara vez se acercan a 1 repetición concéntrica máxima. Se ha demostrado que la carga y el estiramiento del tendón de Aquiles son idénticos durante los componentes concéntricos y excéntricos de una subida/caída del talón contra el peso corporal (FIGURA 2), una carga típica utilizada en rehabilitación.^{11,79} Los 2 ejercicios excéntricos más utilizados para tendinopatía son sentadillas para el tendón rotuliano y talón que baja para el tendón de Aquiles y ambos movimientos se realizan en general con una repetición máxima de 15.^{4,103}

Las TABLAS 1 y 2 presentan una lista del número semanal de repeticiones y cargas estimadas, utilizadas en varios regímenes de ejercicios excéntricos publicados en la literatura. Se debe tomar nota que varios estudios utilizaron una progresión de carga individualizada, pero rara vez reportaron la cantidad real alcanzada, sólo la carga inicial. También vale la pena señalar que la mayoría de los estudios no incluyeron un grupo de control, probablemente por razones éticas; por lo tanto, no está claro si el tratamiento proporcionado fue superior o no a un enfoque de "esperar y ver". Sin embargo, la mayoría de estos estudios incluyeron pacientes con síntomas crónicos, lo que sugiere que el tiempo solo no habría mejorado su condición.

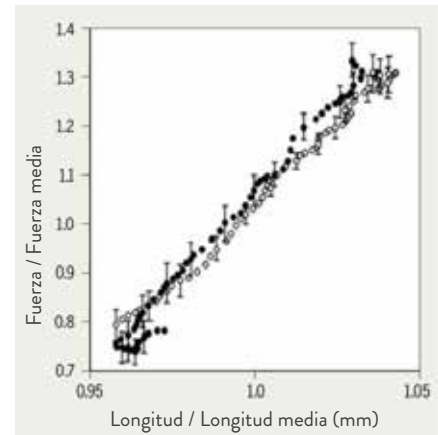


FIGURA 2. Fuerza del tendón de Aquiles versus longitud del tendón de Aquiles. Los datos excéntricos se muestran como círculos vacíos, mientras que los datos concéntricos son los círculos rellenos. Reproducido con permiso de Chaudhry S, Morrissey D, Woledge RC, Bader DL, Screen HR. Carga excéntrica y concéntrica del tríceps sural: un estudio en vivo sobre dinámica muscular y parámetros biomecánicos del tendón. *J Appl Biomech.* 2015; 31: 69-78. © Human Kinetics, Inc.

“Se ha demostrado que la carga y el estiramiento del tendón de Aquiles son idénticos durante los componentes concéntricos y excéntricos de una subida/caída del talón contra el peso corporal.”

Se han sugerido algunos mecanismos teóricos para explicar cómo la carga excéntrica puede influir de manera diferente sobre el tendón. Por ejemplo, durante los ejercicios de descenso / elevación del talón, la fuerza de reacción del suelo puede fluctuar a una frecuencia más alta (aproximadamente 10 Hz) durante la fase excéntrica.^{36,79,84} Mientras que las células del tendón podrían potencialmente registrar esta modulación, la magnitud de la modulación es bastante pequeña en comparación con la carga total (aproximadamente 10%). También se ha propuesto que esa unidad de activación motora difiere entre los ejercicios concéntricos y excéntricos¹⁸, lo que puede producir una diferencia en la distribución de la carga y cizallamiento dentro del tendón, aunque tal mecanismo es poco probable que sea un factor para el tendón rotuliano, en el que la carga se distribuye a través de la rótula. Finalmente, moléculas de señalización secretadas por el músculo (mioquinas), tales como la interleucina 6 (IL-6)⁷⁵, podría potencialmente afectar el tendón cercano y la expresión de la mioquina puede diferir entre los ejercicios concéntricos y excéntricos, aunque los efectos actualmente no están claros.^{73,94}

En contraste con estas consideraciones hipotéticas, hay evidencia para sugerir que las contracciones musculares excéntricas y concéntricas no producen una respuesta diferencial del tendón. En modelos animales se ha demostrado que las contracciones concéntricas o excéntricas al mismo nivel de fuerza no influyen en la expresión de colágeno a nivel celular.²⁹ De hecho, incluso si la fuerza de contracción muscular excéntrica fuera más grande que la fuerza de contracción concéntrica, ambos modos de contracción producirían expresiones similares de colágeno.³³ Estos hallazgos en animales implican que dada una fuerza suficientemente alta (y la tensión resultante en el fibroblasto), el modo de contracción es intrascendente para la respuesta celular del tendón. Un estudio reciente examinó el efecto del modo de contracción en la hipertrofia del tendón (y músculo) en personas sanas.²⁰ El entrenamiento de resistencia de 12 semanas consistió en extensiones aisladas de rodilla concéntricas hacia un lado y extensiones de rodilla excéntricas hacia el lado contralateral. Las series, repeticiones y el tiempo de carga fueron similares entre ambos lados, pero la carga para el lado excéntrico fue 120% más elevada que la del lado concéntrico. Los resultados mostraron que el entrenamiento de resistencia, tanto con contracción concéntrica como excéntrica, produce similar magnitud de hipertrofia del tendón.²⁰ Estos hallazgos refuerzan la noción de que la respuesta celular y tisular en el tendón sano es independiente del modo de contracción.

En resumen, existe una serie de mecanismos que, teóricamente, podrían diferenciar el efecto de los ejercicios excéntricos o concéntricos en el tendón, pero no hay evidencia de que estos mecanismos realmente jueguen un rol o sean beneficiosos. En contraste, existe evidencia de estudios en animales y humanos que sugieren la ausencia de efectos diferenciales entre los ejercicios excéntricos y concéntricos.

