



UNIVERSITAT DE VIC
UNIVERSITAT CENTRAL
DE CATALUNYA

LOS EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EN SUBIDA PARA EL RETORNO A LA CARRERA EN CORREDORES CON PERIOSTITIS TIBIAL

Thomas RAFFIN
thomas.raffin@uvic.cat

4^{to} Curso, Trabajo final de Grado, Fisioterapia
Tutor: Pau Moreno Martin
Facultad de Ciencias y del Bienestar, UVic

Vic, mayo de 2023

Resumen:

La periostitis tibial es una de las patologías más frecuentes en la carrera, cuya etiología sigue siendo incierta. Esta lesión parece estar correlacionada con la modulación de las cargas aplicadas al hueso y, en particular, por las fuerzas de reacción al suelo.

El objetivo del estudio es de comparar los efectos del entrenamiento en subidas con el en terreno plano en la vuelta a la carrera en corredores de 18 a 65 años con periostitis.

Se llevará a cabo un ensayo clínico aleatorizado en el centro de rehabilitación "Caveirac Kiné Sport" especializado en la rehabilitación de corredores. 40 corredores varones diagnosticados de periostitis se dividirán aleatoriamente en dos grupos: el grupo control (GC), que seguirá un programa de vuelta a la carrera en terreno plano, y el grupo experimental (GE), que seguirá un programa de vuelta a la carrera en pendiente. Se medirá el nivel de dolor en cada sesión (escala numérica), el tiempo de vuelta al entrenamiento (días) y la adherencia al tratamiento (escala de Likert).

Las principales limitaciones de este estudio son: solo participan hombres (las mujeres son un criterio de exclusión), la heterogeneidad de la práctica de los corredores (trail, maratón...) y la larga duración del programa.

Palabras clave: periostitis tibial, corredores, fuerzas reacción al suelo, carga ósea

Abstract:

The tibial periostitis is one of the most frequent pathologies in running, which etiology remains uncertain. This lesion seems to be correlated to the modulation of loads applied to the bones and, specifically, through ground reaction forces.

The goal of the study is to compare the effects of training on slopes or flat ground during the return to running in runners from 18 to 65 years old with periostitis.

A randomized clinical trial will be carried out in the physiotherapy center “Caveirac Kiné Sport”, specialized in runners’ physiotherapy. 40 male runners diagnosed with periostitis will be randomly assigned in two groups: the control group (GC), which will follow a program of return to running on flat ground, and the experimental group (GE), which will follow a program of return to running uphill. We will evaluate the pain level in each session (numerical scale), the time to return to training (days) and the adhesion to the treatment (Likert scale).

The main limitations of this study are: only men participate (women are an exclusion criterion), the heterogeneity of the practice of the runners (trail, marathon,..) and the program’s long duration.

Keywords: tibial periostitis, runners, ground reaction forces, bone load

Índice

1. Antecedentes y estado actual del tema	5
1.1. Conceptos generales sobre la carrera	5
1.2. Las lesiones en el running	6
1.3. Epidemiología de las lesiones en el running	6
1.4. Mecanismos de lesiones en la carrera	8
1.5. La periostitis tibial	10
1.5.1. Definición	10
1.5.2. Fisiopatología de la periostitis tibial	10
1.5.2.1. La teoría muscular	10
1.5.2.2. La teoría de “bone stress injuries” (BSIs) o “estrés óseo”	13
1.5.2.3. Un origen multifactorial?	19
1.5.3. Las “Ground reaction forces” (GRF) o fuerzas de reacción al suelo	20
1.5.3.1. Definición	21
1.5.3.2. La importancia de los GRF en los corredores	21
1.5.3.3. Las GRF y las lesiones óseas	22
1.5.3.4. Las GRF y las subidas	22
1.5.4. Diagnóstico	23
1.5.5. Clínica	24
1.5.6. Tratamiento	24
1.5.6.1. Fase 1: Inicial manejo, control de los síntomas según Warden et al., (2014)	25
1.5.6.2. Fase 2: Vuelta al running según Warden et al., (2014)	27
1.5.7. La cirugía	28
1.5.8. Prevención y prognosis	29
1.6. Justificación del tema	29
2. Hipótesis y objetivos	30
2.1. Hipótesis	30
2.2. Objetivos	31
3. Metodología	31
3.1. Ámbito de estudio	31
3.2. Diseño	32
3.3. Población y muestra	33
3.4. Criterios de inclusión y exclusión	35
3.5. Intervención	35
3.6. Variables y método de medida	42
3.7. Análisis de los registros	45
3.7.1. Análisis estadísticas descriptivas	45
3.7.2. Análisis estadísticas inferenciales	46
3.8. Limitaciones	46

