

UNIVERSIDAD DE JAÉN
**FACULTAD DE CIENCIAS
DE LA SALUD**
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
DE LA SALUD**

TESIS DOCTORAL
**PREVENCIÓN DE LAS LESIONES POR
SOBREUSO: RELACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA
MUSCULOTENDINOSO ROTULIANO Y
AQUÍLEO EN LA CARRERA Y EL
ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO**

**PRESENTADA POR:
FERNANDO SANZ LÓPEZ**

**DIRIGIDA POR:
DR. D. ANTONIO MARTÍNEZ AMAT
DR. D. CÉSAR BERZOSA SÁNCHEZ**

JAÉN, 2 DE OCTUBRE DE 2015

ISBN 978-84-16819-08-9

AGRADECIMIENTOS

Aunque esta tesis viene firmada por una persona, el apoyo de las personas que te rodean y te ayudan es fundamental.

Esta tesis doctoral es así. Un trabajo de mucha gente, en equipo, directa e indirectamente. De ahí mi deseo de expresar mi más sincero agradecimiento a todos ellos.

En primer lugar agradezco al Dr. Antonio Martínez Amat por sus conocimientos y sus interés. Ha sido espectacular trabajar con él. Junto con el Dr. César Berzosa Sánchez han sido el motor de la presente tesis. Sin la dedicación, comentarios y aportaciones de mis directores, Dr. Antonio Martínez Amat y Dr. César Berzosa Sánchez, es seguro que esta tesis hubiese sido un trabajo imposible de realizar, por eso quiero agradecerles su esfuerzo.

Al Dr. Fidel Hita Contreras por su trabajo y correcciones.

A Carlos Valero del Campo por su inestimable ayuda en el trabajo realizado.

A la Universidad de Jaén y a la Universidad San Jorge, sobre todo a mis compañeros, por su apoyo y facilitación de todos los medios disponibles.

A todos ellos, muchas gracias

A Pilar, estás siempre cerca de todo lo bueno que me sucede, aunque lo mejor que me has sucedido eres tú...

A mi familia y amigos que han estado ahí para apoyarme en todos los momentos de mi vida y especialmente en los años más duros.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
UNIVERSIDAD DE JAÉN

Prevención de las lesiones por sobreuso: relación del comportamiento del sistema músculotendinoso rotuliano y Aquileo en la carrera y el entrenamiento excéntrico.

Fernando Sanz López

Directores de Tesis

Dr. D. Antonio Martínez Amat
Phd
Profesor Contratado Doctor
Universidad de Jaén

Dr. D. César Berzosa Sánchez
Phd
Profesor Contratado Doctor
Universidad San Jorge

Jaén, 15 de Junio de 2015



Profesor Dr. Antonio Martínez Amat
Profesor Contratado Doctor

Departamento de Ciencias de la Salud
Universidad de Jaén

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. Antonio Martínez Amat y el Dr. César Berzosa Sánchez Directores de la Tesis Doctoral titulada “*Prevención de las lesiones por sobreuso: relación del comportamiento del sistema musculotendinoso rotuliano y Aquileo en la carrera y el entrenamiento excéntrico.*”, realizada por Don. **FERNANDO SANZ LÓPEZ** en el Departamento de Ciencias de la Salud **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 56/2005 y 778/98, en Jaén a 15 de Junio de 2015.

Dr. D. Antonio Martínez Amat

Dr. D. César Berzosa Sánchez

Departamento de Ciencias de la Salud
Paraje Las Lagunillas, s/n – Edificio B3 - 23071 – Jaén
Tel. (+34) 953.21.18.51 - Fax (+34) 953 21 29 43

ÍNDICE

CAPÍTULO 1:FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
INTRODUCCIÓN	
1.UNIDAD MÚSCULO TENDINOSA	1
1.1.Tendón y concepto de tendinopatía	2
1.1.1.Comportamiento del tendón. Concepto de “Mecanotransducción”	2
1.1.2.Concepto de “Tendinosis”	5
1.1.3.El modelo del Continuum de Cook	6
1.1.4.Estado actual	8
1.2.El músculo y su arquitectura	8
1.2.1.Concepto de arquitectura muscular	9
1.2.2.Componentes de la arquitectura muscular usados en este estudio: Ángulos de pennación	9
2.INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL ENTRENAMIENTO EN LAS ESTRUCTURAS Y PATOLOGÍAS MÚSCULOTENDINOSAS	10
2.1.Efectos de la carrera	11
2.1.1.Comportamiento del tendón rotuliano y Vasto Lateral	11
2.1.2.Comportamiento del tendón de Aquiles y Gemelo Interno	12
2.2.Efectos de la contracción excéntrica	12
2.2.1.Concepto de contracción excéntrica	12
2.2.2 Beneficios del entrenamiento excéntrico	13
2.2.2.1 En el tendón	13
2.2.2.1 En el músculo	13
2.2.3. Aplicaciones del entrenamiento excéntrico en la prevención y tratamiento de lesiones por sobreuso	14

2.3.Sobrecarga Excéntrica: concepto y beneficios	16
3.HERRAMIENTAS DE VALORACIÓN USADAS EN ESTE ESTUDIO: ECOGRAFÍA	17
3.1.Conceptos generales	17
3.2.Detección de cambios subclínicos	18
3.3.Consideraciones en el uso de la ecografía	19
4.HERRAMIENTAS DE VALORACIÓN USADAS EN ESTE ESTUDIO: TERMOGRAFÍA	20
4.1.Aspectos generales de la Termografía	20
4.2.Valores de referencia usados en Termografía	21
CAPÍTULO 2: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
Planteamiento del problema	22
CAPÍTULO 3: OBJETIVOS	24
CAPÍTULO 4: MARCO EMPÍRICO	26
LISTA DE ESTUDIOS	27
CAPÍTULO 5: MATERIALY MÉTODOS	28
CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
ESTUDIO I	35
ESTUDIO II	48
ESTUDIO III	59
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
LISTA DE ABREVIATURAS	86

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La prevención de lesiones en el sistema musculoesquelético se basa en la comprensión de los mecanismos fisiológicos que ocurren en las distintas estructuras al ser sometidas a una carga. Entender cómo se comportan los tejidos y cómo asimilan las exigencias diarias suele ser clave para poder desarrollar mecanismos de prevención. En las lesiones por sobreuso (aquellas cuyo origen no es traumático sino por acumulación de microtraumatismos o cargas) esto es particularmente importante, y sobre todo en el mundo del deporte y de la actividad física, donde las cargas, y muchas veces las exigencias, son mayores. La unidad músculo-tendón es una de las más afectadas y estudiadas, puesto que supone un desafío minimizar la cantidad de lesiones que tienen lugar en ella. Para valorar estos cambios, es necesario disponer de las herramientas de observación y detección de los cambios tisulares adecuadas. La ecografía (ECO) es una herramienta clásica en la valoración de cambios estructurales, y a este propósito común se van sumando nuevas tecnologías, como la termografía (IRT).

1. UNIDAD MÚSCULO TENDINOSA

La función básica del aparato locomotor es la producción de movimiento en el cuerpo humano. La unidad más esencial de este sistema es la que componen el tendón y el músculo. Desde el modelo clásico de Hill (1), el comportamiento de tendón y músculo se considera como una unidad. El tendón conecta los músculos al hueso, transmite la fuerza generada y soporta cargas de impacto (2). Mientras tanto, el músculo es el encargado mediante su acortamiento de producir el momento de fuerza necesario para el movimiento.

A pesar de que tendón y músculo trabajan para conseguir un objetivo conjunto, la estructura y propiedades de cada uno de los tejidos difiere. El músculo presenta una estructura más elástica y con una alta capacidad metabólica. El tendón, por el contrario, presenta más rigidez y su función es la de trasmisor de cargas con mínimo gasto metabólico. Algunos tendones, como el tendón rotuliano (TR) y el tendón de Aquiles

(TA), tienen una función adicional de almacenamiento y liberación de la carga mecánica que acumulan durante movimientos con ciclos de contracción estiramiento-acortamiento en la unidad miotendinosa, especialmente en actividades deportivas como correr, saltar, etc. (3). Esta función del tendón sirve para mejorar el rendimiento y aumentar la eficiencia del movimiento humano (4). Su respuesta adaptativa ante las cargas es por tanto distinta (5).

1.1 Tendón y concepto de tendinopatía

Los tendones están conformados de una densa y alineada cantidad de tejido conjuntivo, especialmente colágeno tipo I (6). En la actualidad existen más de 20 tipos de colágenos, que varían fundamentalmente en la disposición de las cadenas de aminoácidos que lo componen (Glicina, prolina e hidroxiprolina), siendo la hidroxiprolina el aminoácido específico que se sintetiza dentro de los fibroblastos del tendón (7). En los tendones, el colágeno existente es principalmente de tipo I, con mayor resistencia a la tracción y organizado paralelamente o de tipo III, más desorganizado en su estructura, impidiendo una buena función de soporte de cargas. Las fibras de colágeno presentan ciertas ondulaciones, que desaparecen cuando el tendón se encuentra sometido a carga y se alinean de forma paralela, formando fascículos con fibroblastos y tenocitos intercalados y una matriz extracelular en la que se encuentran proteínas como los glicosaminoglicanos (8).

1.1.1 Comportamiento del tendón. Concepto de “Mecanotransducción”

El comportamiento frente a las cargas en un tendón no es exponencial. Con cargas bajas, el tendón presenta una buena distensibilidad, volviéndose más rígido al aumentar la carga (9). La carga progresiva y controlada sobre el tendón aumenta la fuerza tensil (10). El mecanismo que provoca esta adaptación se basa en el aumento de la producción de colágeno por estimulación de los mecano receptores de los tenocitos al aplicarles una tensión longitudinal (11). El proceso fisiológico de este mecanismo fue específicamente explicado por Khan y Scott en 2009 (12), denominándolo “Mecanotransducción”, identificando 3 fases:

- Acoplamiento en las células a la carga mecánica (Mechanocoupling)

Las distintas cargas sobre el tendón provoca movimientos en el interior del mismo, realizando un efecto de reducción de espacio y de compresión mecánica sobre el tenocito. La respuesta del tenocito consiste en la puesta en marcha de mecanismos químicos para aumentar la producción de colágeno. (Figura 1)

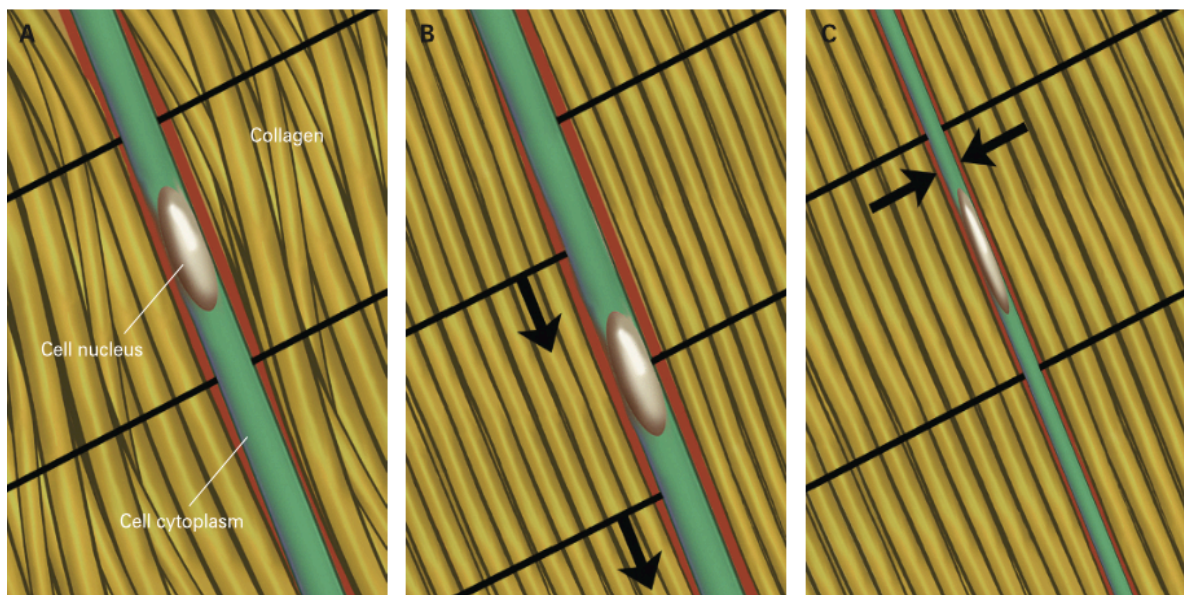


Figura 1. Ejemplo de estimulación del tenocito, mediante impulsos de cizalla (A), tracción (B) o compresión (C) Khan KM, Scott A. Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. British journal of sports medicine. 2009;43(4):247-52.

- Comunicación célula-célula (Cell-Cell Communication)

El primer paso es crear puentes entre células (Uniones Gap), estimulados por la presencia de la proteína específica conexin 43. Una vez abiertos los canales entre células, se produce el paso de los mediadores de señal: calcio e inositol trifosfato (Figura 2)

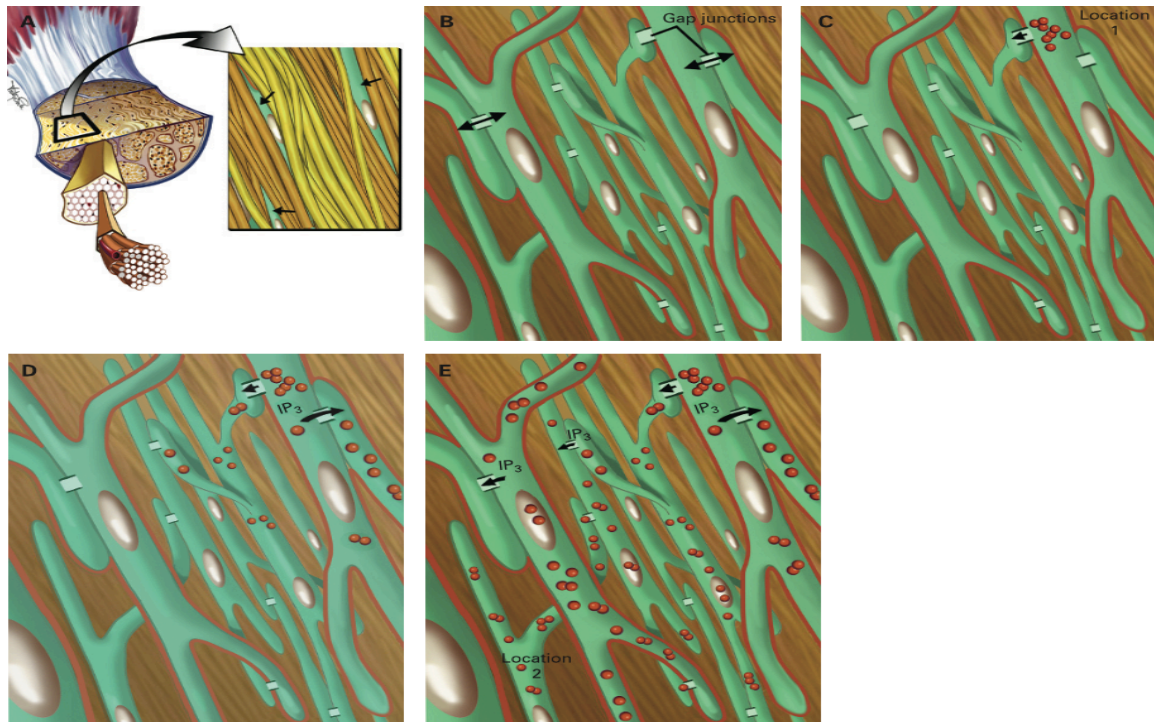


Figura 2 Ejemplo de comunicación célula-célula. (A) El tendón intacto consta de matriz extracelular (incluyendo colágeno) y las células de tendón especializados (puntas de flecha). (B) Las células están físicamente en contacto a lo largo del tendón, facilitando la comunicación célula-célula. Las uniones Gap son las regiones especializadas donde las células se conectan y comunican pequeñas partículas cargadas. Pueden ser identificados por la proteína específica conexina 43. El proceso de comunicación celular (C-E) desde el inicio (C) el punto medio (D) y al final (E). Los responsables de la señalización para esta etapa son el calcio (esferas de color rojo) y el inositol trifosfato (IP₃). Khan KM, Scott A. Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. *British journal of sports medicine*. 2009;43(4):247-52.

- Respuesta efectiva de la célula (Efecto Cell Response)

A través de receptores situadas en la membranas celulares (integrinas) estimulados en el anterior paso, la producción celular se activa en el núcleo mediante 2 formas, activando el citoesqueleto que por contacto envía estímulos al núcleo y mediante activación de marcadores bioquímicos que inician la expresión génica en el núcleo para una mayor actividad metabólica (Figura 3).

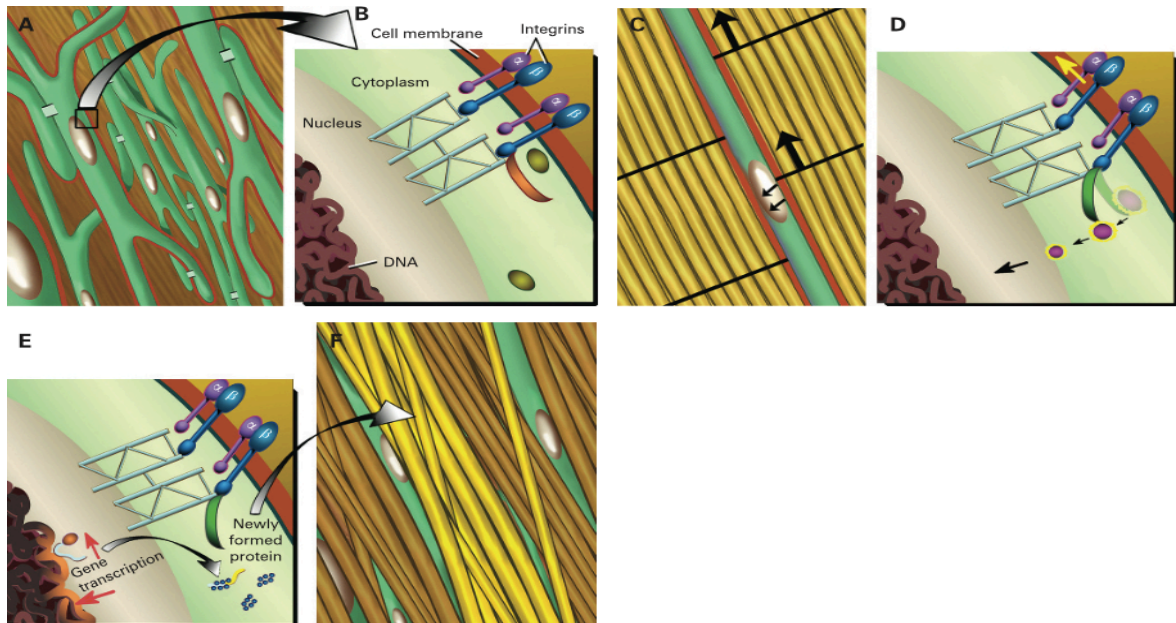


Figura 3 La carga mecánica estimula la síntesis de proteínas a nivel celular. (A) Imagen de región reducida Se aprecia en la imagen la membrana celular, las proteínas que unen la integrina intracelular y regiones extracelulares, el citoesqueleto, que funciona para mantener la integridad celular y distribuir la carga mecánica. El núcleo de la célula y el ADN también se ilustran. (B) Con el movimiento, las proteínas de integrina activan al menos dos vías distintas. (C) Una implica el citoesqueleto que está en comunicación física directa con el núcleo (es decir, tirando del citoesqueleto envía una señal física para el núcleo de la célula) (D). Otra vía es desencadenada por la activación a través de las integrinas de una serie de agentes de señalización bioquímica que se ilustran esquemáticamente. Después de una serie de pasos intermedios esas señales bioquímicas también influyen en la expresión de genes en el núcleo. (E). Una vez que el núcleo de la célula recibe las señales apropiadas, los procesos celulares normales se ponen en funcionamiento. La proteína es secretada y se incorpora en la matriz extracelular. (F) Khan KM, Scott A. Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. *British journal of sports medicine*. 2009;43(4):247-52.

La mecanotransducción como proceso permite la adaptación del tendón a los estímulos mecánicos, en base al aumento de producción de colágeno tipo I. Esta es el mecanismo básico que permite la regeneración del tendón. Fallos en este mecanismo son los responsables de la mayor parte de lesiones, especialmente por sobreuso en el tendón (13).

1.1.2 Concepto de “Tendinosis”

La lesión más común en el tendón es la tendinopatía, llegando a representar hasta un 30% de las patologías detectadas en personas que realizaban deporte a distintos

niveles (14, 15). Dicha patología está considerada una patología por sobreuso, es decir, la acumulación de daños pequeños conlleva una alteración del comportamiento celular y desemboca progresivamente en la lesión, sin que haya un simple daño único que la provoque (16). La patofisiología clásica consideraba que el responsable de la tendinopatía era la inflamación producida en el tendón, denominada “tendinitis”. Los estudios de Alfredson y Lorentzon (17-19) a finales del siglo XX rebatieron esta perspectiva. Dichos estudios realizaban microdiálisis de las sustancias encontradas en distintos tendones diagnosticados con patología crónica (tendinitis). No fue encontrado ningún resto de inflamación química, sino un acúmulo de altos niveles de Glutamato.