TABLA 1

PROGRAMAS DE EJERCICIOS UTILIZADOS EN ESTUDIOS PARA LA TENDINOPATÍA DE AQUILES

Estudio / grupo	Carga*	Mejora del dolor †
Alfredson et al ⁴		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	EVA, 94%
Croisier et al ¹³		
EXC aislado	135 (130%)	EVA, 73% (10 semanas)
Alfredson y Lorentzon ³		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	EVA, 75%
Öhberg y Alfredson ⁷⁰		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	Dolor durante la actividad: reducido, 88%
Roos et al ⁸³		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	Puntuación de resultados de pie y tobillo, 36%
Shalabi et al ⁸⁶		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	Escala de dolor de 6 puntos, 40%
de Vos et al ¹⁶		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	VISA-A, 78%
Langberg et al ⁵³		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	EVA, 71%
Petersen et al ⁷⁶		
EXC aislado	1890 (100%) ‡§	EVA, 60%
Yelland et al ¹⁰²		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	VISA-A, 38%
Silbernagel et al ⁸⁸		
EXC aislado más EXC combinado + CON más otros ejercicios	Mixto, 840 (50%) † Mixto, 945 (100%) ‡§ EXC, 630 (100%) ‡§	VISA-A, 60%
Rompe et al ⁸²		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	VISA-A, 49% (16 semanas) ¶
Espere y vea	0 (0%)	VISA-A, 14% (16 semanas)
Nørregaard et al ⁶⁹		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	Puntuación KOOS modificada: mejorada, 25%
Stretching	Stretching	Puntuación KOOS modificada: mejorada, 25%
Beyer et al ⁹		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	VISA-A, 24%
		EVA, 59%
Resistencia lenta pesada (EXC + CON)	144 (130%) †	VISA-A, 41%
		EVA, 69%
Mafi et al ⁶¹		
EXC aislado	1260 (100%) ‡§	Satisfecho, 82% ¶
		Satisfacción EVA, 83%
CON aislado más salto más salto a la cuerda	1260 (100%) ‡§	Satisfecho, 32%
		Satisfacción EVA, 86%
Niesen-Vertommen et al ⁶⁷		
EXC aislado	300 (55%) §	EVA, 78% ¶
EXC mixto/combinado + CON	300 (25%) §	EVA, 46%
Silbernagel et al ⁸⁹		
EXC aislado más EXC mixto/combinado + CON más otros ejercicios	Mixto, 840 (50%) † Mixto, 945 (100%) ‡§ EXC, 630 (100%) ‡§	Dolor durante la actividad: reducido, 57%
EXC Mixto + CON	1260 (50%) § 315 (100%) §	Dolor durante la actividad: reducido, 80%

Abreviaturas: CON, concéntrico; EXC, excéntrico; KOOS (Knee injury Osteoarthritis Outcome Score, Escala de resultados de la osteoartritis en la lesión de rodilla); EVA, escala visual analógica; VISA-A (Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles, Instituto Victoriano de Evaluación del Deporte-Aquiles). * Carga informada con repeticiones semanales y carga estimada como porcentaje del peso corporal (el 50% del peso corporal es a dos piernas y el 100% a 1 pierna). En general, aparece la carga máxima, pero para

estudios con progresión de carga que no informan los progresos obtenidos, sólo se detalla la carga antes de la progresión. No se evaluó la carga en los ejercicios de estiramiento. † A menos que se indique lo contrario, todos los estudios tuvieron 12 semanas de tratamiento. ‡ Dolor aceptable. § El estudio incluye la progresión no reportada más allá de lo que está en la lista. ¶ Porcentaje de peso corporal estimado desde la máxima contracción voluntaria u otra carga externa. ¶¶ Mejora en el grupo EXC significativamente mayor que en el grupo de comparación.

“Existe una serie de mecanismos que, teóricamente, podrían diferenciar el efecto de los ejercicios excéntricos o concéntricos en el tendón, pero no hay evidencia de que estos mecanismos realmente jueguen un rol o sean beneficiosos.”

LOS EFECTOS DE LOS REGÍMENES DE CONTRACCIÓN MUSCULAR EN LA TENDINOPATÍA

Tanto los atletas de elite como los amateurs sufren frecuentemente de tendinopatías de Aquiles y / o rotuliana.^{52,57} La literatura clínica se ha centrado principalmente en el uso de ejercicios con carga excéntricos para el tratamiento de estas tendinopatías y, por lo tanto, en las siguientes secciones sobre tendinopatías de Aquiles y rotulianas primero abordarán los estudios clínicos que han investigado los efectos de la carga excéntrica, seguido por aquellos que han investigado los efectos de otros tipos de ejercicios de carga. Las **TABLAS 1 y 2** incluyen estudios clínicos sobre tendinopatías de Aquiles y rotulianas, con carga informada y repeticiones semanales, y carga estimada según el porcentaje del peso corporal.

El efecto de la contracción muscular excéntrica en el tendón de Aquiles

Se ha demostrado que los regímenes de carga excéntrica para la tendinopatía de Aquiles pueden proporcionar mejoras clínicas, incluida la reducción del dolor y mejora de la función.^{15, 47, 88, 92} Varios estudios^{3, 13} han empleado el paradigma de la carga excéntrica aislada introducido inicialmente por Alfredson y col.⁴ Cuando este modelo de ejercicios se realiza con la caída unilateral del talón, la fuerza absorbida por el tendón es una función del peso corporal y la fuerza puede ser regulada con peso adicional colocado en una mochila utilizada por el paciente. Además de las mejoras en el dolor y la función, parecería que las características estructurales, observadas con ecografía y resonancia magnética, se alteran después de la carga excéntrica aislada en algunos estudios^{28, 70, 71, 86}, pero no todos.^{14, 69, 76, 82} También se ha demostrado que, además de disminuir el dolor, la carga excéntrica aislada puede dar como resultado una mayor síntesis del colágeno tipo I.⁵³ Por lo tanto, la carga excéntrica aislada parece influir en la bioquímica y en los parámetros biomecánicos y mejorar los resultados clínicos. Los efectos benéficos de la carga excéntrica aislada con peso corporal parecen reducirse si el dolor está localizado hacia la inserción del tendón¹⁹; sin embargo, esto se podría solucionar evitando la flexión dorsal del tobillo debajo de la horizontal para evitar la compresión de la parte distal extrema del tendón contra la cara posterior del calcáneo.⁴⁰