3.9. Aspectos éticos	47
4. Utilidad práctica de los resultados	48
5. Bibliografía	50
6. Anexos	59
7. Agradecimientos	74
8. Nota final del autor: el TFG como experiencia de aprendizaje	75

1. Antecedentes y estado actual del tema

1.1. Conceptos generales sobre la carrera

La carrera (o running) es una de las actividades físicas más famosas del mundo para mejorar o mantener la salud física (Scheerder et al., 2015). La práctica de la carrera es una actividad física muy fácil de acceso por el hecho que solo se necesita un par de zapatos y ser en el exterior para poder estar practicada. De este modo, esta actividad es practicada por millones de practicantes (Masip, 2022).

Los motivos de práctica de la carrera son muy variados dentro de los corredores. Estos refieren una práctica por varios objetivos: de bienestar, de red social, para cumplir un desafío, para la salud o para hacer frente a una adicción (Clough et al., 1989). Controlar su masa corporal, dejar de fumar o cumplir un maratón son ejemplos de factores que implican una gran heterogeneidad de los corredores y así se explica la popularidad de esta actividad física.

La OMS recomienda 150 minutos de actividad física moderada o 75 minutos de actividad vigorosa por semana para prevenir enfermedades y disminuir el riesgo de mortalidad (OMS, 2022). Por ese motivo, la carrera es una actividad física que permite cumplir estos objetivos con mucha facilidad. En efecto, pasar de caminar a correr aumenta el esfuerzo, la frecuencia cardiaca, la consumición de oxígeno y nos hace rápidamente pasar de una actividad física ligera a moderada (o vigorosa según el tipo de práctica) (Ivanenko et al., 2006). Más allá de estas recomendaciones, la carrera tiene muchos beneficios como: la disminución de la masa corporal, la mejora del sistema cardiorrespiratorio, del metabolismo corporal y de la resistencia (Hespanhol Junior et al., 2015). La carrera disminuye también el riesgo de muerte por todas las causas y por enfermedades cardiovasculares (Lee et al., 2014).

Otro efecto positivo descrito es que, como toda actividad física, la carrera tiene efectos sobre el bienestar y la salud mental de los individuos (Poirel, 2017), y por ese motivo, su práctica se desarrolló mucho durante y después de la pandemia de COVID-19 (Dhenin, 2021). Además, por la mayor parte del tiempo se puede practicar el running en el exterior y esto permite prevenir varios trastornos psicológicos (Markotić et al., 2020). Además, cuando se practica el running, los participantes están dispuestos a adoptar un estilo de vida más saludable y a desarrollar una forma de regularidad con el objetivo de realizar este cambio para el bienestar físico y mental (Shipway & Holloway, 2010).

Sin embargo, como cada actividad física, la carrera tiene sus propias patologías específicas con una prevalencia importante (Kakouris et al., 2021).

1.2. Las lesiones en el running

El deporte es la segunda causa de lesión en el mundo y la tercera en severidad después los accidentes de tráfico y la violencia (Dekker et al., 2000). Como resultado, las lesiones son comunes entre los corredores (Lopes et al., 2012). La experiencia de “La Clínica Del Corredor” (2022) nos dice que uno de cada dos corredores sufre una lesión cada año. Debido a la gran variabilidad de los tipos de corredores, la prevalencia de las lesiones en la carrera es muy heterogénea.

Una revisión de la literatura mostró una tasa de lesiones a un año del 27% en corredores principiantes, del 32% en corredores de larga distancia y del 52% en corredores de maratón (Kluitenberg et al., 2015). Otro aspecto importante es que los corredores principiantes tienen dos veces más posibilidades sufrir de una lesión que los corredores regulares (Videbæk et al., 2015). Las lesiones más comunes causadas por el running son las lesiones por sobreuso dirigidas principalmente a la zona lumbar y a las extremidades inferiores; esta actividad es la que provoca más lesiones por sobreuso en esta zona en particular (Van der Worp et al., 2015).