Esta investigación dieron pie a una nueva interpretación de la tendinopatía, ahora llamada “tendinosis” por la falta de células inflamatorias encontradas (20). Los hallazgos fueron aplicados al tratamiento y prevención de la tendinosis. La ausencia de inflamación podría explicar la falta de éxito de los tratamientos con antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) o las inyecciones de corticosteroides (13, 21). El modelo de producción de la tendinopatía más usado fue el propuesto por Jill Cook (22) y apoyado por varios autores e investigaciones (23-25).

1.1.3 El modelo del Continuum de Cook

El modelo de Cook y Purdam (Figura 4) propone 3 fases en que el tendón, si no tiene una carga óptima y/o debido a factores individuales, fracasa en su proceso de adaptación y autoreparación (26).

Fase 1. Tendinopatía reactiva

Se caracteriza por dar una respuesta no inflamatoria y proliferativa de las células y la matriz celular. Se produce un engrosamiento de una porción del tendón, debido a una mayor expresión de proteoglicanos más grandes que los encontrados en tendones normales (agrecan y versican) y de algunas glicoproteínas (hyaluronan). La presencia de proteoglicanos conlleva un aumento de agua en la matriz celular. La estructura del colágeno se mantiene, con alguna separación longitudinal y sin cambios en las estructuras neovasculares. El tendón es capaz de autorecuperarse si se minimiza la carga. En esta fase puede haber dolor nociceptivo por la activación de las células que

se adaptan rápidamente. Si en esta fase inicial se continua con la carga, proseguirá la desorganización estructural del tendón.

Fase 2. Deterioro del tendón

Esta fase se caracteriza por una mayor descomposición de la matriz celular e incremento en el número de células (condrocíticas y miofibroblastos) como consecuencia del aumento de proteoglicanos. En esta fase hay una mayor separación y desestructuración del colágeno y una desorganización de la matriz. Se observa un incremento a nivel de la vascularización y crecimiento neuronal. Los tendones en esta fase están engrosados y con cambios localizados en un área del tendón. La reversibilidad de la patología es aun posible con el manejo de las cargas y con ejercicio para estimular la regeneración estructural de la matriz.

Fase 3. Tendinopatía degenerativa

Los cambios en esta fase se centran tanto en la matriz como en la célula. En la matriz se observan áreas desordenadas y llenas de vasos sanguíneos. En la célula los cambios son debidos a apoptosis celular, con áreas de células muertas y agotamiento de tenocitos. Hay una pequeña capacidad de reversibilidad de los cambios patológicos en esta fase.

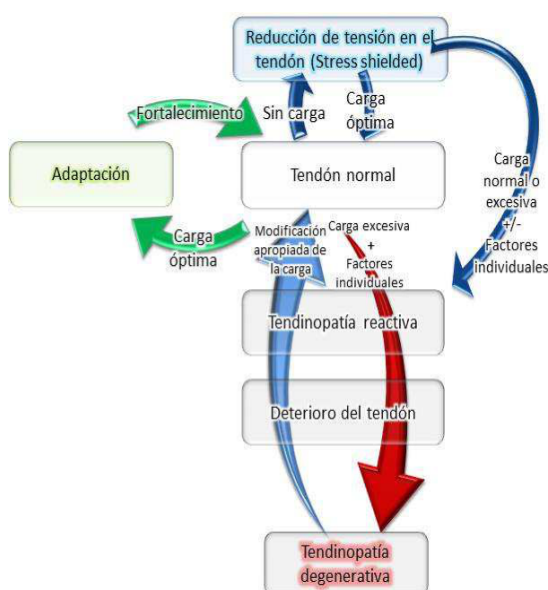


Figura 4. Modelo del Continuum Cook JL, Purdam CR. Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. British journal of sports medicine. 2009;43(6):409-16. Adaptado de: Contreras PG. La aportación de Jill Cook al estudio de la patología tendinosa. Fisioterapia y Divulgación. 2014;2(1):3-18.

1.1.4 Estado actual

Recientes estudios (27-29) han encontrado marcadores inflamatorios en las primeras fases de la patología tendinosa, en contraposición a los estudios de Alfredson y Lorentzon. Esto puede deberse a que las muestras del estudio de Alfredson y Lorentzon eran tomadas cuando la patología llevaba desencadenada varios meses (28). Estos marcadores encontrados (cicloxigenasa-2 e interleukina-6) (30) podrían provocar un aumento de las Metaloproteinasas, responsables de la eliminación de colágeno tipo III y proteoglicanos. Es decir, su función sería ayudar a reparar el tendón, no dañarlo en fases iniciales (28). Cuando la patología se cronifica, estos marcadores no aparecen, probablemente por el fracaso en la recuperación inicial del tendón (31).

Aunque el mecanismo concreto de producción de la lesión no está totalmente claro, sí que existe evidencia que la detección precoz de los primeros estadios de la lesión tendinosa y su comportamiento frente a la carga, facilita un mejor abordaje y resolución de la misma (32-36). Esto es debido a que existen estadios subclínicos en que el tendón se degenera sin presencia de dolor en el tendón. Los mecanismos de dolor en el tendón han sido estudiados por varios autores, observando una relación entre la producción de nuevos vasos (dentro del tendón o en su parte ventral en el caso del TA) y de fibras nerviosas sensitivas y del sistema nervioso simpático (37, 38). Esta proliferación del sistema nervioso asociada a los vasos podría ser la responsable del dolor a través de la generación de un tipo de inflamación neurogénica, con presencia de Sustancia P y Neurokinina-1 (39, 40).

1.2 El músculo y su arquitectura

El músculo es la estructura encargada de producir movimiento. Con una composición más elástica que el tendón y con un metabolismo mayor, para poder convertir el impulso eléctrico del sistema neural en un trabajo mecánico eficiente a través del ciclo bioquímico del Adenosín Trifosfato (ATP). Este ciclo permite producir un acortamiento en las fibras musculares (contracción) mediante el entrecruzamiento entre puentes de proteínas, Actina y Miosina (9). Esta caracterización celular determina una arquitectura y forma propia de cada músculo en cuanto a su función. El

tejido muscular esquelético es un material biológico que tiene la capacidad de adaptar su arquitectura interna a las tensiones aplicadas. Sabiendo que la morfología muscular está fuertemente correlacionada con la actividad producida, una mejor caracterización de la estructura muscular ayudará a entender los diferentes mecanismos implicados en la lesión muscular, la edad e incluso trastornos neuromusculares (41).

1.2.1 Concepto de arquitectura muscular

La arquitectura muscular se puede definir como "la disposición de las fibras musculares dentro de un músculo con respecto al eje de la generación de la fuerza." Mientras que las fibras musculares tienen un diámetro de fibra relativamente constante entre los músculos de diferentes tamaños y el tamaño de la fibra es directamente proporcional a la fuerza que generan, las diferencias de arquitectura entre los músculos demuestran ser mucho más variables y por tanto afecta más a la función (42). Aunque podría ser propuesto que los diferentes músculos producen diferentes cantidades de fuerza basado en las diferencias de tamaño de las fibras, el tamaño de la fibra entre los músculos realmente varía poco (43). Las diferencias de arquitectura entre los músculos son los mejores predictores de la generación de la fuerza (42). Los diversos tipos de arreglos arquitectónicos son tan numerosos como el número de los propios músculos.

La estructura anatómica del músculo se investigó primero en cadáveres y luego con técnicas de imagen. Actualmente, la ECO es el método más extendido utilizado para estimar cuantitativamente las características arquitectónicas musculares que están representados por la sección transversal del músculo, el ángulo de pennación y la longitud del fascículo (42). La arquitectura interna se basa en la determinación del área transversal del músculo, la longitud de sus fibras y el ángulo de pennación(44).

1.2.2 Componentes de la arquitectura muscular usados en este estudio: Ángulos de pennación

Una de las variables de estos componentes de la arquitectura del músculo más usadas por distintos autores para determinar la tasa de producción de fuerza y la velocidad de un músculo es el cálculo del ángulo de pennación (45, 46). En el músculo estriado humano las fibras corren oblicuamente al eje de tracción y se insertan en el

tendón central (aponeurosis profunda) con un ángulo, llamado el "ángulo de pennación" (47). Distintos estudios han mostrado una fuerte correlación directa entre el ángulo de pennación de las fibras musculares y el grosor muscular, mientras que no se obtuvo correlación con el tamaño de la fibra (48).

El ángulos de pennación es dependiente de factores como el género o la edad (42, 49) o el tipo de deporte practicado (50). Los valores de normalidad del ángulos de pennación varían entre los 10° y 30° en función del músculo y del tipo de población. Por ejemplo los valores basales determinados para el Vasto Lateral (VL) en sujetos jóvenes deportistas determinados por Strasser et al. (49) sitúan la media del ángulo de pennación en 14,7(±2,5)°. En cuanto al comportamiento del ángulos tras entrenamiento excéntrico (ECC), los estudios de Guilhem et al. (51) y de Blazevich et al. (52) observaron un incremento del ángulos de pennación tras dicho entrenamiento. Este cambio está asociado a hipertrofia muscular, por el hecho que un mayor volumen y grosor de fibras, ocupando el mismo espacio, necesita un cambio en la inclinación con la que se une al tendón central o aponeurosis profunda (43). Los cambios registrados en ejercicio aeróbico también siguieron un patrón de aumento en el volumen muscular y por consiguiente un incremento en el ángulos de pennación, ya fue tras ejercicio en cicloergómetro (53) o ejercicios de fuerza resistencia hasta fatiga (54).

2 INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL ENTRENAMIENTO EN LAS ESTRUCTURAS Y PATOLOGÍAS MÚSCULOTENDINOSAS

Conocer el comportamiento de los tejidos musculotendinosos a corto y largo plazo (33), así como su respuesta a la carga mecánica que conllevan las distintas actividades y entrenamientos (55) nos va a permitir conocer qué adaptaciones se producen y cuáles pueden ser indicativo de lesión por sobreuso (32) y cuáles pueden ser beneficiosas para prevenirlas (56). Según autores como Magnusson et al. (57) se produce una degradación mayor del colágeno que su síntesis inmediatamente tras el ejercicio, para posteriormente ser la síntesis de colágeno la principal acción metabólica del tendón. Esto implica disminuciones en el grosor del tendón, que si no se cumplen implican una mayor metabolismo de reparación frente a esa carga. Es especialmente

interesante observar aquellos cambios estructurales que puedan ser indicativos de degeneración o adaptación del sistema musculotendinoso, como pueden ser modificaciones en la estructura del tendón (58), existencia de neovasaciones en el tendón (59) o cambios a nivel muscular (41).

2.1 Efectos de la carrera

2.1.1 Comportamiento del tendón rotuliano y Vasto Lateral

La patología del TR se conoce como “rodilla del saltador”. Este nombre se debe a su especial prevalencia en deportes de salto, en torno al 50% (55). A pesar de esto, la carrera es una de las actividades deportivas que más lesiones por sobreuso produce, en torno al 59,4% (60). Y de estas lesiones la rodilla es una de las áreas con más afectación, entre 15-20% según autores (61). Y dentro de esta lesiones por sobreuso en la rodilla, el TR es el más afectado (62).

El área de mayor afectación dentro del tendón se produce en su inserción proximal, en la parte posterior (63). Los primeros estudios consideraban que esta zona era la más afectada por el hecho de sufrir un mecanismo de compresión en la flexión de rodilla (64) y por su escasa vascularización (65). Estas teorías han sido refutadas por Schmid et al. (66) y corroboradas por recientes investigaciones (65). En dichos estudios, se observa que la causa de la lesión es un estímulo mecánico de tensión repetido, en vez de mecanismos de compresión.

Para esfuerzos de carrera, se ha observado un descenso en el área de la sección transversal del TR (33, 67), para una sola intervención de carrera, que se iba recuperando a lo largo de los días. La formación de vasos sanguíneos dentro del tendón se ha comprobado en esfuerzos únicos o a lo largo de una temporada deportiva en distintos tipos de deporte (68-70). El comportamiento tras fatiga del ángulo de pennación en el VL ha sido medido en varias investigaciones. Ejercicio hasta la fatiga en cicloergómetro (53) o ejercicios de fuerza resistencia hasta el umbral de fatiga (54) mostraron en ambos casos un incremento en el ángulo de pennación del VL.

2.1.2 Comportamiento del tendón de Aquiles y gemelo interno

Las lesiones por sobreuso en el TA son consideradas como una de las alteraciones más comunes en la práctica deportiva. En la carrera, la prevalencia de lesiones que afectan al tendón es entre un 6-18 % según autores (71). Durante un esfuerzo de carrera, el TA recibe entre 3 y 5 veces el peso del cuerpo (72).

El área de lesión más relacionada con la tendinopatía aquilea es la parte media del tendón, que es la zona comprendida entre los 2 y los 7 cm proximal a su inserción en el calcáneo (73). El TA es un tendón muy largo unido a fibras musculares con ángulos de pennación cortos. Puede ser eficiente debido a la adaptación fisiológica del área de la sección transversal del tendón, especialmente en su parte media (72). Además esta parte media del tendón dispone de menor vascularización y una mayor acción de devolución de energía por la biomecánica del tobillo en la carrera (17, 31).

Cambios del área transversal en el TA inmediatamente después de un esfuerzo de carrera no se han observado para distancias de 5 km (72) o después de 30 minutos (74). Sin embargo, un aumento en el área y la formación de nuevos vasos en el interior del tendón han sido observados después de esfuerzos de carrera mayor como una maratón (75). Los estudios de fatiga del ángulo de pennación (76) reflejan un aumento del mismo.

2.2 Efectos de la contracción excéntrica

2.2.1 Concepto de contracción excéntrica

La contracción excéntrica ocurre cuando el momento de la resistencia externa es mayor que el momento de fuerza provocado por la contracción voluntaria del músculo (9). También se observa una contracción excéntrica en movimientos de frenada o desaceleración de una acción muscular (77). Este tipo de contracción durante mucho tiempo ha sido “temida” y apartada de los procesos de tratamiento y prevención de lesiones por su implicación en el mecanismo de producción de muchas patologías (78, 79) o por el daño tisular que conlleva, con un aumento en sangre de la producción de la enzima marcadora de daño muscular Creatina Kinasa (80). Sin embargo, actualmente este tipo de contracción es el más utilizado en procesos de recuperación de distintas

lesiones, especialmente de sobreuso por los beneficios que aporta (80). El daño tisular provocado se ha asociado a mayores niveles de regeneración y remodelación de las zonas implicadas (81).

2.2.2 Beneficios del entrenamiento excéntrico

2.2.2.1 En el tendón:

- Activación de factores de crecimiento (IGF-1)

El entrenamiento de fuerza excéntrica permite incrementar los niveles de factores de crecimiento, algo que en el concéntrico no se ha observado (82). Esta producción se lleva a cabo en los propios fibroblastos del tendón humano (83) y va acompañada de una disminución de la producción de Miostatina, que es un regulador negativo de las células de crecimiento (84).

- Incremento del colágeno Tipo I

El hecho de que en tendinopatías se aumente la producción de colágeno tipo III en detrimento del colágeno tipo I hace que el aumento de producción de colágeno tipo I mediante el ejercicio excéntrico sea una buena herramienta para revertir la situación (85). Este efecto del entrenamiento excéntrico es uno de los más buscados para su uso terapéutico y preventivo.

- Reorganización de la estructura fibrilar tendinosa.

El ECC permite una normalización de la disposición estructural de las fibras tendinosas. Los mecanismos que provocan estos cambios pueden deberse a la reducción del contenido de fluido en el tendón, por una producción de colágeno mejorada (86) o a la normalización de las concentraciones de glicosaminoglicanos (87)

2.2.2.2 En el músculo:

- Aumento en la producción de fuerza

Numerosos estudios han comprobado un aumento de la hipertrofia (88), de la sección transversal del músculo (89) y de las tasa de producción de fuerza (90) tras ECC. La teoría de los puentes cruzados, en la cual la tensión de estiramiento que se produce cuando un músculo es alargado activamente, provoca que los puentes cruzados unidos dentro de la fibra muscular sean a su vez estirados y tengan que aumentar su tensión media generada por cada puente cruzado (91).

- Menor gasto energético.

La realización de ECC provoca un 6% menos de requerimiento de oxígeno en comparación con el ejercicio concéntrico equivalente. La tensión generada en los puentes cruzados, al verse incrementada de forma pasiva por el estiramiento, provocaría sin necesidad de ATP la generación de fuerza (80). El trabajo excéntrico comparado con los otros modelos de contracción muscular provoca el descenso de la activación muscular, con un menor nivel de activación de todas las motoneuronas y un menor número de motoneuronas implicadas, provocando una menor actividad del sistema simpático, y del sistema cardiovascular(92).

2.2.3 Aplicaciones del entrenamiento excéntrico en la prevención y tratamiento de lesiones por sobreuso

Para la prevención y tratamiento de las lesiones deportivas, el ECC ha sido ampliamente usado y valorado, especialmente para las lesiones por sobreuso en el tendón (93-96). Para la rodilla, el protocolo propuesto por Stanish et al. (10) es el más usado, con resultados beneficiosos en 12-15 semanas, aplicada a tendinopatía del rotuliano (93, 94, 97). Este protocolo se realiza mediante un squat monopodal en la fase excéntrica y subida bipodal en la fase concéntrica. Para aumentar la efectividad del protocolo, es recomendable realizar el movimiento en una plataforma o cuña declinada 25°(98), con el objetivo de aumentar la carga en la rodilla durante el movimiento excéntrico (Figura 5). La duración del entrenamiento es de 12 semanas y se realizan 3 series de 15 repeticiones, 2 veces al día 7 días a la semana (93, 97). Diferentes estudios posteriores resolvieron la controversia si era preferible realizarlo sin nada de dolor en el ejercicio o con dolor tolerable, siendo más efectivo si el paciente siente dolor tolerable en la realización del protocolo (94, 96)



Figura 5. Técnica de squat monopodal declinado.

Purdam CR, Johnsson 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. *British journal of sports medicine*. 2004;38(4):395-7.

En cuanto al TA, el protocolo propuesto por Alfredson et al. (99) es el más usado. Éste consiste, en su forma original, en realizar 3 series de 15 repeticiones 2 veces al día 7 días a la semana con una duración de 12 semanas. El movimiento propuesto consiste en realizar una flexión dorsal de tobillo monopodal completa en escalón. El movimiento hacia flexión plantar se realiza con las 2 piernas. Este protocolo ha sido evaluado por distintos autores, sin acuerdos específicos en cuanto a qué volumen de ejercicio es el más adecuado (73, 100). Lo que sí ha quedado evidenciado en la literatura científica es la efectividad del entrenamiento para la tendinopatía de la porción media del tendón, puesto que el efecto de la tensión se focaliza en el área media del tendón al realizar la flexión dorsal completa (36, 101). Para patologías insercionales, este mismo protocolo se sugiere realizarlo sin flexión dorsal completa (102).

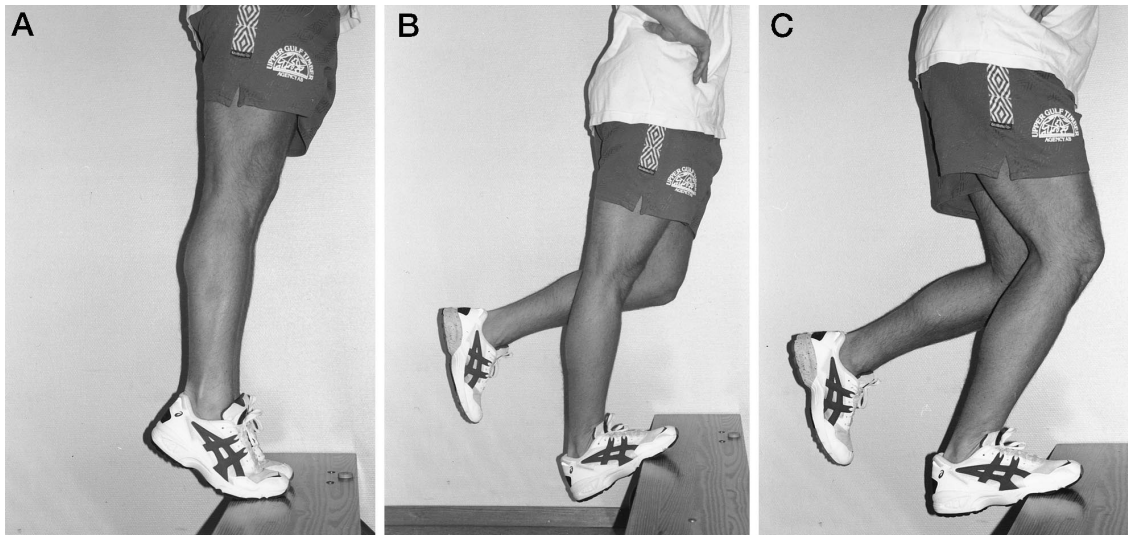


Figura 6. Desde una posición con el cuerpo en posición vertical con todo el peso del cuerpo sobre la parte delantera del pie, la articulación del tobillo en flexión plantar levantada por la pierna no lesionada (A), el movimiento excéntrico se realiza haciendo que el paciente baje el talón con la rodilla recta (B) y con la rodilla doblada (C) en apoyo monopodal.