Varios estudios han comparado la carga excéntrica aislada con peso corporal con otros tipos de terapias sin carga (por ejemplo: proloterapia, crioterapia, férulas).^{16, 76, 83, 102} La mayoría de estos estudios informaron mejoras clínicas significativas con el ejercicio excéntrico^{16, 76, 83, 102}, aunque el efecto en relación al tratamiento alternativo varía (p. ej., los regí-

menes de carga excéntrica tienen mayor efecto que la crioterapia, pero un efecto similar en comparación con la terapia de ondas de choque y taloneras).⁹²

En conjunto, estos estudios demuestran beneficios clínicos positivos de la carga excéntrica, pero debido a que ninguno de ellos tiene un grupo de comparación que utilice un modo de contracción muscular alternativo (concéntrico o isométrico), no pueden demostrar si el modo de contracción muscular tiene un rol en el resultado.

El efecto de la contracción muscular excéntrica comparado con otros regímenes de contracción para la tendinopatía de Aquiles

Una cantidad limitada de estudios han investigado los efectos del ejercicio excéntrico aislado en relación con otros regímenes de carga para la tendinopatía de Aquiles.^{9, 61, 67, 69, 89} Se ha demostrado que los ejercicios rápidos de talón con una carga excéntrica alta fueron más efectivos para reducir el dolor general que los ejercicios isotónicos concéntricos/excéntricos con cargas más bajas.⁶⁷ Otros han comparado la carga excéntrica y concéntrica aislada y han demostrado una reducción similar del dolor con ambos regímenes, con mayor carga en el tendón en el excéntrico (peso corporal más mochila) que en el grupo concéntrico (menor o igual al peso corporal) (TABLA 1).⁶¹ Un programa de rehabilitación más extenso que incluía cargas concéntricas / excéntricas con peso corporal rindió mejores resultados autoinformados (cuestionario sobre función y dolor) que un programa concéntrico con un volumen de carga total menor, no a las 6 semanas sino al año de seguimiento.⁸⁹ La carga excéntrica aislada con peso corporal también fue comparada con el estiramiento estático, que coloca una baja magnitud carga en el tendón por un período prolongado, y los resultados mostraron que las intervenciones produjeron un resultado clínico similar.⁶⁹ Recientemente se demostró que el entrenamiento de resistencia lenta pesada 3 veces por semana fue igualmente efectivo para reducir los síntomas en comparación con el tradicional régimen excéntrico realizado 7 días por semana en pacientes con tendinopatía de Aquiles.⁹ Estos datos indican que los diferentes regímenes de contracción muscular con carga pueden lograr la misma mejora clínica en pacientes con tendinopatía de Aquiles. De este modo, parecería que la carga confiere algunas mejoras clínicas para la tendinopatía de Aquiles pero, según la literatura disponible, no es posible delinear el rol del modo de contracción (excéntrico o concéntrico) a partir de la magnitud de la carga, el número de repeticiones y series, velocidad de contracción y tiempo de recuperación entre sesiones.

Los efectos de la contracción muscular excéntrica en el tendón rotuliano

De modo similar a la tendinopatía de Aquiles, se ha sugerido que los regímenes de carga excéntrica pueden proporcionar mejoras clínicas para la tendinopatía rotuliana.^{8, 13, 39, 78} Los pacientes, en general, cargan ex-

“Se ha demostrado que los regímenes de carga excéntrica para la tendinopatía de Aquiles pueden proporcionar mejoras clínicas, incluida la reducción del dolor y mejora de la función.”

“Por lo tanto, no existe una evidencia general firme para apoyar la idea de que la carga excéntrica es más eficiente que la concéntrica u otros regímenes de carga para la tendinopatía rotuliana.”

céntricamente el tendón rotuliano afectado cuando realizan una sentadilla parcial con la extremidad afectada, y luego retornan a la posición inicial cargando concéntricamente el tendón no afectado. Un estudio comparó la carga excéntrica aislada con peso corporal con una terapia sin carga con ecografía o masaje de fricción transversal.⁹¹ Los autores informaron que 3 sesiones semanales (cada sesión incluyó 3 series de 15 repeticiones) de sentadillas excéntricas aisladas durante 4 semanas produjeron importantes mejoras clínicas, que fueron mucho mayores que las obtenidas con la terapia sin carga.⁹¹ También se demostró que la carga excéntrica puede dar como resultado una mejora clínica cuando se les indica a los pacientes que se abstengan de realizar actividad deportiva durante el período de tratamiento.^{39,91} Sin embargo, en jugadores de voleibol de élite con tendinopatía rotuliana, se agregaron a la actividad existente durante la temporada, 8 semanas de carga excéntrica aislada, pero no se obtuvo ningún alivio del dolor.⁹⁵ Por el contrario, en tendinopatía de Aquiles se demostró que una actividad física moderada durante el período de tratamiento no interfiere en los beneficios del ejercicio excéntrico.⁸⁸ La diferencia aparente entre la actividad de élite y una más moderada puede estar relacionada con el tiempo de recuperación insuficiente o posiblemente el volumen de carga total de la actividad deportiva y los ejercicios con carga excéntrica agregados⁶³, aunque esto requiere una mayor investigación. La ecografía ha sido utilizada para investigar cambios estructurales (espesor del tendón y actividad Doppler) en la tendinopatía rotuliana después del ejercicio excéntrico, pero no ha demostrado efectos significativos.⁴⁹ En general, los estudios anteriores muestran que la carga excéntrica puede proporcionar beneficios clínicos en el tratamiento de la tendinopatía rotuliana pero no está claro si la dirección real de la contracción muscular juega un papel en el resultado o si los beneficios clínicos están relacionados con la magnitud absoluta de la carga, ya que ninguno de estos estudios tuvo un grupo de comparación similar.