1.3. Epidemiología de las lesiones en el running

A nivel epidemiológico, es importante diferenciar la incidencia y la prevalencia. La incidencia se refiere a los nuevos casos de las patologías, mientras que la prevalencia tiene en cuenta todos los casos presentes en un momento dado. Con estas definiciones, Kakouris et al. (2021) han demostrado que la rodilla, el tobillo y la parte baja de la pierna tienen la proporción más grande en la incidencia de lesiones. Dentro de estas lesiones encontramos la tendinopatía de Aquiles (10,3%), el síndrome de estrés tibial medial, también llamado periostitis (9,4%), el síndrome femoropatelar (6,3%), la fascitis plantar (6,1%) y el esguince de tobillo (5,8%).

En cambio, a nivel de prevalencia, las partes más representadas son la rodilla, la pierna baja y los pies/dedos con el síndrome femoropatelar (16,7%), el síndrome de estrés tibial medial (9,1%), la fascitis plantar (7,9%), el síndrome de la cintilla iliotibial (7,9%) y la tendinopatía de Aquiles (6,6%). Estudios anteriores definen el síndrome de estrés tibial medial como la principal lesión músculo-esquelética relacionada con la carrera

(incidencia de 13,6% a 20%; prevalencia de 9,5%). Lopes et al. (2012) definen la periostitis como la principal lesión músculo-esquelética ligada a la práctica del running. Con estos datos, se ve que la periostitis tibial es una de las patologías más presentes en el ámbito del running y que tener un programa de tratamiento adecuado es importante para permitir una vuelta a la actividad y evitar el riesgo de recidiva. La periostitis puede afectar a varios tipos de atletas, pero los practicantes más impactados por esta patología son los que practican el running (Clement, 1974). En efecto, el 70% de los corredores pueden desarrollar una lesión por sobreuso, incluyendo la periostitis, en un periodo de 1 año (Hreljac et al., 2000).

En relación con la práctica, los cambios demográficos de la población que practica el running ha cambiado estos últimos años y parece jugar un papel importante en la aparición de las lesiones en esta actividad (Larsen et al., 2016). Además, la experiencia del corredor es un componente fundamental en la aparición de las lesiones. El 40% de los corredores principiantes se lesionan antes de los 500 km de práctica (o 8-13 semanas) lo que les hacen mucho más predispuestos a padecer una lesión que un corredor con más experiencia (Larsen et al., 2016). En efecto, se considera que un corredor que sobrepasa los 8-13 semanas de práctica sin lesionarse está bien adaptado al running y tendría menos riesgo de lesionarse en el futuro, en este caso, se considera como corredor recreativo (Videbæk et al., 2015).



Imagen 1: Los principales lugares de lesión en el corredor (Arnold & Moody, 2018)

1.4. Mecanismos de lesiones en la carrera

Como Scheer & Krabak (2021) describen, se considera una lesión músculo esquelética “como una discapacidad que resulta de un encuentro médico, que afecta al rendimiento, basada en un diagnóstico de un proveedor de atención médica o a través de una autoevaluación”. En términos sencillos, una lesión de carrera es "un dolor músculo-esquelético de los miembros inferiores relacionado con la carrera (de entrenamiento o de competición) que provoca la restricción o el cese de la carrera (distancia, velocidad, duración o entrenamiento) durante al menos siete días o tres sesiones de entrenamiento consecutivas, o que requiere que el corredor busque atención médica de un médico u otro profesional de la salud" (Yamato et al., 2015). Otro impacto importante de las lesiones en la carrera es que, es una de las principales causas de la parada de la práctica (Kluitenberg et al., 2015).

Las lesiones en la carrera se pueden clasificar en dos categorías: las lesiones por sobresolicitación y las lesiones traumáticas (esguince de tobillo o “hamstrings strains” por ejemplo).

Las lesiones traumáticas son compuestas por lesiones musculares, esguinces o lesiones de piel. En estas lesiones, el cuerpo sufre de una lesión debido a un factor externo o a un evento repentino dentro del cuerpo. En estas lesiones, el cuerpo sufre de una modificación de una estructura del cuerpo como un músculo o un hueso en el cual una fuerza se aplica y provoca la modificación de esta. Por ejemplo, el clásico esguince del ligamento lateral externo de tobillo se produce cuando el pie se pone en posición de sobreinversión y en consecuencia alarga el ligamento colateral lateral de la articulación tibio-peroneo-astragalina. Estas lesiones traumáticas son muy raras en la práctica del running (Van der Worp et al., 2015). En cambio, según estos mismos autores, el 80% de las lesiones son lesiones por sobreuso, resultante de un desajuste entre la resistencia del tejido conjuntivo y de soporte del tejido y la carrera.