Alfredson H, Pietila T, Jonsson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med.* 1998;26(3):360-6.

2.3 Sobrecarga Excéntrica: concepto y beneficios

El concepto de sobrecarga excéntrica implica que la fase excéntrica del movimiento se realiza con mayor carga y velocidad que la concéntrica. Es la tecnología isoinercial la que fue creada para incrementar la sollicitación de la fase excéntrica (103). No están totalmente claros los mecanismos que provocan un mejor y más eficaz adaptación en los tejidos que causa el entrenamiento con sobrecarga excéntrica (80). El principal efecto y ventaja de la sobrecarga excéntrica es la posibilidad de conseguir los beneficios de la contracción excéntrica en mucho menos tiempo (6 semanas) y con menos sesiones de entrenamiento semanales (máximo 2, según protocolos) (90, 103-105). Estos beneficios en menor tiempo permiten usarlo en poblaciones más frágiles como son pacientes ancianos (91) o afectados de accidente cerebral vascular crónico (106) para poder conseguir unas mayores tasas de producción de fuerza con menos daño y con menor coste energético. Estas rápidas adaptaciones se relacionan con la mayor carga y velocidad en la fase excéntrica del movimiento. Algunas investigaciones han encontrado una mayor producción de colágeno tipo I en el tendón y una mejor

reestructuración del sistema musculotendinoso que el ECC convencional, asociadas a la mayor velocidad de la fase excéntrica (107). El estudio de Friedman et al. (108) hipotetiza sobre las causas de esta mejora en base a que la mayor presión intramuscular producida por la mayor tensión que tiene que soportar el sistema miotendinoso en la fase excéntrica impide un aumento del flujo sanguíneo. Este hecho puede dar lugar a una hipoxia, lo que podría contribuir a inducir diferentes adaptaciones en el patrón de expresión génica y provocar adaptaciones más rápidas ante posteriores demandas de uso.

3 HERRAMIENTAS DE VALORACIÓN USADAS EN ESTE ESTUDIO: ECOGRAFÍA

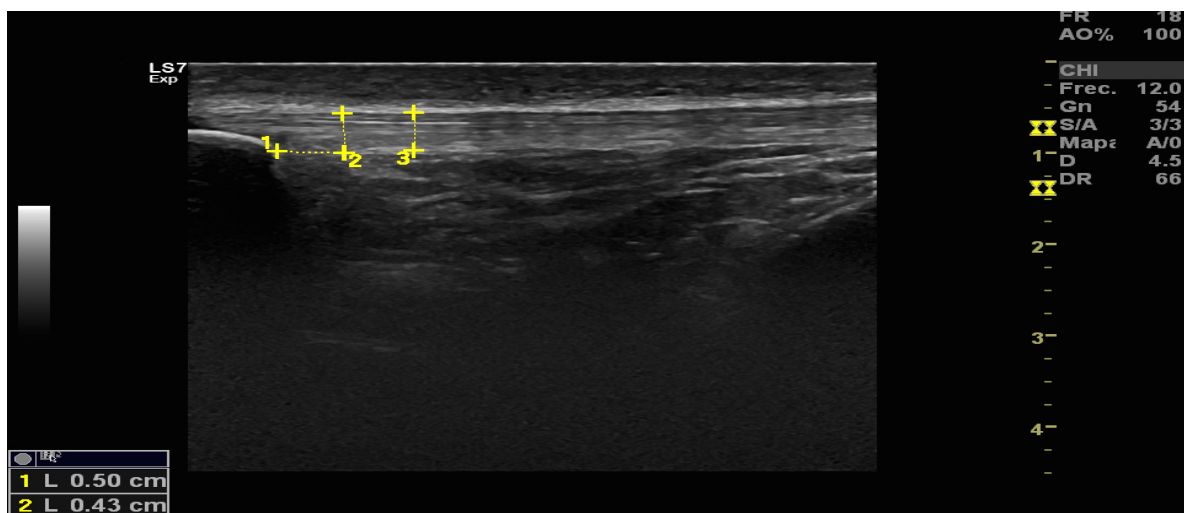
3.1 Conceptos generales

Una de las herramientas más utilizada en la valoración del sistema musculoesquelético es el uso de ECO. Esta técnica permite una valoración por la imagen de estructuras superficiales y es comparable al empleo de la resonancia magnética nuclear, si bien la ecografía se obtiene mediante aparatos menos caros, con lo cual es más accesible e incluso permite valoraciones asociadas de movimientos pasivos o activos (109). Desde los estudios de Vazelle et al. en 1982 (110), la ECO se ha afianzado como técnica para el examen del músculo y fundamentalmente del tendón. La escala de grises permite determinar zonas con mayor desestructuración, con cambios degenerativos y normalmente en tendinosis con un aumento del grosor del tendón en la zona afectada (111). Estos cambios pueden ser detectados incluso antes de presentar síntomas clínicos. Además, los aparatos de ultrasonido cuentan con la incorporación de los sistemas Doppler o Power Doppler que son capaces de registrar vascularización dentro del tejido y así complementar el diagnóstico (111). Asimismo, la herramienta más fácil no invasiva en tiempo real de observación de la arquitectura muscular, especialmente del ángulo de pennación, es la ECO (112).

3.2 Detección de cambios subclínicos

Como técnica de evaluación usada en detectar cambios subclínicos (113), la ECO ha sido usada en muchos deportes (70, 114) y en diferentes regiones corporales

(58, 115) para intentar objetivar, a corto o largo plazo, respuestas adaptativas de los tejidos a la carga. Es junto a la resonancia magnética uno de los diagnósticos por la imagen más usados. A pesar de este hecho, no está totalmente claro qué tipo de imagen es la más apropiada y servir de referencia para detectar estos cambios (116). En algunas investigaciones (117, 118) se ha usado el cálculo del área transversal del TR. Otras han puesto su atención en la estimación de la medida de la anchura antero-posterior del tendón (87) (Figura 7) puesto que hay un fuerte relación entre aumentos del grosor del tendón y sintomatología tendinosa por sobreuso (55). Otro indicador de patología en el tendón ampliamente usado es la formación de nuevos vasos sanguíneos en su interior (119, 120). Gracias a las técnicas de Doppler y Power Doppler, estas neovasaciones pueden ser detectadas. La ECO no deja lugar a dudas en opinión de algunos autores que para el cálculo del ángulos de pennación (43) y por consiguiente de cambios en la estructura y funcionalidad muscular (53) la ECO es la herramienta más útil.



3.3 Consideraciones en el uso de la ecografía

La ECO tiene un error interobservador en función de la experiencia del examinador y presenta un problema derivado de la colocación de la sonda (anisotropía)

Figura 7. Ejemplo de medida de la anchura antero-posterior en el tendón rotuliano a 0,5 cm del polo distal de la rótula mediante ecografía. Fuente: elaboración propia

(121). Sin embargo, en caso de lesión, la imagen ecográfica tiene una fiabilidad superior al 95% en caso de diagnóstico incierto (122). Si bien queda claro la forma de valoración de estructuras tendinosas patológicas, en tendones sanos la medición objetiva es variable. Para la obtención de medidas en la inserción del TR, existen protocolos usados

que estiman que la correcta medición del área transversal debe realizarse 1 cm distal del polo inferior de la rótula y las referencias de medida para el grosor deben realizarse a 0,5 cm distal del polo inferior de la rótula (123, 124). Tanto el uso del Doppler para el TR (59, 124), para el TA (125), para los ángulos de pennación en el VL (48, 126) y en el gemelo interno (GI) (127) existen protocolos definidos y ampliamente usados en distintos estudios para sujetos sanos. Sin embargo, en la estimación de medidas del TA, la variabilidad es mayor. Queda claro que las medidas tomadas entre 2 a 6 cm de la inserción distal del tendón en el calcáneo son relativas a la parte media del tendón, y aquellas tomas por debajo de 2 centímetros distal, son referidas a su parte insercional. (121, 123). Para una mejor visibilización de toda el área del TA, la sonda debe estar inclinada con respecto a tendón, y no totalmente perpendicular. Esta recomendación es debido a la rotación que realiza el tendón antes de insertarse el calcáneo y se denomina por los autores “anchura real” (123)

4 HERRAMIENTAS DE VALORACIÓN USADAS EN ESTE ESTUDIO: TERMOGRAFÍA

4.1 Aspectos generales de la Termografía

La termografía (IRT) es una técnica no invasiva y fácil de usar, aplicada en la detección de cambios subclínicos (128). La IRT ha demostrado tener una buena fiabilidad interexaminador (129). Ha sido aplicada en distintas partes del cuerpo y deportes (130) para detectar cambios en la temperatura corporal (figura 8). Se ha estimado que diferencias de más de 0,6°C entre áreas contralaterales puede ser indicativo de mecanismos patológicos (128). Otro beneficios que aporta la IRT es a posibilidad de usarla en áreas concretas del cuerpo humano y focalizarla en esa zona, denominada Región de Interés (ROI) (131). Varios autores han aplicado esta herramienta, consistente en una cámara de que registra por infrarrojos la temperatura superficial, para determinar la adaptación a la intensidad del ejercicio, puesto que se han observado descensos de la temperatura durante ejercicios de carácter anaeróbico mientras que el ejercicio aeróbico produce un aumento de temperatura (132). Los mecanismos de adaptación que provocan estos cambios en la temperatura están relacionados con una mejor adaptación metabólica, especialmente a nivel de regulación de la sudoración que es más fácil alcanzar en el ejercicio aeróbico (109). Los sujetos no entrenados sufren un aumento de temperatura mayor para una misma actividad

deportiva que los sujetos previamente entrenados. Esta aplicación de la IRT es usada para valorar y comparar también la adaptación que está realizando el sujeto durante el rendimiento deportivo (133).

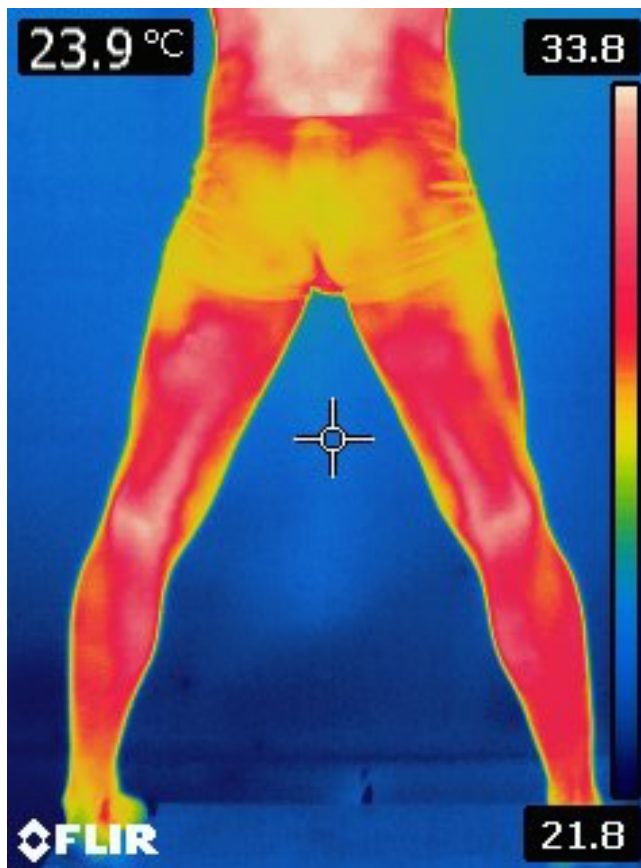


Figura 8. Imagen completa posterior capturada por cámara termográfica. Fuente: elaboración propia

4.2 Valores de referencia usados en Termografía

Los valores de referencia para determinar la temperatura media en basal son los aportados en su estudio por Zaproudina et al. (129). En dicho estudio la temperatura media de la rodilla en basal se considera normal en torno a $29,1(\pm 0,8)^{\circ}\text{C}$, mientras que para el área del TA, la temperatura media basal estimada fue de $25,3 (\pm 2,1)^{\circ}\text{C}$. En cuanto a la temperatura después de ejercicio, Clark et al. (133) midieron un aumento de temperatura en un caso clínico después de realizar 70 minutos de carrera. Similares valores fueron encontrados por Hildebrandt et al. (132) en distintos tipos de ejercicios aeróbicos, con una media de aumento de temperatura en la región de la rodilla de $0,7^{\circ}\text{C}$ inmediatamente después de realizar el ejercicio. En los estudios específicos de Aquiles, Alina et al. (109) midieron diferencias de $0,9^{\circ}\text{C}$ entre ROI contralaterales en el caso de tendinopatía e incluso mayor de 2°C si el tendón afectado presentaba

patología añadida en la bursa o tejidos adyacentes. Las diferencias de temperatura en procesos patológicos se ha hipotetizado que pueda deberse al metabolismo alterado en esa zona (incrementado en proceso inflamatorio o disminuido en procesos cronificados) (132) o en el caso del tendón, en función de la capacidad metabólica de adaptación a la carga (109).

CAPÍTULO 2: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad y sobre todo en el ámbito deportivo y laboral, las lesiones por sobreuso es una de las principales causas de cese en la actividad, bien sea temporalmente o permanentemente. La prevención y tratamiento de estas lesiones suponen un importante foco de atención de todos los profesionales de distintos campos. La creciente inquietud de la población por la práctica deportiva, especialmente el mundo de las carreras populares, en busca de una mejora en la salud y un bienestar completo, ha incrementado la preocupación por este tipo de lesiones a niveles más allá del alto rendimiento.

Las lesiones por sobreuso, especialmente a nivel tendinoso, tienen la ventaja de presentar cambios en el tejido músculo-tendinoso antes de que se desarrollen los síntomas clínicos. Este hecho permite la detección precoz y el desarrollo de intervenciones de prevención. La controversia surge en qué cambios son los más fácilmente detectables, implican desarrollo de patología y no son simplemente adaptaciones al ejercicio. Alteraciones en la morfología del tendón y del músculo así como la formación de nuevos vasos sanguíneos en el tendón parecen ser indicativos de patología. Normalmente, estos cambios son testados bajo una intervención deportiva aislada. Bajo estas condiciones, el análisis en sujetos sanos y a lo largo de varios días de carrera para observar cambios adaptativos que provocan las distintas sollicitaciones de carga se antoja necesario para poder distinguirlos de cambios clínicos.

Unido a este problema, qué tipo de tecnología a nivel coste-beneficio es la más efectiva y el beneficio de los sistemas de prevención más usados, son también un foco de estudio intrínseco a este tipo de investigaciones. A este nivel, el uso de la ecografía como valoración y del ejercicio excéntrico como mecanismo de prevención se han manifestado como las herramientas más usadas por los distintos autores. A partir del uso extendido de ambas técnicas, surge la necesidad de valorar su aplicabilidad y resultados en sujetos sanos, y en intervenciones de varios días de esfuerzo continuos, y comprobar la validez comparada de nuevas técnicas de detección como la Termografía.

Basándonos en estas observaciones nos parece oportuno estudiar los cambios que se producen en la unidad músculo-tendinosa ante sollicitaciones excéntricas y de 3

días de carrera continuos, así como la relación entre ambas solicitudes. Por otro lado, consideramos adecuado el análisis de los métodos de valoración para comprobar las posibilidades de detección que presentan.

CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

- En sujetos sanos el ejercicio aeróbico y el entrenamiento de sobrecarga excéntrica varían de diferente forma las estructuras musculares tendinosas y musculares, así como la temperatura superficial en las estructuras musculotendinosas del tendón rotuliano y tendón de Aquiles.

Objetivo principal:

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es determinar las adaptaciones producidas en el tejido muscular y tendinoso ante la sollicitación de un esfuerzo de 3 días consecutivos de carrera, así como el efecto que el entrenamiento con sobrecarga excéntrica puede provocar previamente y aplicado a los 3 días de carrera, en sujetos sanos, medido por ecografía y termografía

Objetivos secundarios:

- Determinar los cambios provocados en la anchura, área y presencia de nuevos vasos sanguíneos en el tendón rotuliano tras un entrenamiento con sobrecarga excéntrica
- Analizar el comportamiento del ángulo de pennación tras una sollicitación de sobrecarga excéntrica provocado en el vasto lateral del cuádriceps
- Determinar los cambios provocados en la anchura, área y presencia de nuevos vasos sanguíneos en el tendón de Aquiles tras un entrenamiento con sobrecarga excéntrica
- Analizar el comportamiento del ángulo de pennación tras una sollicitación de sobrecarga excéntrica provocado en el gemelo interno del tríceps sural.
- Determinar los cambios provocados en la anchura, área y presencia de nuevos vasos sanguíneos en el tendón rotuliano tras tres días de carrera consecutiva y las diferencias

significativas existentes con sujetos previamente entrenados en sobrecarga excéntrica.

- Analizar el comportamiento del ángulo de pennación provocado en el vasto lateral del cuádriceps tras tres días de carrera consecutiva y las diferencias existentes con sujetos previamente entrenados en sobrecarga excéntrica.
- Determinar los cambios provocados en la anchura, área y presencia de nuevos vasos sanguíneos en el tendón de Aquiles tras tres días de carrera consecutiva y las diferencias existentes con sujetos previamente entrenados en sobrecarga excéntrica.
- Analizar el comportamiento del ángulo de pennación tras tres días de carrera consecutiva y las diferencias existentes con sujetos previamente entrenados en sobrecarga excéntrica, observados en el gemelo interno del tríceps sural
- Determinar los cambios en la temperatura superficial de la piel provocados tras tres días de carrera consecutiva y las diferencias significativas con sujetos previamente entrenados en sobrecarga excéntrica en el tendón rotuliano.
- Determinar los cambios a nivel de valores termográficos provocados tras tres días de carrera consecutiva y las diferencias significativas con sujetos previamente entrenados en sobrecarga excéntrica en el tendón de Aquiles.

CAPÍTULO 4: MARCO EMPÍRICO

Las lesiones por sobreuso es uno de los principales problemas que la práctica deportiva conlleva. Este mecanismo de lesión ha sido investigado por numerosos autores, en búsqueda de los factores que permitan detectarlo precozmente y así facilitar una prevención y tratamiento de la lesión.

En el tendón el tipo de lesión por sobreuso más común son las denominadas tendinopatías, en las cuales, previo a la manifestación de síntomas clínicos, se pueden advertir cambios degenerativos. La detección de estos cambios clínicos es la razón del uso de técnicas como la ecografía o la termografía por infrarrojos. Lo que no es del todo claro qué aspectos de cada una de ellas deben ser tenidos en cuenta como manifestación de la patología o son simplemente adaptaciones fisiológicas a la carga.

Para entender mejor el comportamiento de los tejidos frente a las distintas cargas, es necesario analizar los cambios que cada tipo de actividad provoca en las estructuras musculotendinosas previamente en sujetos sanos. Uno de los tipos de sollicitación que más lesiones por sobreuso reporta es la carrera, cuyas adaptaciones han sido medidas normalmente tras una sollicitación aislada. Por otro lado, el ejercicio excéntrico ha sido ampliamente usado en la prevención y tratamiento de tendinopatías, si bien aunque existen protocolos definidos, la posibilidad de realizarlo mediante una sobrecarga excéntrica es un campo más desconocido.

Para el desarrollo de esta tesis doctoral se han realizado 3 estudios, presentados a revistas de impacto, en el cual se intenta solventar los planteamientos objeto de esta tesis. Los estudios son analizados previamente y presentados en el formato original a las revistas que fueron enviadas

LISTA DE ESTUDIOS

La siguiente memoria de tesis está compuesta por los siguientes estudios:

ESTUDIO I

FERNANDO SANZ-LÓPEZ, ANTONIO MARTÍNEZ-AMAT, FIDEL HITA-
CONTRERAS, CARLOS VALERO DEL CAMPO, CÉSAR BERZOSA SÁNCHEZ
**ASSESSMENTS OF ECCENTRIC OVERLOAD TRAINING WITHIN 3 DAYS
OF RUN USING THERMOGRAPHY**

The Journal of Strength and Conditioning Research: ACEPTADO

ESTUDIO II

FERNANDO SANZ-LÓPEZ, CÉSAR BERZOSA SÁNCHEZ, FIDEL HITA-
CONTRERAS, ANTONIO MARTÍNEZ-AMAT
**ULTRASOUND CHANGES IN ACHILLES TENDON AND GASTROCNEMIUS
MEDIALIS MUSCLE ON SQUAT ECCENTRIC OVERLOAD AND RUNNING
PERFORMANCE**

The Journal of Strength and Conditioning Research: SOMETIDO

ESTUDIO III

FERNANDO SANZ-LÓPEZ, CÉSAR BERZOSA SÁNCHEZ, FIDEL HITA-
CONTRERAS, ANTONIO MARTÍNEZ-AMAT
**ULTRASOUND ANALYSIS OF ECCENTRIC OVERLOAD TRAINING
WITHIN 3 DAYS OF RUN IN PATELLAR TENDON AND VASTUS
LATERALIS MUSCLE**

British Journal of Sports Medicine: SOMETIDO

CAPÍTULO 5: MATERIAL Y MÉTODOS

Todos los estudios que componen la presente tesis fueron aprobados por el Comité de Ética CEICA de Aragón.