El efecto de la contracción muscular excéntrica en comparación con otros regímenes de contracción para la tendinopatía rotuliana

Existe sólo un estudio de tendinopatía rotuliana que compara la carga excéntrica aislada con un régimen de carga concéntrica idéntico, con igual magnitud de carga, volumen y velocidad.³⁹ Los autores concluyeron que la carga excéntrica fue más efectiva para reducir el dolor que la carga concéntrica; sin embargo, debido a un elevado número de abandonos, sólo 4 de 7 participantes permanecieron en el grupo concéntrico, se hizo difícil una comparación significativa y una conclusión firme.³⁹

Otros estudios han comparado los regímenes de carga sin igualar la carga (TABLA 2). Se han comparado sentadillas excéntricas aisladas en una tabla inclinada con sentadillas concéntricas/excéntricas mixtas en una superficie plana en jugadores de voleibol de élite: ambos grupos realizaron ejercicios sólo con la extremidad afectada durante 12 semanas, antes de comenzar la temporada competitiva.¹⁰³ Ambos

TABLA 2

PROGRAMAS DE EJERCICIOS UTILIZADOS EN ESTUDIOS PARA LA TENDINOPATÍA DE AQUILES

Estudio / grupo	Carga*	Mejora del dolor †
Bahr et al ⁸		
EXC aislado	630 (100%) ‡§	VISA-P, 73%
Croisier et al ¹³		
EXC aislado	135 (130%)	EVA, 71%
Purdam et al ⁷⁸		
EXC aislado	630 (100%) ‡§	EVA, 62%
Stasinopoulos y Stasinopoulos ⁹¹		
EXC aislado	135 (100%) ‡§	Escala de 5 puntos, 80% (4 semanas)
Visnes et al ⁹⁵		
EXC aislado + Voleibol competitivo	630 (100%) ‡§	Sin mejoras
Voleibol competitivo (control)	0 (0%)	Sin mejoras
Young et al ¹⁰³		
EXC aislado sobre tabla inclinada a 25°	630 (100%) ‡§	VISA-P, 25%
		EVA, 51%
EXC aislado en step horizontal	630 (100%)	VISA-P, 18%
		EVA, 53%
Jonsson y Alfredson ³⁹		
EXC aislado	630 (100%) ‡§	VISA-P, 102% ¶¶
		EVA, 69% ¶¶
CON aislado (n = 4)	630 (100%) ‡§	VISA-P, -9%
		EVA, 8%
Kongsgaard et al ⁴⁹		
EXC aislado	630 (100%) ‡	VISA-P, 42%
Resistencia lenta pesada (EXC + CON)	288 (130%) ‡	VISA-P, 39%
Kongsgaard et al ⁵⁰		
No EXC
Resistencia lenta pesada (EXC + CON)	288 (130%) ‡	VISA-P, 27%
Frohm et al ²⁶		
EXC aislado	315 (100%) ‡§	VISA-P, 108%
EXC aislado con sobrecarga	32 (170%) ‡§§	VISA-P, 76%
Cannell et al ¹⁰		
Sentadilla EXC	300 (60%) ‡§	EVA, 55%
EXC mixto + CON, foco en CON	150 (CON, 125%) § (EXC, 63%)	EVA, 31%

Abreviaturas: CON, concéntrico; EXC, excéntrico; EVA, escala visual analógica; VISA-P (Victorian Institute of Sport Assessment-patella, Instituto Victoriano de Evaluación del Deporte-rótula).

* Carga informada con repeticiones semanales y carga estimada como porcentaje del peso corporal (50% del peso corporal es a 2 piernas y el 100% a 1 pierna). En general, aparece la carga máxima, pero para estudios con progresión de carga que no informan los progresos obtenidos, sólo se detalla la carga antes de la progresión. No se evaluó la carga en los ejercicios de estiramiento. † A menos que se indique lo contrario, todos los estudios tuvieron 12 semanas de tratamiento. ‡ Dolor aceptable. §El estudio incluye la progresión no reportada más allá de lo que está en la lista. ¶Porcentaje de peso corporal estimado de la contracción voluntaria máxima u otra carga externa. ¶¶ Mejora en el grupo EXC significativamente mayor que en el grupo de comparación.

protocolos dieron como resultado la reducción del dolor y el aumento de la función, sin diferencia entre los grupos. Doce semanas de entrenamiento excéntrico pesado aislado, con pocas repeticiones de alta carga (100% de máxima contracción voluntaria, MCV, aproximadamente 170% de peso corporal) se compararon con sentadillas aisladas excéntricas en una tabla inclinada utilizando un mayor número de repeticiones a menor carga (100% de peso corporal, aproximadamente

“Hay una escasez de ensayos clínicos que comparen de forma directa diferentes regímenes de ejercicios con diferentes dosis de ejercicios, pero la evidencia disponible ofrece cierto apoyo a la superioridad de los ejercicios excéntricos aislados.”

60% MCV).²⁶ Ambos grupos mejoraron notablemente en el dolor y la función, pero sin diferencia entre ellos. Otro estudio comparó la sentadilla de carga excéntrica amortiguando a 2 pies (60 repeticiones por sesión) con ejercicios de flexión / extensión de rodilla (30 repeticiones por sesión), con el objetivo de crear un alto componente de carga concéntrica (75% -80% MCV) (10). Ambos grupos entrenaron con cargas progresivas 5 veces por semana y redujeron el dolor del tendón después de 12 semanas, pero los resultados no fueron diferentes entre los grupos. Solo 1 estudio investigó los resultados bioquímicos: la eficacia de las sentadillas excéntricas aisladas en comparación con un entrenamiento de resistencia pesado mixto concéntrico / excéntrico lento.⁴⁹ Ambos regímenes de ejercicios dieron como resultado la reducción del dolor y la mejora de la función, pero los cambios bioquímicos (aumento del contenido de colágeno y glucosilación reducida) fueron solo evidentes con el entrenamiento pesado de baja resistencia. Asimismo, el entrenamiento pesado de resistencia lenta fue asociado a cambios estructurales.⁵⁰ Por lo tanto, no existe una evidencia general firme para apoyar la idea de que la carga excéntrica es más eficiente que la concéntrica u otros regímenes de carga para la tendinopatía rotuliana. La mayoría de los estudios no han coincidido en otros parámetros, tales como carga, velocidad, frecuencia y períodos de descanso^{10, 26, 39} y, por lo tanto, todavía no está claro qué magnitud de carga específica, frecuencia o volumen de carga total por sesión se debería utilizar para proporcionar mejoras clínicas y estructurales significativas en pacientes con tendinopatía rotuliana.