El diseño de la presente tesis se describe a continuación. Las valoraciones realizadas en cada uno de los estudios, así como la metodología estadística se encuentran descritos en los artículos tal cual han sido realizados.

Sujetos:

A todos los sujetos se les explicó por escrito y verbalmente en qué consistía el experimento y firmaron un consentimiento informado, accediendo a participar en él de manera libre y voluntaria.

Veinte sujetos cumplieron los criterios de inclusión y fueron randomizados en 2 grupos con un n=10 (10 control, 10 entrenamiento excéntrico)

Intervenciones:

Carrera 3 días consecutivos: todos los sujetos realizan un ejercicio agudo aeróbico (carrera) durante 60' a intensidad submáxima (80% Frecuencia Cardíaca Máxima (FCM)), medido por pulsómetro. Se cuantificará la distancia recorrida. Tras 24h y 48h se repite la prueba.

Entrenamiento de sobrecarga excéntrica: En el grupo de intervención con entrenamiento excéntrico, se realizó un protocolo de ejercicio con sobrecarga excéntrica en maquina Yo-Yo squat (YoYo Technology AB) durante 6 semanas, 2 días a la semana, que finalizó una semana antes de la prueba

Termografía: Para realizar las medidas termográficas. Las imágenes se tomarán, en cada día de carrera, antes de realizar la intervención, inmediatamente después y a los 10 minutos de finalizar la carrera. El tipo de cámara a utilizar es una FLIR T400bx y se analizarán con el software proporcionado con el sistema. Se tomarán varias imágenes de

extremidad inferior para cada sujeto identificando las áreas de interés para el TR y el TA. Se harán imágenes en plano frontal desde vista anterior y posterior.

Ecografía Tendón Rotuliano/Vasto Lateral: Mediante ecografía se valorará bilateralmente la anchura del TR, a 0,5 cm del polo inferior de la rótula, área transversal a 1 cm del polo inferior así como la existencia de neovasos sanguíneos medido por color Doppler. En el VL del cuádriceps se medirá el ángulo de pennación entre sus fibras.

Las mediciones se llevarán a cabo antes del primer día de carrera y a los 10 minutos, tras termografía, de finalizar cada día de carrera para todos los participantes. En el grupo excéntrico se realizará una medición previa y otra posterior al entrenamiento excéntrico. El ecógrafo utilizado para todas estas mediciones es LOGIQ S7 Expert/Pro de General Electric, Solingen GERMANY con sonda lineal de 5-12 MHz.

Ecografía Tendón Aquiles/Gemelo Interno: Mediante ECO se valorará bilateralmente la anchura del TA a 1 y 3 cm de su inserción distal en el Calcáneo, área transversal a 1 y 3 cm de su inserción distal en el Calcáneo así como la existencia de neovasos sanguíneos medido por color Doppler. En el GI se medirá el ángulo de pennación entre sus fibras.

Las mediciones se llevarán a cabo antes del primer día de carrera y a los 10 minutos, tras termografía, de finalizar cada día de carrera para todos los participantes. En el grupo excéntrico se realizará una medición previa y otra posterior al entrenamiento excéntrico. El ecógrafo utilizado para todas estas mediciones es LOGIQ S7 Expert/Pro de General Electric, Solingen GERMANY con sonda lineal de 5-12 MHz.

Estudio I: ASSESSMENTS OF ECCENTRIC OVERLOAD TRAINING WITHIN 3 DAYS OF RUN USING THERMOGRAPHY

Determinación mediante IRT a todos los grupos de la temperatura de las ROI para el TR y el TA. Las imágenes fueron tomadas en cada día de carrera, antes de realizar la intervención, inmediatamente después y a los 10 minutos de finalizar la carrera. El tipo de cámara utilizada fue FLIR T400bx y analizadas con el software proporcionado con el sistema. Todas las mediciones e intervenciones realizadas en la Universidad San Jorge.

Estudio II: ULTRASOUND CHANGES IN ACHILLES TENDON AND GASTROCNEMIUS MEDIALIS MUSCLE ON SQUAT ECCENTRIC OVERLOAD AND RUNNING PERFORMANCE

Medición mediante ecografía en ambos grupos de la anchura del TA a 1 y 3 cm de su inserción distal en el Calcáneo, área transversal a 1 y 3 cm de su inserción distal en el calcáneo así como la existencia de neovasos sanguíneos medido por color Doppler.. En el GI medición del ángulo de pennación entre sus fibras. Todas las mediciones e intervenciones realizadas en la Universidad San Jorge.

Estudio III:

ULTRASOUND ANALYSIS OF ECCENTRIC OVERLOAD TRAINING WITHIN 3 DAYS OF RUN IN PATELLAR TENDON AND VASTUS LATERALIS MUSCLE

Determinación mediante ECO en ambos grupos de las medidas en la anchura del TR, a 0,5 cm del polo inferior de la rótula, área transversal a 1 cm del polo inferior así como la existencia de neovasos sanguíneos medido por color Doppler. En el VL del cuádriceps se medirá el ángulo de pennación entre sus fibras. Todas las mediciones e intervenciones realizadas en la Universidad San Jorge.

Estudio	I ASSESSMENTS OF ECCENTRIC OVERLOAD TRAINING WITHIN 3 DAYS OF RUN USING THERMOGRAPHY
Diseño	EC
Sujetos	<p>20 sujetos superan los criterios de elección y firman el consentimiento informado.</p> <p>-Grupo Control (n=10)</p> <p>-Grupo Excéntrico (n=10). 1 pérdida en el proceso (n=9)</p>
Intervención	<p>-Grupo Control: 3 días de carrera consecutivos durante 60' a intensidad submáxima (80% FCM)</p> <p>-Grupo Excéntrico: entrenamiento de ejercicio con sobrecarga excéntrica en maquina Yo-Yo squat (4 series de 7 repeticiones al 80% 1RM) 6 semanas, 2 días a la semana, finalizado una semana antes de los 3 días de carrera consecutivos durante 60' a intensidad submáxima (80% FCM)</p>
Variables	<p>-Temperatura media del ROI del TR.</p> <p>-Temperatura media del ROI del TA.</p>
Método	<p>- El tipo de cámara termográfica utilizada fue FLIR T400bx y analizadas con el software proporcionado con el sistema.</p> <p>- Las imágenes fueron tomadas en cada día de carrera, antes de realizar la intervención, inmediatamente después y a los 10 minutos de finalizar la carrera.</p>

Estudio	II ULTRASOUND CHANGES IN ACHILLES TENDON AND GASTROCNEMIUS MEDIALIS MUSCLE ON SQUAT ECCENTRIC OVERLOAD AND RUNNING PERFORMANCE
Diseño	EC
Sujetos	20 sujetos superan los criterios de elección y firman el consentimiento informado. -Grupo Control (n=10) -Grupo Excéntrico (n=10). 1 pérdida en el proceso (n=9)
Intervención	-Grupo Control: 3 días de carrera consecutivos durante 60' a intensidad submáxima (80% FCM) -Grupo Excéntrico: entrenamiento de ejercicio con sobrecarga excéntrica en maquina Yo-Yo squat (4 series de 7 repeticiones al 80% 1RM) 6 semanas, 2 días a la semana, finalizado una semana antes de los 3 días de carrera consecutivos durante 60' a intensidad submáxima (80% FCM)
Variables	-Anchura del TA, a 1 y 3 cm de su inserción distal en el Calcáneo. -Área transversal del TA a 1 y 3 cm de su inserción distal en el Calcáneo -Aparición de neovasos sanguíneos en el interior del tendón (Porcentaje). -Ángulo de pennación en el GI del Tríceps Sural.
Método	El ecógrafo utilizado para todas esta mediciones es LOGIQ S7 Expert/Pro de General Electric, Solingen <i>GERMANY</i> con sonda lineal de 5-12 MHz. Se usó el Color Doppler provisto en el ecógrafo y el análisis de los datos se realizará con el software del propio ecógrafo.

Estudio	III ULTRASOUND ANALYSIS OF ECCENTRIC OVERLOAD TRAINING WITHIN 3 DAYS OF RUN IN PATELLAR TENDON AND VASTUS LATERALIS MUSCLE
Diseño	EC
Sujetos	20 sujetos superan los criterios de elección y firman el consentimiento informado. -Grupo Control (n=10) -Grupo Excéntrico (n=10). 1 pérdida en el proceso (n=9)
Intervención	-Grupo Control: 3 días de carrera consecutivos durante 60' a intensidad submáxima (80% FCM) -Grupo Excéntrico: entrenamiento de ejercicio con sobrecarga excéntrica en maquina Yo-Yo squat 6 semanas(4 series de 7 repeticiones al 80% 1RM), 2 días a la semana, finalizado una semana antes de los 3 días de carrera consecutivos durante 60' a intensidad submáxima (80% FCM)
VARIABLES	-Anchura del TR, a 0,5 cm del polo inferior de la rótula. -Área transversal del TR a 1 cm del polo inferior . -Aparición de neovasos sanguíneos en el interior del tendón (Porcentaje). -Ángulo de pennación en el VL.
Método	El ecógrafo utilizado para todas esta mediciones es LOGIQ S7 Expert/Pro de General Electric, Solingen GERMANY con sonda lineal de 5-12 MHz. Se usó el Color Doppler provisto en el ecógrafo y el análisis de los datos se realizará con el software del propio ecógrafo.

CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Material y Métodos específicos así como los resultados y la discusión de la presente tesis se exponen en los estudios tal cual han sido enviados en formato artículo a las diferentes publicaciones.

Estudio 1

Assessments of eccentric overload training within 3 days of run using thermography

METHODS

Experimental Approach to the Problem

A controlled trial was carried out from April to June 2014 was conducted to assess the effects of the eccentric training in tendon tissues (Patellar and Achilles) on running. One group of participants voluntarily performed a 6 weeks training with flywheel (YoYo Squat). These eccentric overload training was finished 1 week prior the running intervention. All participants performed a 1-hour running exercise for three consecutive days. The running intervention was performed at 80% Maximal Heart Rate of each participant, controlled by heart rate monitor. Infrared thermography imaging was used to assess changes in the tendon. Thermographic data was acquired just before, after and ten minutes after the running intervention. Participants were not allowed to performance any other exercise during the study.

Subjects

40 patellar tendons and 40 Achilles tendons from 20 male volunteers of University San Jorge (Spain) were analysed in our study (Age 22.79 ± 4.21 , weight 72.57 ± 6.73 , height 179.77 ± 7.88 , BMI 22.7 ± 2.1 , mean \pm SD). All participants reported to perform more than 3 days per week of sports activities. Any of the participants had trained with eccentric exercises before. Participants with 2 years history of lower limb pathologies were excluded. Not being able to complete the eccentric training or the running intervention was considered excluded. The study was conducted in adherence to the standards of the Declaration of Helsinki (2008 version) and following the European Community's guidelines for Good Clinical Practice (111/3976/88 of July 1990) and the Spanish legal framework for clinical research on humans (Real Decreto 561/1993 on clinical trials). The protocol was approved by CEICA (Ethics Committee of Clinical Research of Aragon, Spain) CP08/2014 and all participants provided written informed consent prior to participating in the study.

Participants were divided in 2 Groups, 1 control group (CONT, n=40 tendons, 10

subjects) and 1 eccentric group (ECC n=40 tendons, 10 subjects). Participants in ECC group were those who accepted voluntarily to perform the eccentric overload training previously to the running intervention. (Figure 1) This eccentric overload training was performed with squat movements, in order to focus the load and adaptations in Patellar tendon. Achilles Tendon of this ECC group was measured also to compare the differences with Patellar tendons in ECC and CONT group and to compare the differences with Achilles tendon in CONT group.

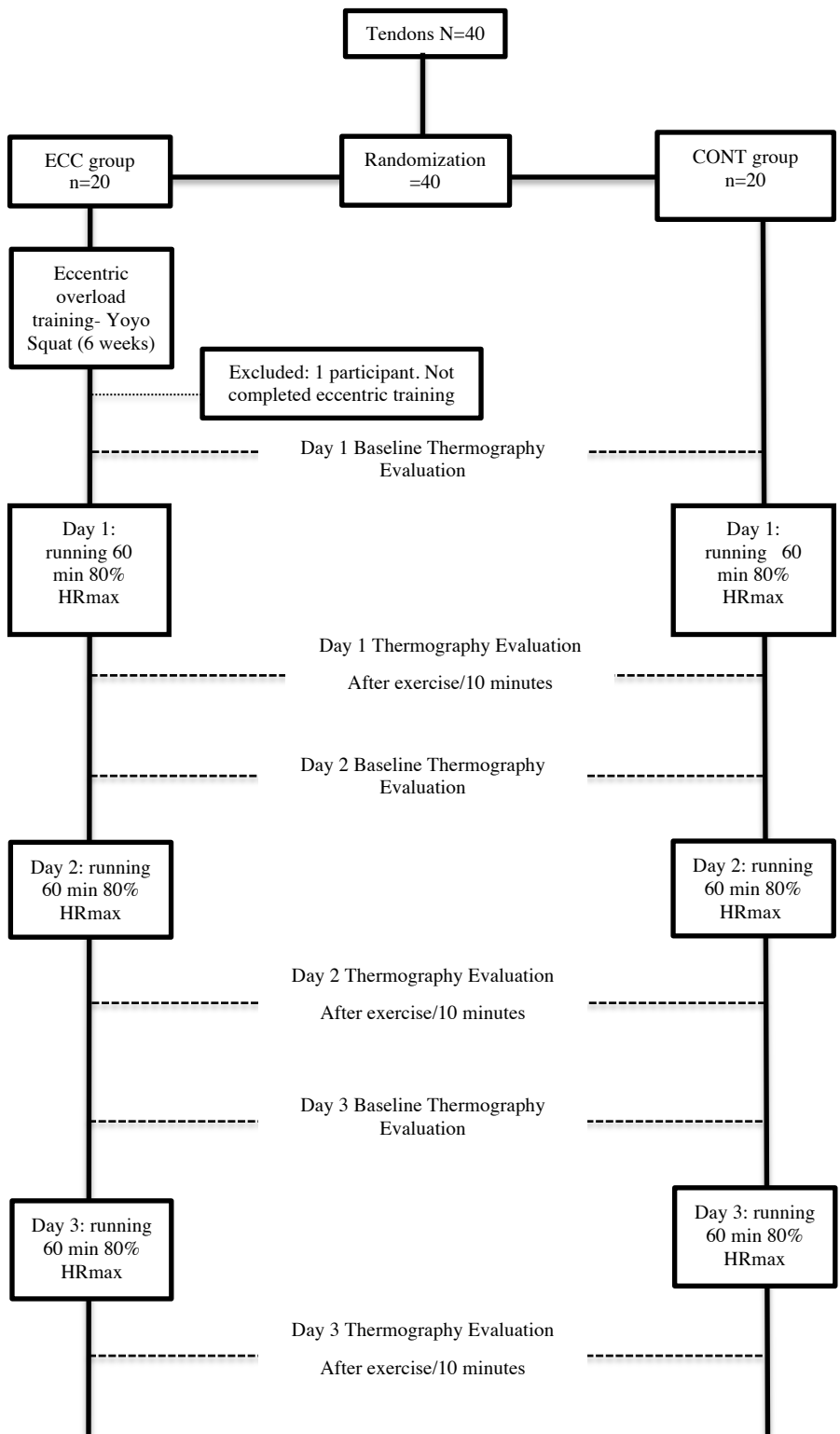


Figure 1. Flow Chart trial design. Eccentric Overload group (ECC). Control Group (CONT). Maximal Heart Rate (HRmax)

Procedures

Analysed n=40

Eccentric Overload Training

Participants in ECC group were training during 6 weeks, 2 days per week by YoYo Squat (YoYo Technology AB, Sweden), following the protocol proposed by Norrbrand et al. (105). 1 previous session to make contact with the flywheel device and to obtain one repetition maximum of each participant was made. Each training session consisted of 4 sets of 7 repetitions interspersed by 2 min between-set rest periods. Every session was preceded by a standardized warm-up, which included 5' of jogging and dynamic stretches. After warming up, subjects rested 5 minutes before starting the training session. One 2.7 kg flywheel ($0.07 \text{ kg} \times \text{m}^2$ moment inertia) in the Yoyo Squat device was used (Figure 2). Similarly, the concentric phase was performed as fast as possible whereas the eccentric phase was executed at slower velocity (2 seconds). Due to the squatting depth influences the acute and chronic responses (134), the range of motion (ROM) was matched in each exercise (i.e. until the thighs are in parallel to the floor). The same percentage of load for all participants of the exercise was controlled by lineal encoder (SmartCoach Europe AB – Sweden). 1 experienced investigator controlled the whole training.

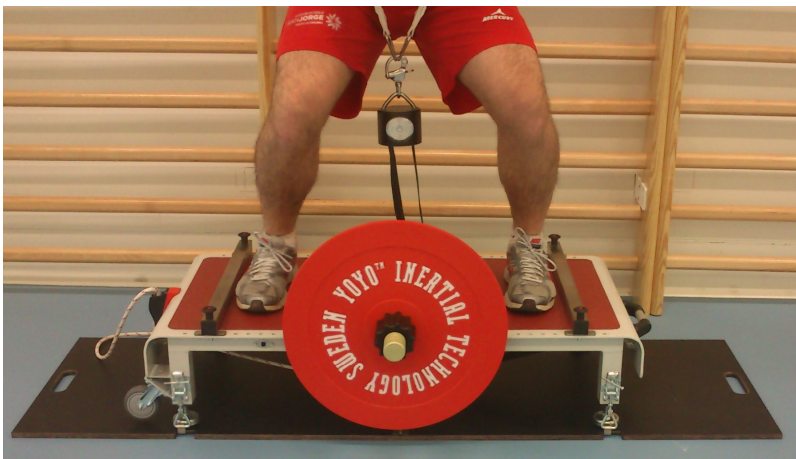


Figure 2. YoYo Squat

Running intervention

CONT and ECC groups performed 3 consecutive days of running. The procedure consisted in 1 hour of running. Participants ran at 80% of their Maximal Heart Rate, measured by Polar Heart Rate Monitor RS300X (Polar Electro Ibérica, Spain). 1 investigator controlled the intensity of whole training. The surface was the same for all the participants, around a grass soccer field. At 30 minutes of running, the direction of the race was advice to change. All participants did not make any other physical activities the day before and during the study.

Thermography Outcomes

Thermography had shown a good inter-examiner reliability (ICC=0.96 in knee, ICC=0.99 in heel (129)). Thermographic evaluation was performed in the same room for all the groups. The room temperature was checked to be always at 21°C, with a humidity of 60%. The average outside temperature was 19°C for the CONT group and 20.5°C for the ECC group. During all thermographic measurement process, participants stayed underwear and they were not allowed to sit down.

The type of device used was a thermo-infrared camera (FLIR Thermacam E60, FLIR systems, Boston, MA, USA). Images in frontal plane were made from anterior and posterior view. Baseline 1 images were obtained just before the first intervention of running. Baseline 2 images were obtained immediately prior to the second day of running and Baseline 3 images were obtained just before the third consecutive day of running. After finishing running protocol, 3 images just after and 3 images 10 minutes later of ending were obtained in each consecutive day. During all measurement process, participants stayed underwear and it was not allowed them to sit down. All the thermographic imaging was obtained with participants over a step to avoid the contact with the floor. The distance from the camera to the subjects was 2.5 meters. All the limbs had to be seen on the screen to take the images (Figure 3). Means for Patellar and Achilles tendons ROI were selected and analysed with software provided with the system (FLIRTools-Software; FLIR). It was assumed that the emissivity of the skin was

0.98 for all subjects (135). The study was conducted according to the guidelines of the American Academy of Thermography (136). Images were obtained for 1 only investigator, training in Thermography devices.

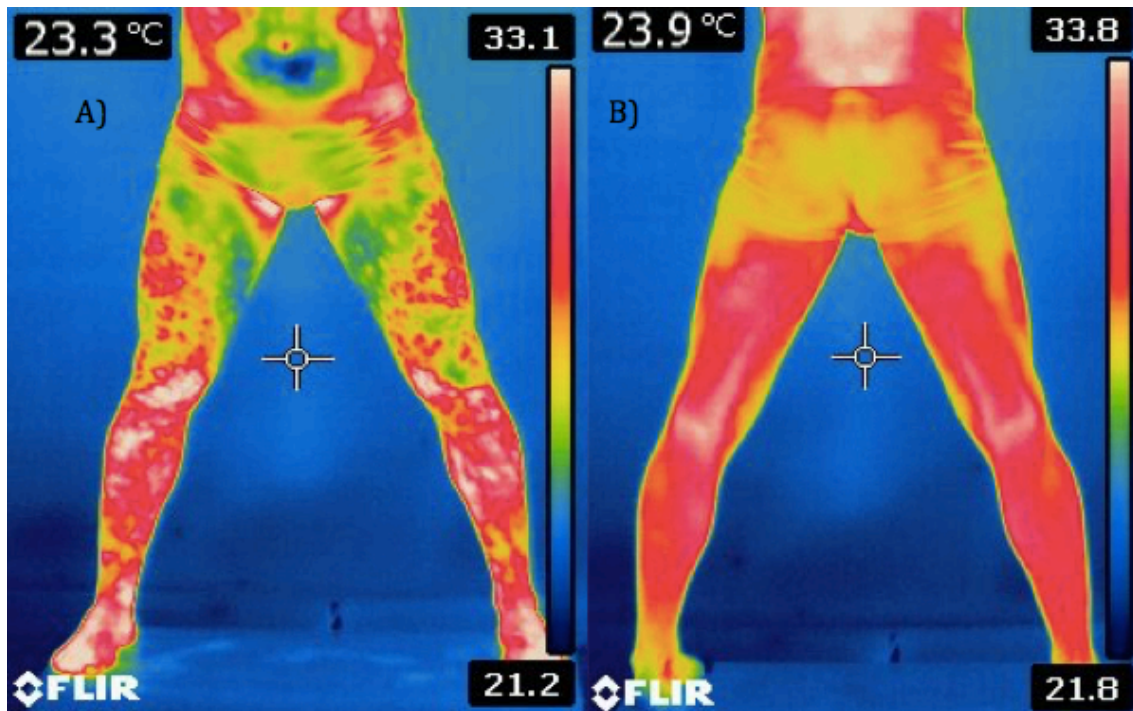


Figure 3. Examples of Infrared Thermography. A) Anterior view. B) Posterior view

Statistical analysis

Mean and standard deviation (SD) were calculated for all the images of Thermography on each of the days of the study. A Shapiro–Wilk test was performed to test for normality of distribution. Baselines 1 difference between ECC and CONT were compared by Student's t test. Normally distributed data were analysed using ANOVA test. Post hoc by pairs was made through Bonferroni adjustment. Non-normalized data were analysed by Kruskal-Wallis test. Post hoc by pairs was made through Dunn's Multiple Comparison Test adjustment. Significance was set at $p < 0.05$. All analyses were conducted using statistical package, GraphPad Prism V 5.0 (GraphPad Software, Inc., La Jolla, USA)

RESULTS

Just one participant did not complete the eccentric training. Anybody of the remaining 19 participants was noted to have had current or history of lower limb injuries in the lasts 2 years. All participants were currently asymptomatic and were not taking any medication or interventions that may have had a systemic effect. Pairwise adjustment showed statistically significant differences in Baseline 1 between ECC and CONT in Patellar tendon. Also in Baseline 1 statistically significant differences were analysed between ECC and CONT in Achilles tendon.

Patellar Tendon Thermography

ECC group measured just after the running intervention showed significantly different values ($p = 0.0049$). No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were measured. Pairwise adjustment did not show statistically significant changes. ECC group measured 10 minutes after the running intervention showed significant statistics values ($p < 0.001$) No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were measured. Pairwise adjustment showed significance statistical changes for all the baselines after the first and third day of running ($p < 0.05$). (Table 1)

Table 1. Patellar Tendon ROI. Mean (SD) in CONT and ECC Groups in each Outcome.

(Over the 3 days of running)

Running Day	Outcome	CONT (n=20) (median (SD))		ECC (n=18) (median (SD))	
		Right	Left	Right	Left
1	Baseline 1	29.87 (0.75)	29.86 (0.71)	30.92(0.82)	30.83(0.85)
	Just After Running	30.98 (1.76)	30.78 (1.57)	31.03(1.68)	31.12(1.68)
	10 minutes - After Running	31.54 (1.46)	31.17 (1.29)	31.73(1.27)*†‡	31.65(1.44)*†‡
2	Baseline 2	30.2 (1.04)	30.13 (0.97)	30.85(0.66)	30.76(0.59)
	Just After Running	31.06 (1.97)	31.09 (1.87)	31.77(1.02)	31.93(1.01)
	10 minutes - After Running	31.19 (1.6)	31.15 (1.47)	31.91(0.79)	32.00(0.99)
3	Baseline 3	30.01 (1.03)	30.04 (0.93)	30.8(0.79)	30.74(0.59)
	Just After Running	31.42 (1.65)	31.42 (1.56)	32.16(1.27)	32.14(1.35)
	10 minutes - After Running	31.73 (1.82)	31.65 (1.68)	32.71(0.91)*†‡	32.64(0.82)*†‡

SD = standard Deviation. ROI = region of interest; CONT = control group; ECC =

eccentric overload group.

* Significant differences relative to Baseline 1.

† significant difference relative to Baseline 2.

‡ significant difference relative to Baseline 3.

CONT group did not show significant differences ($p=0.0927$) measured just after the running intervention. No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were measured. Pairwise adjustment did not show statistically significant changes. Significant different values were determined in CONT group ($p=0.0032$) measured 10 minutes after the running intervention. No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were found. Pairwise adjustment did not show statistically significant changes. (Table 1) Changes in both

sides for the ECC group measured just after the running intervention in Day 1 showed the less values of change in comparison with the rest of the groups. (Figure 3)

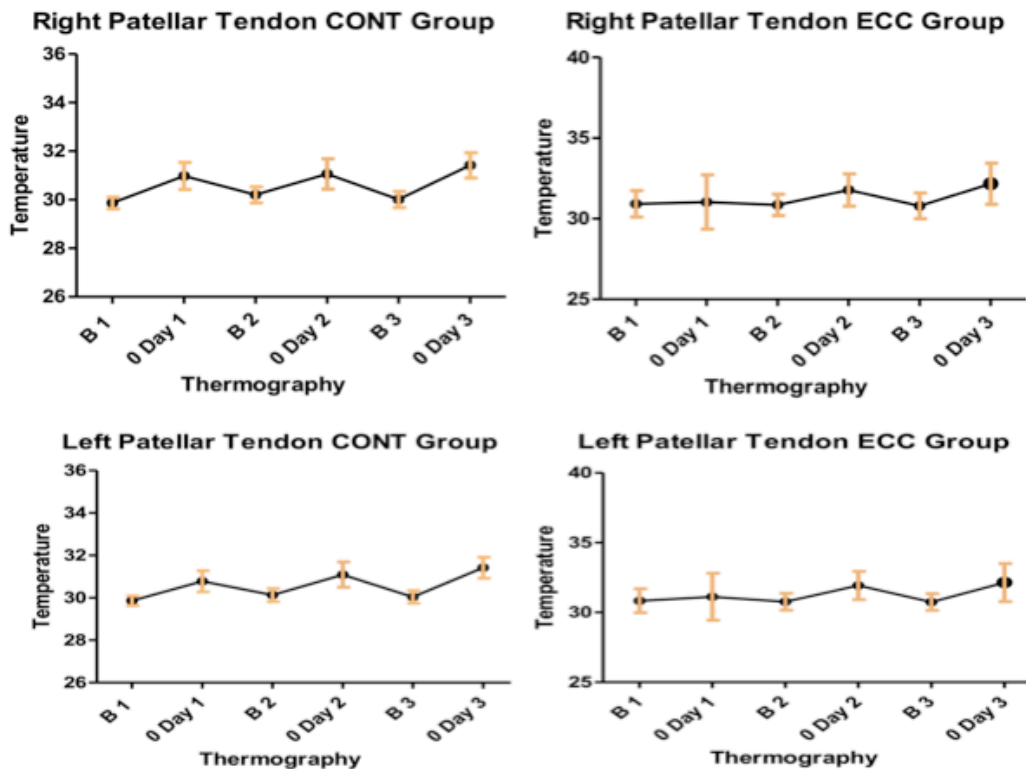


Figure 4. Mean and Standard Deviation. Right and Left Patellar Tendon Thermography. B: Baseline. 0 Day: Data obtained just after running intervention.

Achilles Tendon Thermography

ECC group measured just after the running intervention showed statistically significant values ($p < 0.001$). No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were measured. Pairwise adjustment showed significant statistical changes ($p < 0.05$) respect to Baseline 1 in the left side in Day 2 and 3 of running. Pairwise adjustment showed also statistically significant changes ($p < 0.05$) respect to Baseline 2 and 3 in the both sides in all days of running. ECC group measured 10 minutes after the running intervention showed statistically significant changes ($p < 0.001$) No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were determined. Pairwise adjustment showed statistically significant changes comparing all the baselines in the left side after the first day of running ($p < 0.05$). Adjustment by pairs showed also statistically significant changes ($p < 0.05$)

respect to Baseline 2 and 3 in the both sides in the first day of running. The same significant change was detected for the Right side in Day 3. (Table 2)

Table 2. Achilles Tendon ROI. Mean (SD) in CONT and ECC Groups in each outcome.

(Over the 3 days of running).

Running Day	Outcome	CONT (n=20) (median (SD))		ECC (n=18) (median (SD))	
		Right	Left	Right	Left
1	Baseline 1	29.50 (1.13)	29.45 (1.03)	31.50(0.58)	31.23(0.52)
	Just After Running	31.37 (0.85)*F‡	31.10 (1.05)*F‡	32.26(0.85)F‡	32.21(0.48)F‡
	10 minutes - After Running	31.10 (1.05)	31.02 (0.94)	32.60(0.58)F‡	32.63(0.57)*F‡
2	Baseline 2	29.71 (0.79)	29.58 (0.78)	30.86(0.61)	30.80(0.61)
	Just After Running	31.30 (0.90)*F	31.25 (0.78)*F	32.34(0.83)F‡	32.46(0.85)*F‡
	10 minutes - After Running	30.60 (0.99)	30.50 (0.98)	32.06(0.60)	32.13(0.53)
3	Baseline 3	29.49 (1.71)	29.66 (1.05)	30.76(0.62)	30.86(0.74)
	Just After Running	32.11 (1.15)*F	31.97 (1.18)*F	32.56(0.82)F‡	32.54(0.67)*F‡
	10 minutes - After Running	31.09 (1.48)	31.15 (1.48)*	32.18(0.58)F‡	32.19(0.40)

SD = standard Deviation. ROI = region of interest; CONT = control group; ECC = eccentric overload group.

* Significant differences relative to Baseline 1.

F significant difference relative to Baseline 2.

‡ significant difference relative to Baseline 3.

Statistically significant variations were obtained in CONT group ($p<0.001$) measured just after the running intervention. No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were measured. Pairwise adjustment showed statistically significant changes ($p<0.05$) respect to Baseline 1 in the both sides in the first day of running. Statistically significant changes ($p<0.05$) respect to Baseline 1 and 2 in the both sides in days 2 and 3 of running were also found. Significant changes were determined in CONT group ($p<0.001$) measured 10 minutes after the running intervention. No differences higher than 0.6°C compared with the contralateral leg in each evaluation were measured. Pairwise adjustment showed only statistically

significant changes in left sides for the Day 3 of running in relationship with the Baseline 1. (Table 2)

DISCUSSION

As far as we know, this research is the first that analyse the effect of eccentric overload training in 3 consecutives days of running. This study demonstrated a different behaviour in patellar tendon between participants trained by overload eccentric exercise and untrained, after 3 consecutive days of 1 hour running. The main difference is related to the thermography adaptation in the first day of running. Furthermore, our study provides infrared thermography data based on samples, while most studies consulted presented isolated clinical cases. Our study provides an innovation in the research of structural changes, because try to find the effect of a long-term eccentric training in a short-term and within 3 days of a sport intervention.

Thermography have shown a good effectiveness and its use is justified by some authors (131, 132). In our study, thermography in patellar tendon did not show statistically different behaviour between groups. Significant changes between ECC and CONT baselines were observed, with similar values of difference in all the steps, included Achilles. Any contralateral change of temperature higher than 0.6°C was detected. It could mean pathological adaptations. After every day of running, the temperature in both group increase more than 0.7°C , except for the ECC groups the first day of running. The Baseline results are similar to those found by Zaproudina *et al.* (129). These authors found average values in the knee about $29.1(\pm 0.8)^{\circ}\text{C}$, as in our study. For detection of pathology, different studies found that the difference in temperature above 0.5 to 0.6°C between contralateral limbs areas is considered a predisposing factor for developing injury (128, 131). In the temperature behaviour after exercise, Clark *et al.* (133) shown an increase in temperature observed after performing 70 minutes of running. This was corroborated by Hildebrandt *et al.* (132) for aerobic exercise, which recorded a temperature increase on the knee of 0.7°C immediately after aerobic exercise. These values are similar to our data. However, the ECC group in the first day of running did not show the same values. It was a very small increase in the temperature in right and left patellar tendons. This could be associated to a lower level of

metabolism activity (132) or a better adaptation of the tendon to the load (109).

For the Achilles tendon thermography, no significant difference in contralateral limbs was observed. It was appreciated significant changes between ECC and CONT baselines, with similar values of difference in all the steps, included Patellar. A similar temperature increases without significant changes were observed in all groups. In our study, higher values were observed than those found at baseline, 25.3 (± 2.1) °C, by Zaproudina *et al.* (129). Specific to Achilles, Alina *et al.* (109) found variations of 0.9 °C in the case of tendinopathy and more than 2 °C if the affected tendon have also alterations in the bursa or adjacent tissues. This similar behaviour in the Achilles tendon in the ECC group suggest the fact that the squat kinematics have not a clear effect on Achilles tendon.

Based on the results observed in thermography, ECC exercise group had better initial adaptation to running protocol. The remaining running days have not shown significant changes. Eccentric exercise had shown widely good results for treatment and prevention in patellar tendinosis injuries (93, 94, 97). Painful eccentric decline single leg exercises is the most used exercise (98). The duration of training is an average of 12-15 weeks in different studies (98, 117, 124). Eccentric overload investigations show adaptations in tendon and muscle in less time (137, 138). Eccentric overload is also used in samples like elderly people (91) or chronic stroke patients (106) in order to cause less damage and higher force production with lower energy cost. It is no clear the beneficial mechanism of eccentric overload. More load and velocity in the eccentric phase of the movement could increase higher levels of peritendinous type I collagen synthesis (107) in tendon. The muscular response after eccentric overload showed in a number of studies several improves in the strength and performance of muscles. The study from Friedman *et al.* (108) explain that higher intramuscular pressure due to the higher tension during the eccentric phase probably impedes more blood flow. This fact possibly leading to enhanced hypoxia, which could induce different adaptations in gene expression pattern in tendon and muscles. These facts could explain our results, in order to need less metabolic adaptation in the first day running day, but not enough for the following days.

It can be concluded that eccentric overload training causes different adaptation in the

tendon tissues, if the training movement is focus on it. This change provided a better behaviour to tolerate new effort in healthy participants but not show high differences in the rest of the running intervention.

PRACTICAL APPLICATIONS

From a practical point of view, it must be considered that a six-weeks eccentric overload program with flywheel devices enhances the response of the Patellar tendon tissues related to improve the metabolic adaptation in the first day of running. This study shows that, compared with a non-eccentric-trained group of participants, the eccentric overload training provided positive changes related to infrared thermography outcomes. This study also indicates that this training may be important in provide optimal adaptations in the patellar tendon tissues in less time than another eccentric training without overload phase. Despite the beneficial effects of the eccentric overload programs have not been effective for the second and third day of running and also for the Achilles tendon, we recommended taking into account this kind of programs as training in order to avoid injuries and improve the quality in Patellar tendon structures. In addition, infrared thermography is a tool that should be used to assess, in a fast and easy way, the effects of the exercise.

ESTUDIO 2

**ULTRASOUND CHANGES IN ACHILLES TENDON AND GASTROCNEMIUS
MEDIALIS MUSCLE ON SQUAT ECCENTRIC OVERLOAD AND RUNNING
PERFORMANCE**

Materials and Methods

Subjects

40 Achilles tendons and 40 Gastrocnemius Medialis muscles from 20 male volunteers were analysed in our study (age 22.79 ± 4.21 years, weight 72.57 ± 6.73 kg, height 179.77 ± 7.88 cm, BMI 22.7 ± 2.1 , mean \pm SD). All participants were recruited from the university student population and gave written informed consent prior to participating in the study. All participants reported to perform more than 3 days per week of sports activities. Any of the participants had trained with eccentric exercises before. Participants with 2 years history of lower limb pathologies were excluded. Not being able to complete the eccentric training or the running intervention was considered excluded. The study was conducted in adherence to the standards of the Declaration of Helsinki (2008 version) and following the European Community's guidelines for Good Clinical Practice (111/3976/88 of July 1990) as well the Spanish legal framework for clinical research on humans (Real Decreto 561/1993 on clinical trials). The protocol was approved by CEICA (Ethics Committee of Clinical Research of Aragón, Spain). N°: CP09/2015

Study design and procedure

A controlled trial was conducted to assess the effects of eccentric training on Achilles tendon tissues when running. Participants were divided in 2 Groups, 1 control group (CONT, n=20 tendons, 10 subjects) and 1 eccentric group (ECC n=20 tendons, 10 subjects). Participants in ECC group were those who accepted voluntarily to perform the training. The ECC group of participants voluntarily performed a six-week training program with a flywheel (YoYo Squat). The eccentric overload training was finished one week before the beginning of the running intervention. All participants performed a one-hour running session for three consecutive days. The running intervention was performed at 80% maximal heart rate, which was controlled using a heart rate monitor. Ultrasound imaging was used to assess changes in the tendon, before and after the eccentric training and during the running intervention. Distance running for each

participant was measured. Participants were not allowed to perform any other exercise during the length of the study.

Eccentric overload training

Participants in ECC group were training during 6 weeks, 2 days per week by YoYo squat (YoYo Technology AB, Sweden), following the protocol proposed by Norrbrand et al. (105). 1 previous session to make contact with the flywheel device and to obtain 1RM of each participant was made. Each training session consisted of 4 sets of 7 repetitions interspersed by 2 min between-set rest periods. Every session was preceded by a standardized warm-up, which included 5' of jogging and dynamic stretches. After warming up, subjects rested 5 minutes before starting the training session. One 2.7 kg flywheel ($0.07 \text{ kg} \times \text{m}^2$ moment inertia) in the Yoyo Squat device was utilized (Figure 1). Similarly, the concentric phase was performed as fast as possible whereas the eccentric phase was executed at slower velocity (~ 2 seconds). Due to the squatting depth influences in the acute and chronic responses (134), the range of motion (ROM) was matched in each exercise (i.e. until the thighs are in parallel to the floor). The same percentage of load for all participants of the exercise was controlled by lineal encoder (SmartCoach Europe AB – Sweden). 1 investigator controlled the whole training.

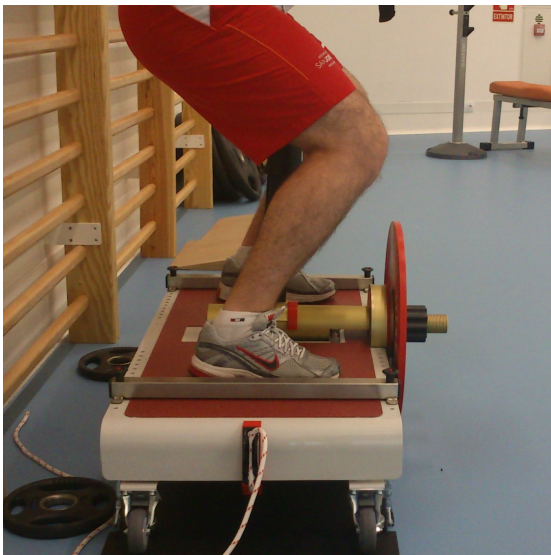


Figure 1 YoYo Squat

Running intervention

CONT and ECC groups performed 3 consecutive days of running. The procedure consisted in 1 hour of running. Participants ran at 80% of their Maximal Heart Rate, measured by Polar Heart Rate Monitor RS300X (Polar Electro Ibérica, Spain). 1 investigator controlled the intensity of whole training. The surface was the same for all the participants, around a grass soccer field. At 30 minutes of running, the direction of the race was advice to change. All participants did not make any other physical activities the day before and during the study.