IMPLICANCIAS CLÍNICAS Y DIRECCIONES FUTURAS

Las tendinopatías son una dolencia común entre los deportistas y actualmente hay una imagen incompleta de la etiología. Aunque existen varias opciones de tratamiento sugeridas, los regímenes de carga parecen tener buenos resultados clínicos. Los primeros trabajos mostraron que un programa de ejercicios con contracción excéntrica aislada tiene buenos resultados clínicos, lo que promovió el paradigma de la carga excéntrica para la tendinopatía. Sin embargo, como se describe en esta revisión, existe poca evidencia como para aislar el componente excéntrico de un régimen basado en la carga. Los mecanismos básicos que probablemente influyan en las adaptaciones del tendón parecen estar relacionadas principalmente con la magnitud y la duración de la carga / tensión sobre el tendón, y no hay una base teórica para someter al tendón a mayores cargas en ejercicios excéntricos con una fuerza dada (peso corporal o carga externa).

Hay una escasez de ensayos clínicos que comparen de forma directa diferentes regímenes de ejercicios con diferentes dosis de ejercicios, pero la evidencia disponible ofrece cierto apoyo a la superioridad de los ejercicios excéntricos aislados. Vale la pena señalar que los estudios raramente usan una magnitud de carga comparable cuando comparan un régimen de carga excéntrico con otro. Para delinear los efectos del

modo y magnitud de la carga, los trabajos futuros deberían comparar la acción excéntrica y concéntrica aislada con igual carga y en varias dosis de ejercicios en individuos con tendinopatía. El foco sobre el ejercicio excéntrico ha eclipsado a otros aspectos de la rehabilitación de la tendinopatía y el reconocimiento de la evidencia limitada puede impulsar un enfoque más amplio, que incluya el uso de carga pesada y baja velocidad, que tiene cierto apoyo tanto en la ciencia básica como en los ensayos clínicos. ●

Bibliografía

1. Alfredson H. The chronic painful Achilles and patellar tendon: research on basic biology and treatment. *Scand J Med Sci Sports*. 2005;15:252-259. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00466.x>
2. Alfredson H, Lorentzon R. Chronic Achilles tendinosis: recommendations for treatment and prevention. *Sports Med*. 2000;29:135-146.
3. Alfredson H, Lorentzon R. Intratendinous glutamate levels and eccentric training in chronic Achilles tendinosis: a prospective study using microdialysis technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2003;11:196-199. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-003-0360-0>
4. Alfredson H, Pietilä T, Jonsson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med*. 1998;26:360-366.
5. Arampatzis A, Karamanidis K, Albracht K. Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude. *J Exp Biol*. 2007;210:2743-2753. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.003814>
6. Arampatzis A, Peper A, Bierbaum S, Albracht K. Plasticity of human Achilles tendon mechanical and morphological properties in response to cyclic strain. *J Biomech*. 2010;43:3073-3079. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.08.014>
7. Arnoczky SP, Lavagnino M, Egerbacher M. The mechanobiological aetiopathogenesis of tendinopathy: is it the over-stimulation or the under-stimulation of tendon cells? *Int J Exp Pathol*. 2007;88:217-226. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2613.2007.00548.x>
8. Bahr R, Fossan B, Løken S, Engebretsen L. Surgical treatment compared with eccentric training for patellar tendinopathy (jumper's knee). A randomized, controlled trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88:1689-1698. <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.E.01181>
9. Beyer R, Kongsgaard M, Hougs Kjaer B, Øhlenschläger T, Kjaer M, Magnusson SP. Heavy slow resistance versus eccentric training as treatment for Achilles tendinopathy: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med*. 2015;43:1704-1711. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546515584760>
10. Cannell LJ, Taunton JE, Clement DB, Smith C, Khan KM. A randomised clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes: pilot study. *Br J Sports Med*. 2001;35:60-64. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.35.1.60>
11. Chaudhry S, Morrissey D, Woledge RC, Bader DL, Screen HR. Eccentric and concentric loading of the triceps surae: an in vivo study of dynamic muscle and tendon bio-

“El foco sobre el ejercicio excéntrico ha eclipsado a otros aspectos de la rehabilitación de la tendinopatía.”

mechanical parameters. *J Appl Biomech*. 2015;31:69-78.