Ultrasound outcomes

Achilles tendon images and images of the Pennation Angle from Gastrocnemius Medialis were obtained. A linear transducer with a central frequency of 15 MHz, sampling frequency of 70 Hz and standardized image settings (depth 30 mm, gain 50%, dynamic range 66 dB, map A/0) with colour Doppler option (LOGIQ S7 Expert/Pro, General Electric, Solingen GERMANY) was used. Skin marks with dermographic pen were made and checked in every measure. Coupling gel was applied between skin and transducer to optimise contact prior to scanning the different areas. Participants were laying prone on an examination table with the feet hanging over the edge of the table in a 90° position and shins slightly elevated by an experience radiologist. A single investigator who has 3 years experience in Ultrasound obtained all scans

CSA images were obtained with the transducer placed transversal to the Achilles tendon, 1 cm (*CSA measured 1 cm* group) and 3 cm (*CSA measured 3 cm* group) proximal from the proximal margin of calcaneal tubercle (Achilles tendon insertion site), previously measured. AP Thickness was measured with the transducer placed longitudinal to the tendon. References to measure the width of the tendon were obtained into the image at 1 cm (*AP Thickness measured 1 cm* group) and 3 cm (*AP Thickness measured 3 cm* group) of distance proximal from the proximal margin of calcaneal tubercle (Achilles tendon insertion site). Data measured 3 cm proximal to the insertion were obtained in order to analyse the mid-portion of the Achilles tendon, while data measured 1 cm proximal were obtained to examine the distal portion of the Achilles

tendon. The measure protocol was previously used for some authors (121, 123). (Figure 2)

Doppler images were obtained with the transducer placed longitudinal to the tendon. This method was used in other investigations(125). Whole tendon was analysed, and findings were checked using Power Doppler. Findings of new vessels were annotated as 1 tendon affected. For the Pennation Angle images, transducer was placed longitudinal to the Gastrocnemius Medialis. The tested site was proximal 30% of the medial gastrocnemius muscle belly on a line between the popliteal crease and the lateral malleolus (previously marked). Others research used the same protocol (127)

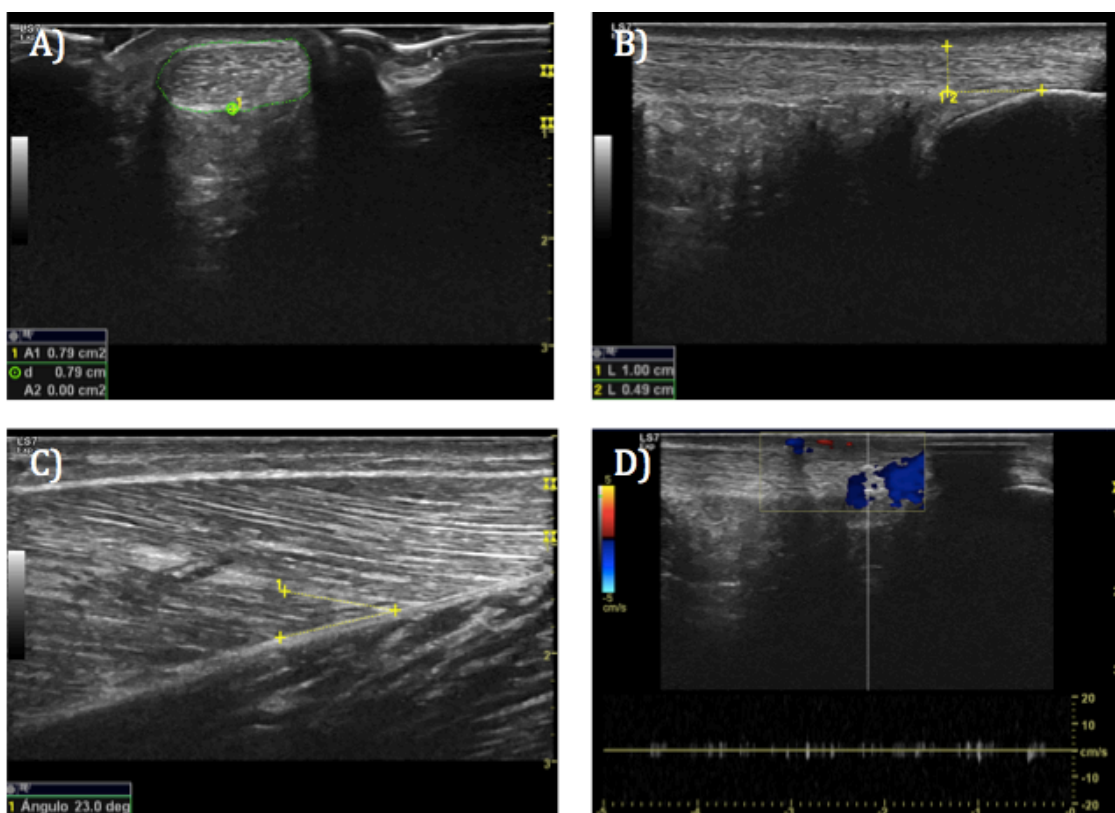


Figure 2. Examples of ultrasound measurements. A) CSA measured 3 cm, B) AP Thickness measured 1 cm, C) Pennation Angle, D) Doppler

The ECC group was measured by ultrasound before and after the 6 weeks of eccentric training. The post training measure was made 1 week after the last training, just before the running intervention, and it is also considered as Baseline. Ultrasound images from both groups were taken just before the first intervention of running as Baseline. Ten minutes after each running intervention Ultrasound images were obtained. 3 images from each outcome were obtained. Outcome data in the images were measured by the

agreement between 2 investigators, blinded to participants. Data were measured using the program from the Ultrasound device.

Intratester reliability

Ten Achilles tendons in the same sample population were repeated scanned to test repeated measure reliability. Standard error of the mean (SEM) =SD of population $\times\sqrt{1-ICC}$ was calculated. The ICC was calculated using a two-way mixed single measures (3,1) for absolute agreement between the repeated scans. Minimum detectable change ($MDC=1.96\times SEM\times\sqrt{2}$) in all groups was calculated, in order to minimise Error Type I. (33)

Statistics

Mean and standard deviation (SD) were calculated for all the images of CSA (measured 1 cm & 3 cm), AP Thickness (measured 1 cm & 3 cm) and Pennation Angle on each of the days of the study. Percentages of tendons with Doppler findings in relationship with the number of tendons in each group were calculated on each of the days of the study. Shapiro-Wilks test was used to demonstrate normally distribution of the data. All the values had changes greater than MDC. It was no possible to reduce the number of Post hoc statistical test.

Student's t test was used to compare running distance means between CONT and ECC group and pre- and post- eccentric training in the ECC group. Baselines between ECC and CONT were compared by Student's t test. Normally distributed data were analysed using Repeated Measure ANOVA test. Post hoc by pairs was made through Bonferroni adjustment. Non-normally distributed data was analysed by Friedman test. Lineal regression modelling was used to identify the potential interaction between groups compared with the findings in Doppler. Significance was set at $p<0.05$. All analyses were conducted using statistical package, SPSS V.21.0 (SPSS for Windows, IBM corporation, Madrid, Spain)

Results

1 participant did not complete the eccentric training. Average running distance along the three days for the CONT group was 10664.33 (± 4756.64) meters and 9885.33 (± 465.97) meters for the ECC group, with no significant difference ($p=0.094$)

Eccentric training

A significant increase in the CSA measured 1 cm and 3 cm in the ECC group was observed between Pretraining and Postraining, with no significant changes in AP Thickness measured 1 cm and AP Thickness measured 3 cm. Significant statistical changes were detected in Pennation Angle between Pretraining and Postraining and no findings in Doppler (Table 1). Baseline tendon structures and baseline pennation angles were investigated in the ECC and CONT group before the 3 days of running. Baseline measures in CSA measured 1 cm between CONT and ECC groups showed significant changes ($p=0.035$). Baseline measures in AP Thickness measured 3 cm showed significant changes ($p=0.021$). No significant differences between Baseline groups CSA measured 3 cm ($p=0.463$), AP Thickness measured 1 cm ($p=0.141$), Pennation Angle ($p=0.798$) and no findings in Doppler (Table 2).

Table 1 Mean (SD) in ECC Group in every Outcome before and after Eccentric Training

Outcome	Pretraining	Postraining	Difference	<i>p</i> values
1 cm CSA (cm ²)	0.68 (0.11)	0.97 (0.24)	0.29*	0,031
1 cm Thickness (mm)	5.55 (0.68)	5.61 (0.64)	0.06	0,736
3 cm CSA (cm ²)	0.59 (0.08)	0.68 (0.08)	0.09*	0,002
3 cm Thickness (mm)	5.45 (0.74)	5.57 (0.61)	0.12	0,451
Pennation Angle (°)	21.53 (2.40)	23.66 (3.84)	2.13*	0,042
Doppler	0%	0%	0	0

* $p < 0.05$. SD, Standard Deviation. CSA, Cross Sectional Area. AP, Anterior-Posterior

CSA & AP Thickness findings

The CONT group CSA measured 3 cm demonstrated a significant change ($p=0.005$). CSA measured 1 cm in CONT group, CSA in ECC group measured 1 cm and 3 cm ($p=0.202$, 0.123 & 0.777 respectively) did not show significant differences. Post hoc

analysis did not show any significant differences for all groups. These changes in the CSA CONT group measured 3 cm suggest that the Achilles mid-portion exhibited a loss of normal tendon structure after first day of running that returned to baseline after the day 3 of running. (Table 2)

The AP Thickness measured 3 cm ($p=0.534$) and 1 cm ($p=0.817$) in the CONT group did not experimented significance changes. A non-significant decrease between Baseline and Day 1 of running was detected in AP Thickness measured 3 cm ($p=0.123$) and 1 cm ($p=0.253$) for the ECC group. There is any significant change in the Post hoc analysis. (Table 2)

Table 2 Mean (SD) in CONT and ECC Groups in each Outcome (Baseline and over the 3 days of running)

Outcome	Running Day	CONT (n=20) median (SD)	ECC (n=18) median (SD)	Standard error of the mean	Minimum detectable difference (%)
1 cm CSA (mm ²)	Baseline	0.79 (0.18)	0.97 (0.24)	0.33	0.93
	1	0.82 (0.16)	0.95 (0.31)		
	2	0.84 (0.25)	0.85 (0.17)		
	3	0.90 (0.17)	0.84 (0.17)		
1 cm Thickness (mm)	Baseline	5.27 (0.49)	5.61 (0.64)	0.22	0.62
	1	5.34 (0.40)	5.17 (1.06)		
	2	5.32 (0.36)	5.36 (0.74)		
	3	5.31 (0.46)	5.39 (0.87)		
3 cm CSA (mm ²)	Baseline	0.88 (1.28)	0.68 (0.08)	0.56	1.56
	1	0.60 (0.12)	0.70 (0.12)		
	2	0.58 (0.11)	0.68 (0.12)		
	3	0.98 (1.38)	0.68 (0.11)		
3 cm Thickness (mm)	Baseline	5.11 (0.40)	5.57 (0.61)	0.23	0.63
	1	4.99 (0.38)	5.17 (0.93)		
	2	5.10 (0.29)	5.33 (0.61)		
	3	5.05 (0.37)	5.04 (1.05)		
Pennation Angle (°)	Baseline	23.60 (3.72)	23.66(3.84)	0.39	1.10
	1	22.00 (3.28)	22.20(3.50)		
	2	21.19 (1.99)*	21.69(2.82)*		
	3	20.87 (1.89)*	20.83 (2.23)		
Doppler	Baseline	0%	0%		
	1	5%	11%		
	2	10%	22%		
	3	10%	38,89%*		

* Significant difference ($p<0.05$) relative to Baseline. SD, Standard Deviation. CSA, AP Thickness and Pennation Angle showed in all measures greater values than the minimum detectable change within group compared to baseline.

Pennation angle & Doppler findings

Significant changes was observed in the Pennation Angle of the CONT group ($p=0.015$), with a decrease from the baseline until Day 3 of running (Table 2). Post hoc analysis showed significant differences between Baseline and Day 2 of running ($p=0.007$) and between Baseline and Day 3 of running ($p=0.024$). Similar significance change was detected in the ECC group ($p=0.015$). Post hoc adjustment demonstrated significant changes between Baseline and Day 2 of running ($p=0.007$) for the ECC group. (Table 2)

For the Doppler outcomes, table 2 shows the percentage of tendon with findings of new vessels in each group on every running day. Logistic regression was made in both groups, with no significant values for the CONT group. In ECC group was observed a statistical correlation ($p=0.049$) between Baseline and Day 3 of running, with an Odds ratio of 5.727.

Discussion

The main finding was that the Squat eccentric training provided adaptations, increasing mid-portion and insertional CSA in Achilles tendon and Pennation Angle in Gastrocnemius Medialis. Furthermore, these adaptations did not give a protective effect to these tissues in a running intervention. Specifically, we found a significant greater percentage of neovessels findings after the third day of running in subjects previously eccentric-trained, compare to the control group. Previous studies have examined the effect of Squat eccentric training in the Patellar tendon and Quadriceps muscle. To our knowledge, this study is the first to analyse changes in Achilles tendon and Gastrocnemius Medialis after a Squat eccentric training, and in particular the first to examine mechanical changes in the same tissues produced along 3 days of running.

While there is some evidence that training eccentrically with Squat movements improve CSA in Patellar tendon and changes the architecture of Quadriceps muscle (89, 117), this study provides data about the changes in Achilles tendon and Gastrocnemius Medialis that Squat may lead. Specifically, we found an increase in CSA Achilles

tendon for the mid portion and in the distal part. However, previous research (87) did not report any significant changes in CSA for healthy tendons after an eccentric calf muscle training. Training with overload involves a higher volume of intensity. This fact could provide higher level of Collagen type I production, as an adaptation to load mechanism (107). The Pennation Angle showed also an increase. These results are consistent with those reported following an eccentric training programme (51), whereby an increase in the pennation angle after eccentric exercise is due to an hypertrophy muscular adaptation.

We found no significant changes in the behaviour of the AP Thickness in CONT group compare to ECC group, while the CSA measured in the mid-portion of Achilles tendon showed a significant decrease to return to baseline values after the last day of running. This decrease in CSA have not been shown in short distance running performance, such as 5 km run (72) or 30 minutes run (74). However, similar response was found after a marathon effort (75). This reversible tendon response is considered normal by some authors, and it is a result of cell driven mechanism, in order to respond to mechanical stimuli remodelling the tendon extracellular matrix (33). Both groups of participants experimented a decrease in the Pennation Angle of Gastrocnemius Medialis muscle. Previous studies (76) observed different changes after a fatigue intervention, with an increase in the angle, although measured in Vastus Lateralis muscles. The specific biomechanics of Achilles tendon, long and attached to short pennate muscle fibres, to be more efficient (72) could explain this fact.

In our study, we found a high percentage of Doppler findings in ECC group after the third day of running. New vessels inside the tendon is a predictable outcome of degeneration, observed by other authors in running performance (75). ECC group had an increased CSA tendon after the eccentric training, and this effect will decrease tendon stress and strain for any given magnitude of tensile loading, and may therefore reduce the risk of overload injuries, according to previous research (55). However, our findings suggest that this CSA adaptation did not avoid the formation of new vessels after 3 consecutives day of running. Instead of that, our study showed a relationship between a higher percentage of Doppler finding and the third day of running for the ECC group. The biomechanics of the Squat movement could be lead structural changes in the Achilles tendon tissues, but not enough adaptation to provide a protective effect.

In conclusion, this study indicates that Squat training may play a role in providing adaptations of the Achilles CSA tendon tissues and in the Pennation Angle of Gastrocnemius Medialis in less time than other eccentric training programs without an overload phase. Despite the effects of the eccentric overload program, its effects could not be felt as beneficial on the days of running in the Achilles tendon. The findings of our study provide a way to improve the quality of Achilles tendon structures. Otherwise, the findings suggest that is important to take into account that Yoyo Squat exercise did not provide a preventive effect for overuse injuries in Achilles tendon during running performance.

ESTUDIO 3

**ULTRASOUND ANALYSIS OF ECCENTRIC OVERLOAD
TRAINING WITHIN 3 DAYS OF RUN IN PATELLAR TENDON
AND VASTUS LATERALIS MUSCLE**

METHODS

40 patellar tendons and 40 Vastus Lateralis muscles from 20 male volunteers of University San Jorge (Spain) were analysed in our study (Age 22.79 ± 4.21 , mean \pm SD). All participants reported to perform more than 3 days per week of sports activities. Any of the participants had trained with eccentric exercises before. Participants with 2 years history of lower limb pathologies were excluded. Not being able to complete the eccentric training or the running intervention was considered excluded. The protocol was approved by CEICA (Ethics Committee of Clinical Research of Aragon) and all participants provided written informed consent prior to participating in the study.

Participants were divided in 2 Groups, 1 control group (CONT, n=20 tendons, 10 subjects) and 1 eccentric group (ECC n=20 tendons, 10 subjects). Participants in ECC group were those who accepted voluntarily to perform the training. The ECC performed training with eccentric overload previous to the running intervention. (Figure 1)

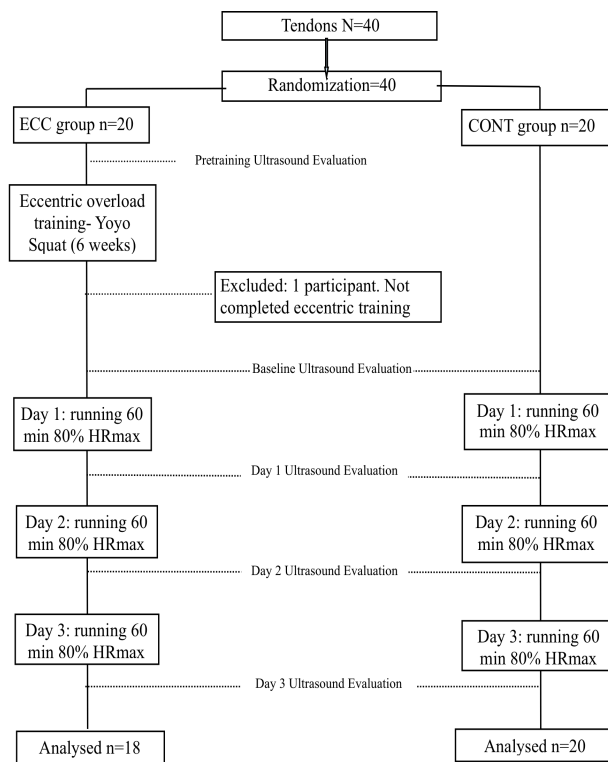


Figure 1. Flow Chart

Eccentric Overload Training

Participants in ECC group were training during 6 weeks, 2 days per week by Yo-Yo squat (YoYo Technology AB, Sweden), following the protocol proposed by Norrbrand et al. (105). 1 previous session to make contact with the flywheel device and to obtain 1RM of each participant was made. Each training session consisted of 4 sets of 7 repetitions interspersed by 2 min between-set rest periods. Every session was preceded by a standardized warm-up, which included 5' of jogging and dynamic stretches. After warming up, subjects rested 5 minutes before starting the training session. One 2.7 kg flywheel ($0.07 \text{ kg} \times \text{m}^2$ moment inertia) in the Yoyo Squat device was utilized (Figure 2). Similarly, the concentric phase was performed as fast as possible whereas the eccentric phase was executed at slower velocity (i.e., ~ 2 seconds). Due to the squatting depth influences the acute and chronic responses (134), the range of motion (ROM) was matched in each exercise (i.e. until the thighs are in parallel to the floor). The same percentage of load for all participants of the exercise was controlled by lineal encoder (SmartCoach Europe AB – Sweden). 1 investigator controlled the whole training.

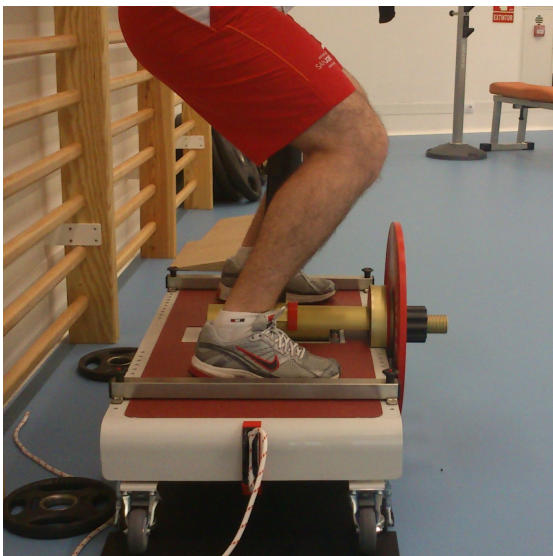


Figure 2 Yoyo Squat

Running intervention

CONT and ECC groups performed 3 consecutive days of running. The procedure consisted in 1 hour of running. Participants ran at 80% of their Maximal Heart Rate, measured by Polar Heart Rate Monitor (Polar Electro Ibérica, Spain). 1 investigator

controlled the intensity of whole training. The surface was the same for all the participants, around a grass soccer field. At 30 minutes of running, the direction of the race was advice to change. All participants did not make any other physical activities the day before and during the study.

Ultrasound Outcomes

Patellar tendon images (CSA, AP Thickness and Doppler) and images of the Pennation Angle from Vastus Lateralis were obtained. A 5-12 MHz lineal ultrasound transducer with colour Doppler option (LOGIQ S7 Expert/Pro, General Electric, Solingen GERMANY) was used. Skin marks with dermographic pen were made and checked in every measure. Coupling gel was applied between skin and transducer to optimise contact prior to scanning the different areas. Participants were laying supine on an examination table with the same wedge below the knee in approximately 15-20° of knee flexion. A single investigator who has 3 years experience in Ultrasound took all scans.

CSA images were obtained with the transducer placed transversal to the patellar tendon, 1 cm distal to the lower pole of the patella bone (Figure 3A). AP Thickness was measured with the transducer placed longitudinal to the tendon. References to measure the width of the tendon were taken into the image at 0,5 cm of distance to the lower pole of the patella bone (Figure 3B). The measure protocol was previously used for some authors (123, 124). Doppler images were taken with the transducer placed longitudinal to the tendon. This method was used in other investigations (59, 124). Whole tendon was analysed, and findings were checked using Power Doppler (Figure 3C). Findings of new vessels were annotated as 1 tendon affected. For the Pennation Angle images (Figure 3D), transducer was placed longitudinal to the Vastus Lateralis in the middle of the distance between Greater Trochanter and lateral condyle of the femur (previously marked). Others research used the same protocol (48, 126)

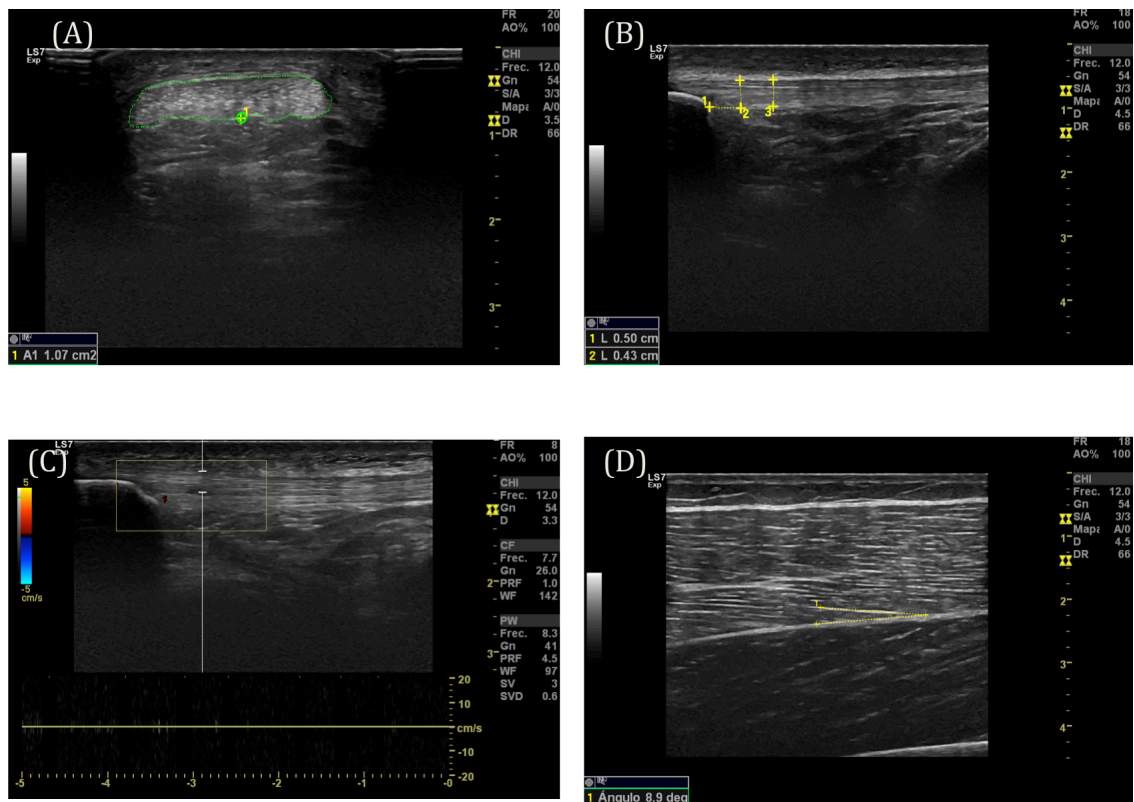


Figure 3. Examples of ultrasound measurements. A) CSA, B) AP Thickness, C) Doppler, D) Pennation Angle.

The ECC group was measured by ultrasound before and after the 6 weeks of eccentric training. The post training measure was made 1 week after the last training, just before the running intervention, and it is also considered as Baseline. Ultrasound images from both groups were taken just before the first intervention of running as Baseline. Ten minutes after each running intervention Ultrasound images were taken. 3 images from each outcome were obtained. Outcome data in the images were measured by the agreement between 2 investigators, blinded to participants. Data were measured using the program from the Ultrasound device.

Intratester reliability

Ten patellar tendons in the same sample population were repeated scanned to test repeated measure reliability. Standard error of the mean (SEM) = $SD \text{ of population} \times \sqrt{1-ICC}$ was calculated. The ICC was calculated using a two-way mixed single measures (3,1) for absolute agreement between the repeated scans. Minimum detectable change ($MDC=1.96 \times SEM \times \sqrt{2}$) in all groups was calculated (table 2), in order to minimise Error Type I.

Statistical analysis

Median and standard deviation (SD) were calculated for all the images of CSA, AP Thickness and Pennation Angle on each of the days of the study. Percentages of tendons with Doppler findings in relationship with the number of tendons in each group were calculated on each of the days of the study. Test of normality using Shapiro-Wilks test demonstrated that only the Pennation Angles data were not normally distributed. All the data had changes greater than MDC. It was not possible to reduce the number of statistical test.

Student's t test was used to compare pre- and post- eccentric training in the ECC group. Baselines between ECC and CONT were compared by Student's t test. Normally distributed data were analysed using Repeated Measure ANOVA test. Post hoc by pairs was made through Bonferroni adjustment. Pennation Angles data was analysed by Friedman test. Lineal regression modelling was used to identify the potential interaction between groups compared with the findings in Doppler. Significance was set at $p < 0.05$. All analyses were conducted using statistical package, SPSS V.21.0 (SPSS for Windows, IBM corporation, Madrid, Spain)

RESULTS

1 participant did not complete the eccentric training. Anybody of the remaining 19 participants (Age 22.79 ± 4.21 , weight 72.57 ± 6.73 , height 179.77 ± 7.88 , BMI 22.7 ± 2.1 , mean \pm SD) was noted to have had current or history of lower limb injuries in the last 2 years. All participants were currently asymptomatic and were not taking any medication or interventions that may have had a systemic effect.

Eccentric Training

A significant increase in the CSA in the ECC group was observed between Pretraining and Posttraining ($p = 0.012$), with no significant changes in AP Thickness ($p = 0.435$), Pennation Angle ($p = 0.236$) and no findings in Doppler (table 1). Baseline tendon structures and baseline pennation angles were investigated in the ECC and CONT group before the 3 days of running. Baseline measures in CSA between CONT and ECC

groups showed significant changes ($p=0.024$). These changes suggest the adaptation in the CSA of the ECC group. No significant differences between Baseline groups in AP Thickness ($p=0.795$), Pennation Angle ($p=0.867$) and no findings in Doppler (table 2).

Table 1 Median (SD) in ECC Group in every Outcome before and after Eccentric Training (n=18)

Outcome	Pretraining	Postraining	Difference
CSA (cm ²)	1.07 (0.13)	1.25 (0.24)	0.18*
AP Thickness (mm)	4.26 (0.46)	4.37 (0.35)	0.11
Pennation Angle (°)	14.52 (2.42)	15.49 (2.44)	0.97
Doppler	0%	0%	0

* $p<0.05$. SD, Standard Deviation. CSA, Cross Sectional Area. AP, Anterior-Posterior

CSA & AP Thickness findings

The ECC group demonstrated a significant change in the CSA ($p=0.027$). Post hoc analysis showed a significant reduction between Baselines in comparison with Day 3 of running ($p=0.022$, table 2). The CONT group had an increase in the tendon area but without significance changes ($p=0.102$). The AP Thickness in the CONT group experimented significance changes ($p=0.028$). A greater increase between Baseline and Day 1 of running was detected, showing significant changes ($p=0.042$, table 2). There is any significant change in the thickness of ECC group ($p=0.567$).

Table 2 Median (SD) in CONT and ECC Groups in each Outcome (Baseline and over the 3 days of running)

Outcome	Running Day	CONT (n=20) median (SD)	ECC (n=18) median (SD)	Standard error of mean	Minimum detectable difference (%)
CSA (cm ²)	Baseline	1.05 (0.18)	1.25 (0.24)	0.39	1.09
	1	1.11 (0.25)	1.17 (0.21)		
	2	1.08 (0.13)	1.15 (0.17)		
	3	1.17 (0.16)	1.06 (0.18)*		
AP Thickness (mm)	Baseline	4.32 (0.59)	4.37 (0.35)	0.18	0.51
	1	4.60 (0.51)*	4.25(0.35)		
	2	4.57 (0.57)	4.25 (0.34)		
	3	4.52 (0.55)	4.29 (0.37)		
Pennation Angle (°)	Baseline	15.23 (2.33)	15.49 (2.44)	0.41	1.13
	1	14.54 (2.56)	16.83 (3.32)		
	2	13.43 (2.73)*	14.88 (2.77)		
	3	14.16 (3.06)	14.58 (2.79)		
Doppler	Baseline	0%	0%	-	-
	1	15%	11%		
	2	25 %	11%		
	3	35%	22%		

* Significant difference ($p < 0.05$) relative to Baseline. SD, Standard Deviation. CSA, AP Thickness and Pennation Angle showed in all measures greater values than the minimum detectable change within group compared to baseline.

Pennation Angle & Doppler findings

Significant changes was observed in the Pennation Angle of the CONT group ($p=0.028$), with a decrease from the baseline until Day 2 of running (Table 2). Any significance change was detected in the ECC group ($p=0.450$). For the Doppler outcomes, table 2 shows the percentage of tendon with findings of new vessels in each group on every running day. Logistic regression made in both groups did not show any statistical difference ($p=0.746$).

Discussion

This study demonstrated a different behaviour in muscle-tendon unit between participants trained by overload eccentric exercise and untrained, after 3 consecutive days of 1 hour running. The data were extracted by Ultrasound and Colour Doppler. Both techniques have a good effectiveness (119, 139) and its use is justified by some

authors (69, 123, 140, 141). Our study provides an innovation in the research of structural changes, because try to find the effect of a long-term eccentric training in a short-term and within 3 days of a sport intervention.

Eccentric vs. Eccentric Overload

Eccentric exercise had shown widely good results for treatment and prevention in patellar tendinosis injuries(93, 94, 97). Painful eccentric decline single leg exercises is the most used exercise (98). The duration of training is an average of 12-15 weeks in different studies (98, 117, 124). Eccentric overload investigations show adaptations in tendon and muscle in less time(137, 138). Eccentric overload is also used in samples like elderly people (91) or chronic stroke patients (106) in order to cause less damage and higher force production with lower energy cost. It is no clear the beneficial mechanism of eccentric overload. More load and velocity in the eccentric phase of the movement could increase higher levels of peritendinous type I collagen synthesis (107) in tendon. The muscular response after eccentric overload showed in a number of studies several improves in the strength and performance of muscles. The study from Friedman et al. (108) explain that higher intramuscular pressure due to the higher tension during the eccentric phase probably impedes more blood flow. This fact possibly leading to enhanced hypoxia, which could induce different adaptations in gene expression pattern in the Vastus Lateralis muscles.

CSA & AP Thickness

In our study, the ECC group showed a significant statistical increase in the CSA after the eccentric training. Konssgaard et al. (55) measured increases of around 6-7% of CSA proximal patellar tendon after 12 weeks of strength-endurance exercises with low and high load. This adaptation is similar to our findings but in less time, 6-weeks training. This effect could be reached due to the intensity and load of eccentric overload. In comparison to some authors (97), our study obtained these results neither use decline board nor single leg movement for the Squat. During the running intervention, CSA in ECC group decreased within the days. This behaviour after a load is similar to some authors(33, 67), but these researches studied only one day of isolated intervention. Our finding could suggest a good adaptation to the load in the ECC

patellar tendon. The CSA in CONT group had not significant statistical change. The model of response to mechanical stimuli in tendons, proposed by Cook et al. (22), could explain this changes based on a cell driven mechanism. This model suggests that the change in tendon structure is due to an increase of expression of large proteoglycans. This cause also an increase in bound water along the ground substance (33).

Despite the CSA findings, the changes in AP Thickness had a different behaviour. No significant changes were measured in ECC group. However, CONT group had a significant increase in the proximal part of patellar tendon, mainly the first day of running. AP Thickness is considered, by some authors (55, 118, 121) an indicator of tendon degeneration. Values between 4 and 7 mm are considered normal, and 8 mm would be considered abnormal(55). Our data did not reach pathological measures (4.32 (0.59) in Baseline to 4.60 (0.51) after Day 1), but the strong increase of the AP Thickness in the first day of running suggests a worse adaptation in the CONT group vs. ECC group. It can be hypothesised that and increased cell number of connective tissue could cause this findings(117).

Pennation Angle & Doppler

In our study, the appearance of new vessels has no significant relationship with the intervention. But our research showed a trend: in patellar tendons trained by eccentric training developed along the intervention fewer new vessels (table 1). Some research have been found that alteration in ultrasound images, in terms of vascularization, is a predisposing factor for developing tendinosis in asymptomatic subjects. The study of Fredberg et al. (113) showed a 45% higher chance of an injury in Achilles and Patellar tendons with previous ultrasound images of alteration in players asymptomatic through a football season. McCreesh et al. (120) demonstrated that the main ultrasound finding consider as a risk factor is neovascularization. However other studies did not focus as the main predictor of injury the new vessels, but structural changes and previous symptoms (3, 4). Some studies relate these new vessels grow generally accompanied by nerves. The mechanical stimulation of nerves in the vessel walls during loading could cause the tendon pain (142).

Pennation Angle in ECC group increased in a non-statistically significantly data after training with eccentric overload. Also in the first running day still have been measured an increase. In the following running days, the Pennation Angle decreases. However, the CONT group decrease the Pennation Angle from the first running day. Some researches showed a high variability in Vasto Lateral Pennation Angle depending on factors such as gender or age (42, 49) or sport (50). The sample of young men measured by Strasser et al. (49) which agrees with our study also in demographics data, located the Pennation Angle average at $14.7(2.5)^{\circ}$. The behaviour of the angle after eccentric training, studied by Guilhem et al. (51) and Blazevich et al. (52) reported an adaptation of Lateral Vasto through increased in Pennation Angle. This change usually is associated with muscle hypertrophy (43). The findings in Pennation Angles of Vastus Lateralis muscles after different kinds of exercises until fatigue have been reported by some studies. Resistance exercise to exhaustion in cycle ergometer (53) or force-resistance to fatigue (54) showed in both cases an increase in Pennation Angle after the intervention in fatigue. This behaviour is identical to the findings in our study for the ECC group. Different change was measured for the CONT group. This statistically significant change suggest to be related to a lower volume adaptation of Vastus Lateralis to exercise (143) in CONT group. The eccentric training could suggest a development in muscular architecture (41), making an easy adaptation to running efforts.

One limitation of our research is the small sample size in both groups. The kind of sport that participants made prior to the investigation has not been taken into account. Ultrasound measure provides a good tool to evaluate the tissues, but is very dependent on to be performed by the same evaluator in the same conditions. It is necessary a standardised loading protocol to compare with another researches. The clinical relevance is unclear at the point to determine if changes in tissues are adaptive or pathological.

CONCLUSION

A good clinical outcome in tendinopathy has generally been associated with normalization of the tendon structure and vascularity(87). The ECC group in our study showed a more normalized pattern according to previous research than the CONT group. The same normalized behaviour has been seen in ECC group in Vastus Lateralis Pennation Angle. The eccentric overload training suggests beneficial effects in the tissues to prevent structural damages. Understand the pathophysiology is the first step to treat and prevent.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de las investigaciones que conforman esta tesis, podemos afirmar que en nuestra muestra de sujetos sanos:

- El entrenamiento con sobrecarga excéntrica produce un incremento significativo en el área del tendón rotuliano y de Aquiles.
- El entrenamiento con sobrecarga excéntrica produce un incremento significativo en el ángulo de pennación del tendón de Aquiles.
- Tres días continuos de carrera producen un descenso significativo en el área del tendón rotuliano en el grupo previamente entrenado con ejercicio excéntrico, un aumento en la anchura del tendón rotuliano tras el primer día de carrera y un descenso en el ángulo de pennación en el grupo control.
- Tres días continuos de carrera producen un descenso significativo en el ángulo de pennación del tendón de Aquiles en ambos grupos.
- Tras tres días continuos de carrera se produce una tendencia significativa en el grupo entrenado con ejercicio excéntrico previamente a desarrollar un porcentaje mayor de aparición de nuevos vasos sanguíneos en el tendón de Aquiles.
- Tres días continuos de carrera producen un descenso significativo en la temperatura media del tendón rotuliano en el grupo previamente entrenado con ejercicio excéntrico.

Conclusión general:

Los resultados de la presente tesis doctoral muestran que un mismo entrenamiento con sobrecarga excéntrica producen adaptaciones en la estructura del tendón rotuliano y el de Aquiles. Estas adaptaciones, en el caso del tendón rotuliano, provocan un distinto comportamiento de los tejidos tras tres días de carrera entre grupos, ejerciendo un efecto protector sobre ellos en el grupo excéntricamente entrenado. Por el contrario, los resultados obtenidos en el tendón de Aquiles con el mismo entrenamiento con sobrecarga excéntrica muestran que las adaptaciones producidas no ocasionan un distinto comportamiento de los tejidos tras tres días de carrera entre grupos, observándose una tendencia a desarrollar una mayor degeneración a nivel de aumento de neovasaciones en el grupo excéntricamente entrenado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hill AV. Mechanics of the contractile element of muscle. *Nature*. 1950;166(4219):415-9.
2. Kirkendall DT, Garrett WE. Function and biomechanics of tendons. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 1997;7(2):62-6.
3. Birch HL. Tendon matrix composition and turnover in relation to functional requirements. *International Journal of Experimental Pathology*. 2007;88(4):241-8.
4. Fukashiro S, Hay C, Nagano A. Biomechanical behavior of muscle-tendon complex during dynamic human movements. *Journal of Applied Biomechanics*. 2006;22(2):131.
5. Woo S-Y, Johnson GA, Smith BA. Mathematical modeling of ligaments and tendons. *Journal of biomechanical engineering*. 1993;115(4B):468-73.
6. Kjær M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiological reviews*. 2004;84(2):649-98.
7. Myllyharju J, Kivirikko KI. Collagens and collagen-related diseases. *Annals of medicine*. 2001;33(1):7-21.
8. Kannus P. Structure of the tendon connective tissue. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2000;10(6):312-20.
9. Lieber RL, de España SAU. Estructura del músculo esquelético, función y plasticidad. *Agenda*. 2004;22(105).
10. Stanish WD, Rubinovich RM, Curwin S. Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clinical orthopaedics and related research*. 1986;208:65-8.
11. Fyfe I, Stanish WD. The use of eccentric training and stretching in the treatment and prevention of tendon injuries. *Clinics in sports medicine*. 1992;11(3):601-24.
12. Khan KM, Scott A. Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. *British journal of sports medicine*. 2009;43(4):247-52.
13. Rees JD, Wilson AM, Wolman RL. Current concepts in the management of tendon disorders. *Rheumatology (Oxford)*. 2006;45(5):508-21.
14. Frizziero A, Trainito S, Oliva F, Aldini NN, Masiero S, Maffulli N. The role of eccentric exercise in sport injuries rehabilitation. *British medical bulletin*. 2014;1du006.
15. Clayton RAE, Court-Brown CM. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. *Injury*. 2008;39(12):1338-44.

16. Riley G. Tendinopathy—from basic science to treatment. *Nature Clinical Practice Rheumatology*. 2008;4(2):82-9.
17. Alfredson H, Lorentzon R. Chronic achilles tendinosis. *Sports medicine*. 2000;29(2):135-46.
18. Alfredson H, Forsgren S, Thorsen K, Lorentzon R. In vivo microdialysis and immunohistochemical analyses of tendon tissue demonstrated high amounts of free glutamate and glutamate NMDAR1 receptors, but no signs of inflammation, in Jumper's knee. *Journal of Orthopaedic Research*. 2001;19(5):881-6.
19. Alfredson H, Lorentzon R. Chronic tendon pain: no signs of chemical inflammation but high concentrations of the neurotransmitter glutamate. Implications for treatment? *Current drug targets*. 2002;3(1):43-54.
20. Khan KM, Cook JL, Taunton JE, Bonar F. Overuse tendinosis, not tendinitis. *Phys Sportsmed*. 2000;28(5):38-48.
21. Speed CA. Fortnightly review: Corticosteroid injections in tendon lesions. *BMJ*. 2001;323(7309):382-6.
22. Cook JL, Purdam CR. Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *British journal of sports medicine*. 2009;43(6):409-16.
23. Sharma P, Maffulli N. Tendon injury and tendinopathy: healing and repair. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87(1):187-202.
24. Lewis JS. Rotator cuff tendinopathy: a model for the continuum of pathology and related management. *British journal of sports medicine*. 2010;44(13):918-23.
25. Maffulli N, Longo UG, Denaro V. Novel approaches for the management of tendinopathy. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92(15):2604-13.
26. Contreras PG. La aportación de Jill Cook al estudio de la patología tendinosa. *Fisioterapia y Divulgación*. 2014;2(1):3-18.
27. Dakin SG, Dudhia J, Smith RKW. Resolving an inflammatory concept: the importance of inflammation and resolution in tendinopathy. *Veterinary immunology and immunopathology*. 2014;158(3):121-7.
28. Thorpe CT, Chaudhry S, Lei II, Varone A, Riley GP, Birch HL, et al. Tendon overload results in alterations in cell shape and increased markers of inflammation and matrix degradation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2015:n/a-n/a.