12. Couppé C, Kongsgaard M, Aagaard P, et al. Habitual loading results in tendon hypertrophy and increased stiffness of the human patellar tendon. *J Appl Physiol* (1985). 2008;105:805-810. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.90361.2008>
13. Croisier JL, Forthomme B, Foidart-Dessalle M, Godon B, Crielaard JM. Treatment of recurrent tendinitis by isokinetic eccentric exercises. *Isokinet Exerc Sci*. 2001;9:133-141.
14. de Jonge S, de Vos RJ, Van Schie HT, Verhaar JA, Weir A, Tol JL. One-year follow-up of a randomised controlled trial on added splinting to eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy. *Br J Sports Med*. 2010;44:673-677. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2008.052142>
15. de Vos RJ, Weir A, van Schie HT, et al. Plateletrich plasma injection for chronic Achilles tendinopathy: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2010;303:144-149. <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2009.1986>
16. de Vos RJ, Weir A, Visser RJ, de Winter T, Tol JL. The additional value of a night splint to eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. 2007;41:e5. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2006.032532>
17. Dideriksen K. Muscle and tendon connective tissue adaptation to unloading, exercise and NSAID. *Connect Tissue Res*. 2014;55:61-70. <http://dx.doi.org/10.3109/03008207.2013.862527>
18. Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol* (1985). 1996;81:2339-2346.
19. Fahlström M, Jonsson P, Lorentzon R, Alfredson H. Chronic Achilles tendon pain treated with eccentric calf-muscle training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2003;11:327-333. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-003-0418-z>
20. Farup J, Rahbek SK, Vendelbo MH, et al. Whey protein hydrolysate augments tendon and muscle hypertrophy independent of resistance exercise contraction mode. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24:788-798. <http://dx.doi.org/10.1111/sms.12083>
21. Feng Z, Tateishi Y, Nomura Y, Kitajima T, Nakamura T. Construction of fibroblast-collagen gels with orientated fibrils induced by static or dynamic stress: toward the fabrication of small tendon grafts. *J Artif Organs*. 2006;9:220-225. <http://dx.doi.org/10.1007/s10047-006-0354-z>
22. Ferretti A. Epidemiology of jumper's knee. *Sports Med*. 1986;3:289-295.
23. Finni T, Komi PV, Lepola V. In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump and counter movement jump. *Eur J Appl Physiol*. 2000;83:416-426. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210000289>
24. Folkhard W, Geercken W, Knörzer E, et al. Structural dynamic of native tendon collagen. *J Mol Biol*. 1987;193:405-407. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2836\(87\)90228-2](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2836(87)90228-2)
25. Fredberg U, Stengaard-Pedersen K. Chronic tendinopathy tissue pathology, pain mechanisms, and etiology with a special focus on inflammation. *Scand J MedSci Sports*. 2008;18:3-15. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00746.x>
26. Frohm A, Saartok T, Halvorsen K, Renström P. Eccentric treatment for patellar tendinopathy: a prospective randomised short-term pilot study of two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med*. 2007;41:e7. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2006.032599>

27. Frost P, Bonde JP, Mikkelsen S, et al. Risk of shoulder tendinitis in relation to shoulder loads in monotonous repetitive work. *Am J Ind Med.* 2002;41:11-18. <http://dx.doi.org/10.1002/ajim.10019>
28. Gärdin A, Bruno J, Movin T, Kristoffersen-Wiberg M, Shalabi A. Magnetic resonance signal, rather than tendon volume, correlates to pain and functional impairment in chronic Achilles tendinopathy. *Acta Radiol.* 2006;47:718-724. <http://dx.doi.org/10.1080/02841850600774035>
29. Garma T, Kobayashi C, Haddad F, Adams GR, Bodell PW, Baldwin KM. Similar acute molecular responses to equivalent volumes of isometric, lengthening, or shortening mode resistance exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2007;102:135-143. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00776.2006>
30. Gauvin R, Parenteau-Bareil R, Larouche D, et al. Dynamic mechanical stimulations induce anisotropy and improve the tensile properties of engineered tissues produced without exogenous scaffolding. *Acta Biomater.* 2011;7:3294-3301. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2011.05.034>
31. Giddings VL, Beaupré GS, Whalen RT, Carter DR. Calcaneal loading during walking and running. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:627-634.
32. Glazebrook MA, Wright JR, Jr., Langman M, Stanish WD, Lee JM. Histological analysis of Achilles tendons in an overuse rat model. *J Orthop Res.* 2008;26:840-846. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.20546>
33. Heinemeier KM, Olesen JL, Haddad F, et al. Expression of collagen and related growth factors in rat tendon and skeletal muscle in response to specific contraction types. *J Physiol.* 2007;582:1303-1316. <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2007.127639>
34. Heinemeier KM, Schjerling P, Heinemeier J, Magnusson SP, Kjaer M. Lack of tissue renewal in human adult Achilles tendon is revealed by nuclear bomb 13C. *FASEB J.* 2013;27:2074-2079. <http://dx.doi.org/10.1096/fj.12-225599>
35. Heinemeier KM, Skovgaard D, Bayer ML, et al. Uphill running improves rat Achilles tendon tissue mechanical properties and alters gene expression without inducing pathological changes. *J Appl Physiol (1985).* 2012;113:827-836. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00401.2012>
36. Henriksen M, Aaboe J, Bliddal H, Langberg H. Biomechanical characteristics of the eccentric Achilles tendon exercise. *J Biomech.* 2009;42:2702-2707. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.08.009>
37. Hill AV. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 1938;126:136-195. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.1938.0050>
38. Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1984;56:831-838.
39. Jonsson P, Alfredson H. Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: a prospective randomised study. *Br J Sports Med.* 2005;39:847-850. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2005.018630>
40. Jonsson P, Alfredson H, Sunding K, Fahlström M, Cook J. New regimen for eccentric calf-muscle training in patients with chronic insertional Achilles tendinopathy: results of a pilot study. *Br J Sports Med.* 2008;42:746-749. <http://dx.doi.org/10.1136/>

bjism.2007.039545

41. Joshi SD, Webb K. Variation of cyclic strain parameters regulates development of elastic modulus in fibroblast/substrate constructs. *J Orthop Res*. 2008;26:1105-1113. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.20626>
42. Kalson NS, Holmes DF, Herchenhan A, Lu Y, Starborg T, Kadler KE. Slow stretching that mimics embryonic growth rate stimulates structural and mechanical development of tendon-like tissue in vitro. *Dev Dyn*. 2011;240:2520-2528. <http://dx.doi.org/10.1002/dvdy.22760>
43. Ker RF, Wang XT, Pike AV. Fatigue quality of mammalian tendons. *J Exp Biol*. 2000;203:1317-1327.
44. Kettunen JA, Kvist M, Alanen E, Kujala UM. Long-term prognosis for jumper's knee in male athletes. A prospective follow-up study. *Am J Sports Med*. 2002;30:689-692.
45. Khan K, Cook J. The painful nonruptured tendon: clinical aspects. *Clin Sports Med*. 2003;22:711-725.
46. Khan KM, Cook JL, Kannus P, Maffulli N, Bonar SF. Time to abandon the "tendinitis" myth. *BMJ*. 2002;324:626-627. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.324.7338.626>
47. Kingma JJ, de Knikker R, Wittink HM, Takken T. Eccentric overload training in patients with chronic Achilles tendinopathy: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2007;41:e3. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2006.030916>
48. Kjaer M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiol Rev*. 2004;84:649-698. <http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00031.2003>
49. Kongsgaard M, Kovanen V, Aagaard P, et al. Corticosteroid injections, eccentric decline squat training and heavy slow resistance training in patellar tendinopathy. *Scand J Med Sci Sports*. 2009;19:790-802. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00949.x>
50. Kongsgaard M, Qvortrup K, Larsen J, et al. Fibril morphology and tendon mechanical properties in patellar tendinopathy: effects of heavy slow resistance training. *Am J Sports Med*. 2010;38:749-756. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546509350915>
51. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *J Physiol*. 2001;536:649-655. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0649c.xd>
52. Kujala UM, Sarna S, Kaprio J. Cumulative incidence of Achilles tendon rupture and tendinopathy in male former elite athletes. *Clin J Sport Med*. 2005;15:133-135. <http://dx.doi.org/10.1097/01.jsm.0000165347.55638.23>
53. Langberg H, Ellingsgaard H, Madsen T, et al. Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17:61-66. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00522.x>
54. Langberg H, Olesen J, Skovgaard D, Kjaer M. Age related blood flow around the Achilles tendon during exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2001;84:246-248. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210170013>
55. Langberg H, Skovgaard D, Petersen LJ, Bülow J, Kjaer M. Type I collagen synthesis and degradation in peritendinous tissue after exercise determined by microdialysis in humans. *J Physiol*. 1999;521 pt 1:299-306. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7793.1999.00299.x>
56. Lavagnino M, Arnoczky SP, Tian T, Vaupel Z. Effect of amplitude and frequency of cyclic tensile strain on the inhibition of MMP-1 mRNA expression in tendon cells: an in

vitro study. *Connect Tissue Res.* 2003;44:181-187.

57. Lian ØB, Engebretsen L, Bahr R. Prevalence of jumper's knee among elite athletes from different sports: a cross-sectional study. *Am J Sports Med.* 2005;33:561-567. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546504270454>
58. Lopes AD, Hespanhol Junior LC, Yeung SS, Costa LO. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A systematic review. *Sports Med.* 2012;42:891-905. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03262301>
59. Maeda E, Shelton JC, Bader DL, Lee DA. Time dependence of cyclic tensile strain on collagen production in tendon fascicles. *Biochem Biophys Res Commun.* 2007;362:399-404. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.08.029>
60. Maffulli N, Khan KM, Puddu G. Overuse tendon conditions: time to change a confusing terminology. *Arthroscopy.* 1998;14:840-843. [http://dx.doi.org/10.1016/S0749-8063\(98\)70021-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0749-8063(98)70021-0)
61. Mafi N, Lorentzon R, Alfredson H. 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 Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9:42-47. <http://dx.doi.org/10.1007/s001670000148>
62. Magnusson SP, Aagaard P, Dyhre-Poulsen P, Kjaer M. Load-displacement properties of the human triceps surae aponeurosis in vivo. *J Physiol.* 2001;531:277-288. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0277j.x>
63. Magnusson SP, Langberg H, Kjaer M. The pathogenesis of tendinopathy: balancing the response to loading. *Nat Rev Rheumatol.* 2010;6:262-268. <http://dx.doi.org/10.1038/nrrheum.2010.43>
64. Malliaras P, Barton CJ, Reeves ND, Langberg H. Achilles and patellar tendinopathy loading programmes: a systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sports Med.* 2013;43:267-286. <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-013-0019-z>
65. Miller BF, Olesen JL, Hansen M, et al. Coordinated collagen and muscle protein synthesis in human patella tendon and quadriceps muscle after exercise. *J Physiol.* 2005;567:1021-1033. <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2005.093690>
66. Moerch L, Pingel J, Boesen M, Kjaer M, Langberg H. The effect of acute exercise on collagen turnover in human tendons: influence of prior immobilization period. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113:449-455. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-012-2450-5>
67. Niesen-Vertommen SL, Taunton JE, Clement DB, Mosher RE. The effect of eccentric versus concentric exercise in the management of Achilles tendonitis. *Clin J Sport Med.* 1992;2:109-113. <http://dx.doi.org/10.1097/00042752-199204000-00006>
68. Nirmalanandhan VS, Shearn JT, Juncosa-Melvin N, et al. Improving linear stiffness of the cellseeded collagen sponge constructs by varying the components of the mechanical stimulus. *Tissue Eng Part A.* 2008;14:1883-1891. <http://dx.doi.org/10.1089/ten.tea.2007.0125>
69. Nørregaard J, Larsen CC, Bieler T, Langberg H. Eccentric exercise in treatment of Achilles tendinopathy. *Scand J Med Sci Sports.* 2007;17:133-138. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00545.x>
70. Öhberg L, Alfredson H. Effects on neovascularization behind the good results with eccentric training in chronic mid-portion Achilles tendinosis? *Knee Surg Sports Trauma-*