29. Rees JD, Stride M, Scott A. Tendons—time to revisit inflammation. *British journal of sports medicine*. 2013;bjsports-2012-091957.
30. Manning CN, Havlioglu N, Knutsen E, Sakiyama-Elbert SE, Silva MJ, Thomopoulos S, et al. The early inflammatory response after flexor tendon healing: a gene expression and histological analysis. *Journal of Orthopaedic Research*. 2014;32(5):645-52.
31. Alfredson H. The chronic painful Achilles and patellar tendon: research on basic biology and treatment. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2005;15(4):252-9.
32. Cook J. In search of the tendon holy grail: predictable clinical outcomes. *British journal of sports medicine*. 2009;43(4):235.
33. Rosengarten SD, Cook JL, Bryant AL, Cordy JT, Daffy J, Docking SI. Australian football players' Achilles tendons respond to game loads within 2 days: an ultrasound tissue characterisation (UTC) study. *British journal of sports medicine*. 2014;bjsports-2013-092713.
34. Comin J, Cook JL, Malliaras P, McCormack M, Calleja M, Clarke A, et al. The prevalence and clinical significance of sonographic tendon abnormalities in asymptomatic ballet dancers: a 24-month longitudinal study. *British journal of sports medicine*. 2012;bjsports-2012-091303.
35. Pedersen M, Fredberg U, Langberg H. Sonoelastography as a diagnostic tool in the assessment of musculoskeletal alterations: A systematic review. *Ultraschall in der Medizin*. 2012;33(5):441-6.
36. Obst SJ, Newsham-West R, Barrett RS. Changes in Achilles tendon mechanical properties following eccentric heel drop exercise are specific to the free tendon. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2015:n/a-n/a.
37. Lehner B, Koeck FX, Capellino S, Schubert TEO, Hofbauer R, Straub RH. Preponderance of sensory versus sympathetic nerve fibers and increased cellularity in the infrapatellar fat pad in anterior knee pain patients after primary arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Research*. 2008;26(3):342-50.
38. Schubert TEO, Weidler C, Lerch K, Hofstädter F, Straub RH. Achilles tendinosis is associated with sprouting of substance P positive nerve fibres. *Annals of the rheumatic diseases*. 2005;64(7):1083-6.

39. Andersson G, Danielson P, Alfredson H, Forsgren S. Presence of substance P and the neurokinin-1 receptor in tenocytes of the human Achilles tendon. *Regulatory peptides*. 2008;150(1):81-7.
40. Backman LJ, Andersson G, Fong G, Alfredson H, Scott A, Danielson P. Alpha-2 adrenergic stimulation triggers Achilles tenocyte hypercellularity: Comparison between two model systems. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2013;23(6):687-96.
41. Lieber RL, Friden J. Clinical significance of skeletal muscle architecture. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2001(383):140-51.
42. Debernard L, Robert L, Charleux F, Bensamoun SF. Characterization of muscle architecture in children and adults using magnetic resonance elastography and ultrasound techniques. *Journal of Biomechanics*. 2011;44(3):397-401.
43. Fukunaga T, Kawakami Y, Kuno S, Funato K, Fukashiro S. Muscle architecture and function in humans. *Journal of Biomechanics*. 1997;30(5):457-63.
44. Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno S-Y, Okada M, et al. Muscle architectural characteristics in women aged 20-79 years. *Medicine and science in sports and exercise*. 2003;35(1):39-44.
45. Riegel SR, Schwartz JL, Walker RK, Wattenbarger MD, Chleboun GS. Fascicle length and pennation angle of the human biceps femoris muscle at rest and during submaximal contraction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001;33(5 Supplement):S172-S.
46. Lima KMM, Carneiro SP, Alves DdS, Peixinho CC, de Oliveira LF. Assessment of Muscle Architecture of the Biceps Femoris and Vastus Lateralis by Ultrasound After a Chronic Stretching Program. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2015;25(1):55-60.
47. Narici M. Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 1999;9(2):97-103.
48. Li L, Caldwell GE. The relationship of pennation angle to the index of architecture in muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1996;28(5 SUPPL.):S78-S.

49. Strasser EM, Draskovits T, Praschak M, Quittan M, Graf A. Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *Age*. 2013;35(6):2377-88.
50. Kanehisa H, Muraoka Y, Kawakami Y, Fukunaga T. Fascicle arrangements of vastus lateralis and gastrocnemius muscles in highly trained soccer players and swimmers of both genders. *International Journal of Sports Medicine*. 2003;24(2):90-5.
51. Guilhem G, Cornu C, Maffiuletti NA, Guevel A. Neuromuscular Adaptations to Isoload versus Isokinetic Eccentric Resistance Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2013;45(2):326-35.
52. Blazevich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 2007;103(5):1565-75.
53. Brancaccio P, Limongelli FM, D'Aponte A, Narici M, Maffulli N. Changes in skeletal muscle architecture following a cycloergometer test to exhaustion in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2008;11(6):538-41.
54. Csapo R, Alegre LM, Baron R. Time kinetics of acute changes in muscle architecture in response to resistance exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2011;14(3):270-4.
55. Kongsgaard M, Reitelseder S, Pedersen TG, Holm L, Aagaard P, Kjaer M, et al. Region specific patellar tendon hypertrophy in humans following resistance training. *Acta Physiologica*. 2007;191(2):111-21.
56. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British journal of sports medicine*. 2005;39(6):324-9.
57. Magnusson SP, Langberg H, Kjaer M. The pathogenesis of tendinopathy: balancing the response to loading. *Nature Reviews Rheumatology*. 2010;6(5):262-8.
58. Cronin NJ, Lichtwark G. The use of ultrasound to study muscle-tendon function in human posture and locomotion. *Gait & Posture*. 2013;37(3):305-12.
59. Kristoffersen M, Ohberg L, Johnston C, Alfredson H. Neovascularisation in chronic tendon injuries detected with colour Doppler ultrasound in horse and man: implications for research and treatment. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*. 2005;13(6):505-8.
60. Ristolainen L, Heinonen A, Turunen H, Mannström H, Waller B, Kettunen JA, et al. Type of sport is related to injury profile: A study on cross country skiers,

swimmers, long-distance runners and soccer players. A retrospective 12-month study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2010;20(3):384-93.

61. van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SM, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *British journal of sports medicine*. 2007;41(8):469-80; discussion 80.

62. van Poppel D, Scholten-Peeters GGM, van Middelkoop M, Verhagen AP. Prevalence, incidence and course of lower extremity injuries in runners during a 12-month follow-up period. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2014;24(6):943-9.

63. Peace KAL, Lee JC, Healy J. Imaging the infrapatellar tendon in the elite athlete. *Clinical radiology*. 2006;61(7):570-8.

64. Basso O, Johnson DP, Amis AA. The anatomy of the patellar tendon. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2001;9(1):2-5.

65. Jaen TF, Rey GA, Vicente IG, Garcia PG. New biomechanical model to explain the injury site of patellar tendinopathy: an ultrasonography study. *British journal of sports medicine*. 2013;47(9):e2-e.

66. Schmid MR, Hodler J, Cathrein P, Duewell S, Jacob HAC, Romero J. Is impingement the cause of jumper's knee? Dynamic and static magnetic resonance imaging of patellar tendinitis in an open-configuration system. *The American journal of sports medicine*. 2002;30(3):388-95.

67. Kjær M, Langberg H, Heinemeier K, Bayer ML, Hansen M, Holm L, et al. From mechanical loading to collagen synthesis, structural changes and function in human tendon. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2009;19(4):500-10.

68. Boesen AP, Boesen MI, Torp-Pedersen S, Christensen R, Boesen L, Hoelmich P, et al. Associations Between Abnormal Ultrasound Color Doppler Measures and Tendon Pain Symptoms in Badminton Players During a Season A Prospective Cohort Study. *American Journal of Sports Medicine*. 2012;40(3):548-55.

69. Koenig MJ, Torp-Pedersen S, Holm CC, Boesen MI, Bliddal H. Ultrasound doppler of the anterior knee tendons in elite badminton players. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2007;66:566-.

70. Fredberg U, Bolvig L, Andersen NT. Prophylactic Training in Asymptomatic Soccer Players With Ultrasonographic Abnormalities in Achilles and Patellar Tendons:

The Danish Super League Study. *The American Journal of Sports Medicine*. 2008;36(3):451-60.

71. Grävare Silbernagel K, Thomeé R, Thomeé P, Karlsson J. 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*. 2001;11(4):197-206.

72. Lichtwark GA, Cresswell AG, Newsham-West RJ. Effects of running on human Achilles tendon length–tension properties in the free and gastrocnemius components. *The Journal of Experimental Biology*. 2013;216(23):4388-94.

73. Habets B, van Cingel REH. Eccentric exercise training in chronic mid-portion Achilles tendinopathy: A systematic review on different protocols. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2015;25(1):3-15.

74. Farris DJ, Trewartha G, McGuigan MP. The effects of a 30-min run on the mechanics of the human Achilles tendon. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(2):653-60.

75. Tardioli A. Structural changes in the achilles tendon in response to a marathon: ultrasonographically detectable changes immediately and at 2 weeks postmarathon. *British Journal of Sports Medicine*. 2011;45(2):e1.

76. Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med*. 2010;48(6):757-67.

77. McGinnis P. *Biomechanics of sport and exercise: Human Kinetics*; 2013.

78. Stanton P, Purdam C. Hamstring injuries in sprinting—the role of eccentric exercise. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1989;10(9):343-9.

79. Alfredson H, Pietila T, Jonsson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med*. 1998;26(3):360-6.

80. LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, Snyder-Mackler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2003;33(10):557-71.

81. Baker JS, Bailey DM, Hullin D, Young I, Davies B. Metabolic implications of resistive force selection for oxidative stress and markers of muscle damage during 30 s of high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2004;92(3):321-7.

82. Bamman MM, Shipp JR, Jiang J, Gower BA, Hunter GR, Goodman A, et al. Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations

in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*. 2001;280(3):E383-E90.

83. Olesen JL, Heinemeier KM, Gemmer C, Kjaer M, Flyvbjerg A, Langberg H. Exercise-dependent IGF-I, IGFBPs, and type I collagen changes in human peritendinous connective tissue determined by microdialysis. *Journal of applied physiology*. 2007;102(1):214-20.

84. Roth SM, Martel GF, Ferrell RE, Metter EJ, Hurley BF, Rogers MA. Myostatin gene expression is reduced in humans with heavy-resistance strength training: a brief communication. *Experimental Biology and Medicine*. 2003;228(6):706-9.

85. Langberg H, Ellingsgaard H, Madsen T, Jansson J, Magnusson SP, Aagaard P, et al. Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2007;17(1):61-6.

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. *The American journal of sports medicine*. 2004;32(5):1286-96.

87. Ohberg L, Lorentzon R, Alfredson H. Eccentric training in patients with chronic Achilles tendinosis: normalised tendon structure and decreased thickness at follow up. *British journal of sports medicine*. 2004;38(1):8-11; discussion

88. Waugh CM, Korff T, Fath F, Blazeovich AJ. Effects of resistance training on tendon mechanical properties and rapid force production in prepubertal children. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 2014;117(3):257-66.

89. Kongsgaard M, Kovanen V, Aagaard P, Doessing S, Hansen P, Laursen AH, et al. Corticosteroid injections, eccentric decline squat training and heavy slow resistance training in patellar tendinopathy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2009;19(6):790-802.

90. Romero-Rodriguez D, Gual G, Tesch PA. Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: a case-series study. *Physical Therapy in Sport*. 2011;12(1):43-8.

91. LaStayo P, Marcus RL, Dibble L, Frajacomo F, Lindstedt SL. Eccentric Exercise in Rehabilitation: Safety, Feasibility and Application. *J Appl Physiol*. 2013.

92. Reeves ND, Maganaris CN, Longo S, Narici MV. Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Experimental physiology*. 2009;94(7):825-33.
93. Young MA, Cook JL, Purdam CR. Eccentric decline squat protocol offers superior results at 12 months compared with traditional eccentric protocol for patellar tendinopathy in volleyball players (vol 39, pg 102, 2005). *British journal of sports medicine*. 2005;39(4):246-.
94. Visnes H, Bahr R. The evolution of eccentric training as treatment for patellar tendinopathy (jumper's knee): a critical review of exercise programmes. *British journal of sports medicine*. 2007;41(4):217-23.
95. Taunton JE. Comparison of 2 eccentric exercise protocols for patellar tendinopathy in volleyball players. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 2006;16(1):90-1.
96. da Cunha RA, Dias AN, Santos MB, Lopes AD. 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*. 2012;18(3):167-70.
97. Purdam CR, Johnsson 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. *British journal of sports medicine*. 2004;38(4):395-7.
98. Jonsson P, Alfredson H. Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: a prospective randomised study. *British journal of sports medicine*. 2005;39(11):847-50.
99. Alfredson H, Pietilä T, Jonsson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *The American Journal of Sports Medicine*. 1998;26(3):360-6.
100. Meyer A, Tumilty S, Baxter GD. Eccentric exercise protocols for chronic non-insertional Achilles tendinopathy: how much is enough? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2009;19(5):609-15.
101. Fahlström M, Jonsson P, Lorentzon R, Alfredson H. Chronic Achilles tendon pain treated with eccentric calf-muscle training. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2003;11(5):327-33.

102. 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. *British journal of sports medicine*. 2008;42(9):746-9.
103. Norrbrand L, Pozzo M, Tesch PA. Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110(5):997-1005.
104. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *European journal of applied physiology*. 2009;105(6):939-44.
105. Norrbrand L, Fluckey JD, Pozzo M, Tesch PA. Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*. 2008;102(3):271-81.
106. Fernandez-Gonzalo R, Nissemark C, Åslund B, Tesch PA, Sojka P. Chronic stroke patients show early and robust improvements in muscle and functional performance in response to eccentric-overload flywheel resistance training: a pilot study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2014;11(1):150.
107. Langberg H, Ellingsgaard H, Madsen T, Jansson J, Magnusson SP, Aagaard P, et al. Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17(1):61-6.
108. Friedmann B, Kinscherf R, Vorwald S, Müller H, Kucera K, Borisch S, et al. Muscular adaptations to computer-guided strength training with eccentric overload. *Acta Physiologica Scandinavica*. 2004;182(1):77-88.
109. Alina M. The use of infrared thermography for investigating abarticular rheumatism. *Sports Medicine Journal/Medicina Sportivâ*. 2013;9(2).
110. Vazelle F, Rolland JJ, Rochcongar P, Ramee A. CONTRIBUTION OF RADIOLOGICAL, ULTRASONOGRAPHIC, AND ANATOMICAL FINDINGS TO THE INTERPRETATION OF THE RADIOLOGICAL IMAGE OF THE ACHILLES-TENDON-LOCALIZATION OF THE PLANTARIS MUSCLE. *Journal de radiologie*. 1982;63(5):351-4.
111. Maffulli N, Regine R, Angelillo M, Capasso G, Filice S. Ultrasound diagnosis of Achilles tendon pathology in runners. *British journal of sports medicine*. 1987;21(4):158-62.
112. Stevic R, Masulovic D. Ultrasound Diagnostics of Muscle and Tendon Injuries. *Srpski Arhiv Za Celokupno Lekarstvo*. 2009;137(11-12):647-52.

113. Fredberg U, Bolvig L. Significance of ultrasonographically detected asymptomatic tendinosis in the patellar and Achilles tendons of elite soccer players: A longitudinal study. *American Journal of Sports Medicine*. 2002;30(4):488-91.
114. de-Groot-Ferrando A, Rios-Diaz J, Martinez-Paya JJ, Del-Bano-Aledo ME. Morpho-textural changes of the patellar ligament in professional volleyball players: 6 months longitudinal study. *British journal of sports medicine*. 2013;47(9):e2-e.
115. Allison SJ, Nazarian LN. Musculoskeletal Ultrasound: Evaluation of Ankle Tendons and Ligaments. *American Journal of Roentgenology*. 2010;194(6):W514-W.
116. Hutchison AM, Evans R, Bodger O, Pallister I, Topliss C, Williams P, et al. What is the best clinical test for Achilles tendinopathy? *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2013;19(2):112-7.
117. Malliaras P, Kamal B, Nowell A, Farley T, Dhamu H, Simpson V, et al. Patellar tendon adaptation in relation to load-intensity and contraction type. *Journal of Biomechanics*. 2013;46(11):1893-9.
118. Helland C, Bojsen-Møller J, Raastad T, Seynnes OR, Moltubakk MM, Jakobsen V, et al. Mechanical properties of the patellar tendon in elite volleyball players with and without patellar tendinopathy. *British journal of sports medicine*. 2013;47(13):862-8.
119. Richards PJ, McCall IW, Day C, Belcher J, Maffulli N. Longitudinal microvascularity in Achilles tendinopathy (power Doppler ultrasound, magnetic resonance imaging time-intensity curves and the Victorian Institute of Sport Assessment-Achilles questionnaire): a pilot study. *Skeletal radiology*. 2010;39(6):509-21.
120. McCreesh KM, Riley SJ, Crotty JM. Neovascularity in patellar tendinopathy and the response to eccentric training: A case report using Power Doppler ultrasound. *Manual therapy*. 2013;18(6):602-5.
121. Syha R, Peters M, Birnesser H, Niess A, Hirschmueller A, Dickhuth HH, et al. Computer-based quantification of the mean Achilles tendon thickness in ultrasound images: effect of tendinosis. *British journal of sports medicine*. 2007;41(12):897-902.
122. Martínez Payá J, Ríos Díaz J, Palomino Cortés M. Aplicación en fisioterapia de la valoración cuantitativa de las características morfoecogénicas del tendón de Aquiles. *Fisioterapia*. 2008;30(2):61-8.
123. Fredberg U, Bolvig L, Andersen NT, Stengaard-Pedersen K. Ultrasonography in evaluation of Achilles and patella tendon thickness. *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany : 1980)*. 2008;29(1):60-5.

124. Kongsgaard M, Aagaard P, Doessing S, Hansen P, Kjaer M, Magnusson SP. Peritendinous Corticosteroid Injections, Eccentric Decline Squat Training And Heavy Slow Resistance Training In Patellar Tendinopathy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2008;40(5):S451-S.
125. Fahlstrom M, Alfredson H. Ultrasound and Doppler findings in the Achilles tendon among middle-aged recreational floor-ball players in direct relation to a match. *British journal of sports medicine*. 2010;44(2):140-3.
126. Crossley K, Feland JB, Johnson AW, Eggett D. Pennation Angle Changes, Muscle Architecture, and Whole Body Vibration Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2012;44:915-.
127. Ledoux WR, Hirsch BE, Church T, Caunin M. Pennation angles of the intrinsic muscles of the foot. *Journal of Biomechanics*. 2001;34(3):399-403.
128. Mangine RE, Siqueland KA, Noyes FR. The use of thermography for the diagnosis and management of patellar tendinitis. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*. 1987;9(4):132-40.
129. Zaproudina N, Varmavuo V, Airaksinen O, Narhi M. Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals. *Physiological measurement*. 2008;29(4):515-24.
130. Zerba E, Komorowski TE, Faulkner JA. Free radical injury to skeletal muscles of young, adult, and old mice. *Am J Physiol*. 1990;258(3 Pt 1):C429-35.
131. Selfe J, Hardaker N, Thewlis D, Karki A. An accurate and reliable method of thermal data analysis in thermal imaging of the anterior knee for use in cryotherapy research. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2006;87(12):1630-5.
132. Hildebrandt C, Zeilberger K, Ring EFJ, Raschner C. The application of medical infrared thermography in sports medicine. *Ultrasound*. 2012;10(2).
133. Clark RP, Mullan BJ, Pugh LG. Skin temperature during running--a study using infra-red colour thermography. *The Journal of physiology*. 1977;267(1):53-62.
134. Hartmann H, Wirth K, Klusemann M, Dalic J, Matuschek C, Schmidtbleicher D. Influence of squatting depth on jumping performance. *J Strength Cond Res*. 2012;26(12):3243-61.
135. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*. 2012;55(4):221-35.
136. Schwartz RG, Committee Chair. Guidelines for Neuro-Musculoskeletal Thermography [Internet]: The American Academy of Thermology; 2013 [15/03/2014].

Available from: <http://aathermology.org/organization/guidelines/guidelines-for-neuro-musculoskeletal-thermography/>.

137. Rabin A. Is there evidence to support the use of eccentric strengthening exercises to decrease pain and increase function in patients with patellar tendinopathy? *Physical Therapy*. 2006;86(3):450-6.
138. Agyi TH, Devita P, Money J, Barrier J. Effects of standard and eccentric overload strength training in young women. 2001.
139. Rios-Diaz J, de Groot Ferrando A, Martinez-Paya JJ, del Bano Aledo ME. Reliability and reproducibility of a morpho-textural image analysis method over a patellar ligament ultrasonography. *Reumatologia clinica*. 2010;6(6):278-84.
140. Raj IS, Bird SR, Shield AJ. Reliability of ultrasonographic measurement of the architecture of the vastus lateralis and gastrocnemius medialis muscles in older adults. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2012;32(1):65-70.
141. Wochatz M, Cassel M, Koenig N, Froehlich K, Mayer F. Intra- And Inter-observer Variability Of A Retrospective Analysis Of Achilles Tendon Ultrasound Scans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2013;45(5):239-.
142. Sanchis-Alfonso V, Roselló-Sastre E, Subías-Lopez A. Neuroanatomic basis for pain in patellar tendinosis (" jumper's knee"): a neuroimmunohistochemical study. *The American journal of knee surgery*. 2000;14(3):174-7.
143. Chauhan B, Hamzeh MA, Cuesta-Vargas AI. Prediction of muscular architecture of the rectus femoris and vastus lateralis from EMG during isometric contractions in soccer players. *SpringerPlus*. 2013;2:548-.

LISTA DE ABREVIATURAS

AINEs	Antiinflamatorios no Esteroideos
ATP	Adenosín Trifosfato
CONT	Grupo Control
FCM	Frecuencia Cardíaca Máxima
EC	Ensayo Clínico
ECC	Ejercicio Excéntrico
ECO	Ecografía
GI	Gemelo Interno
IGF-1	Factores de Crecimiento
IRT	Termografía por Infrarrojos
ROI	Región de Interés
TA	Tendón de Aquiles
TR	Tendón Rotuliano
VL	Vasto Lateral