- tol Arthrosc. 2004;12:465-470. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-004-0494-8>
- 71.** Öhberg L, Lorentzon R, Alfredson H. Eccentric training in patients with chronic Achilles tendinosis: normalised tendon structure and decreased thickness at follow up. *Br J Sports Med.* 2004;38:8-11; discussion 11. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2001.000284>
- 72.** Parent G, Huppé N, Langelier E. Low stress tendon fatigue is a relatively rapid process in the context of overuse injuries. *Ann Biomed Eng.* 2011;39:1535-1545. <http://dx.doi.org/10.1007/s10439-011-0254-0>
- 73.** Paulsen G, Mikkelsen UR, Raastad T, Peake JM. Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exerc Immunol Rev.* 2012;18:42-97.
- 74.** Pearson SJ, Burgess K, Onambele GN. Creep and the in vivo assessment of human patellar tendon mechanical properties. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2007;22:712-717. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.02.006>
- 75.** Pedersen BK, Steensberg A, Fischer C, et al. Searching for the exercise factor: is IL-6 a candidate? *J Muscle Res Cell Motil.* 2003;24:113-119.
- 76.** Petersen W, Welp R, Rosenbaum D. Chronic Achilles tendinopathy: a prospective randomized study comparing the therapeutic effect of eccentric training, the AirHeel brace, and a combination of both. *Am J Sports Med.* 2007;35:1659-1667. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546507303558>
- 77.** Pingel J, Fredberg U, Mikkelsen LR, et al. No inflammatory gene-expression response to acute exercise in human Achilles tendinopathy. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113:2101-2109. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-013-2638-3>
- 78.** Purdam CR, Jonsson P, Alfredson H, Lorentzon R, Cook JL, Khan KM. A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *Br J Sports Med.* 2004;38:395-397. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2003.000053>
- 79.** Rees JD, Lichtwark GA, Wolman RL, Wilson AM. The mechanism for efficacy of eccentric loading in Achilles tendon injury; an in vivo study in humans. *Rheumatology (Oxford).* 2008;47:1493-1497. <http://dx.doi.org/10.1093/rheumatology/ken262>
- 80.** Rees JD, Stride M, Scott A. Tendons – time to revisit inflammation. *Br J Sports Med.* 2014;48:1553-1557. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2012-091957>
- 81.** Roche AJ, Calder JD. Achilles tendinopathy: a review of the current concepts of treatment. *Bone Joint J.* 2013;95-B:1299-1307. <http://dx.doi.org/10.1302/0301-620X.95B10.31881>
- 82.** Rompe JD, Nafe B, Furia JP, Maffulli N. Eccentric loading, shock-wave treatment, or a wait-and-see policy for tendinopathy of the main body of tendo Achillis: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2007;35:374-383. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546506295940>
- 83.** Roos EM, Engström M, Lagerquist A, Söderberg B. Clinical improvement after 6 weeks of eccentric exercise in patients with midportion Achilles tendinopathy – a randomized trial with 1-year follow-up. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14:286-295. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.378.x>
- 84.** Semmler JG, Tucker KJ, Allen TJ, Proske U. Eccentric exercise increases EMG amplitude and force fluctuations during submaximal contractions of elbow flexor muscles. *J Appl Physiol (1985).* 2007;103:979-989. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01310.2006>

- 85.** Seynnes OR, Erskine RM, Maganaris CN, et al. Training-induced changes in structural and mechanical properties of the patellar tendon are related to muscle hypertrophy but not to strength gains. *J Appl Physiol* (1985). 2009;107:523-530. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00213.2009>
- 86.** Shalabi A, Kristoffersen-Wilberg M, Svensson L, Aspelin P, Movin T. Eccentric training of the gastrocnemius-soleus complex in chronic Achilles tendinopathy results in decreased tendon volume and intratendinous signal as evaluated by MRI. *Am J Sports Med*. 2004;32:1286-1296. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546504263148>
- 87.** Shepherd JH, Screen HR. Fatigue loading of tendon. *Int J Exp Pathol*. 2013;94:260-270. <http://dx.doi.org/10.1111/iep.12037>
- 88.** Silbernagel KG, Thomeé R, Eriksson BI, Karlsson J. Continued sports activity, using a pain-monitoring model, during rehabilitation in patients with Achilles tendinopathy: a randomized controlled study. *Am J Sports Med*. 2007;35:897-906. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546506298279>
- 89.** Silbernagel KG, Thomeé R, Thomeé P, Karlsson J. Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain – a randomized controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scand J Med Sci Sports*. 2001;11:197-206. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0838.2001.110402.x>
- 90.** Stanish WD, Rubinovich RM, Curwin S. Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clin Orthop Relat Res*. 1986:65-68.
- 91.** Stasinopoulos D, Stasinopoulos I. Comparison of effects of exercise programme, pulsed ultrasound and transverse friction in the treatment of chronic patellar tendinopathy. *Clin Rehabil*. 2004;18:347-352.
- 92.** Sussmilch-Leitch SP, Collins NJ, Bialocerkowski AE, Warden SJ, Crossley KM. Physical therapies for Achilles tendinopathy: systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res*. 2012;5:15. <http://dx.doi.org/10.1186/1757-1146-5-15>
- 93.** Tanaka S, Petersen M, Cameron L. Prevalence and risk factors of tendinitis and related disorders of the distal upper extremity among U.S. workers: comparison to carpal tunnel syndrome. *Am J Ind Med*. 2001;39:328-335. [http://dx.doi.org/10.1002/1097-0274\(200103\)39:3<328::AIDAJIM1021>3.0.CO;2-I](http://dx.doi.org/10.1002/1097-0274(200103)39:3<328::AIDAJIM1021>3.0.CO;2-I)
- 94.** Toft AD, Jensen LB, Bruunsgaard H, et al. Cytokine response to eccentric exercise in young and elderly humans. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2002;283:C289-C295. <http://dx.doi.org/10.1152/ajpcell.00583.2001>
- 95.** Visnes H, Hoksrud A, Cook J, Bahr R. No effect of eccentric training on jumper's knee in volleyball players during the competitive season: a randomized clinical trial. *Clin J Sport Med*. 2005;15:227-234.
- 96.** Wang JH. Mechanobiology of tendon. *J Biomech*. 2006;39:1563-1582. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.05.011>
- 97.** Webb K, Hitchcock RW, Smeal RM, Li W, Gray SD, Tresco PA. Cyclic strain increases fibroblast proliferation, matrix accumulation, and elastic modulus of fibroblast-seeded polyurethane constructs. *J Biomech*. 2006;39:1136-1144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.08.026>
- 98.** Woo SL, Ritter MA, Amiel D, et al. The biomechanical and biochemical properties of swine tendons – long term effects of exercise on the digital extensors. *Connect Tissue Res*. 1980;7:177-183. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-8545\(80\)90010-9](http://dx.doi.org/10.1016/0010-8545(80)90010-9)