Las lesiones por sobreuso o sobresolicitación son las lesiones que se desarrollan más frecuentemente en el running. Dentro de estas lesiones, encontramos principalmente el síndrome de estrés medial tibial, las tendinopatías (aquilea, rotuliana), las fracturas de estrés o la fascitis plantar. Cuando hablamos de lesión por sobresolicitación, existe un desequilibrio entre la cantidad de estrés aplicado a la estructura y el tiempo de recuperación de esta misma (Hreljac, 2004). En efecto, un tejido solicitado por debajo de su límite de tracción conduce a una remodelación positiva y, por lo tanto, a un

reforzamiento de este tejido (Hreljac, 2004). En el caso contrario en el cual la sollicitación de este tejido es por encima de esta limite, o en el caso en el cual el tiempo entre dos sollicitaciones está insuficiente, conduce a una lesión por sobresollicitación (Hreljac, 2004). Entonces, una lesión por sobresollicitación necesita la combinación de estrés/frecuencia por encima del límite de tracción del tejido sin recuperación o adaptación suficiente por parte del tejido (Hreljac, 2004).

Algunos autores dividen estas lesiones en dos categorías: lesiones por sobrecarga y lesiones por sobresollicitación. En el primer caso, la estructura recibe una o unas pocas exposiciones a una carga elevada, mientras que en el segundo caso, la estructura recibe un número repetido de estímulos que provocan un sobreesfuerzo. (Larsen et al., 2016). A nivel etiológico, según este mismo autor, este tipo de lesiones se traduce por una combinación compleja entre características biomecánicas y de entrenamiento con la influencia de los factores bio-psico-sociales individuales. “La Clínica Del Corredor” (2022) en la imagen 2 que sigue nos presenta esta idea adjuntando una tercera categoría: rango de movimiento. Podemos concluir que estas lesiones se definen en inglés por el “Too Much, Too Soon”.



Imagen 2: Los tipos de lesiones en la carrera (La Clínica Del Corredor, 2022)

1.5. La periostitis tibial

1.5.1. Definición

El síndrome de estrés tibial medial (o periostitis tibial) fue por primera vez descrito por Devas en 1958. Informó de los signos y síntomas de lo que definió como fractura de estrés de la tibia o dolor de tibia (Reshef & Guelich, 2012). Este síndrome está llamado por otras palabras en inglés: “medial tibial syndrome”, “shin splint syndrome”, “tibial stress syndrome” o “medial tibial stress syndrome” que es el más usado. El síndrome de estrés tibial medial (MTSS) está definido como “un dolor localizado inducido por el ejercicio a lo largo de los dos tercios distales postero-medial de la tibia y puede ser una lesión debilitante en los corredores” (Plisky et al., 2007). Para completar esta definición, otros autores lo han definido como un “Dolor a lo largo del borde postero-medial de la tibia que se produce durante el ejercicio, excluyendo el dolor de origen isquémico o los signos de fractura por estrés” (Yates & White, 2004). Esta definición permite poner límites en la definición de esta patología. En este manuscrito, nos referiremos a esta patología por el nombre de periostitis.

1.5.2. Fisiopatología de la periostitis tibial

Es importante recordar las características de la periostitis. Por esto, recordamos que la zona de aparición del dolor suele producirse en la parte distal del borde medial de la tibia. La tibia es un hueso triangular con una espina anterior y un borde medial palpables. El periostio es un conjunto de capas situadas en la periferia de los huesos largos y planos, fuera de las superficies articulares, que garantizan el crecimiento en grosor. Este tejido conjuntivo es capaz de asegurar la inserción de tendones y ligamentos en el hueso, pero también tiene un papel esencial en la vascularización y el crecimiento del hueso. Por definición, la periostitis es una inflamación del periostio.

Sin embargo, la fisiopatología de la periostitis todavía no se conoce bien (Dias Lopes et al., 2012). Existen varias teorías sobre la fisiopatología de este síndrome. Principalmente, hay dos teorías posibles que podrían explicar el funcionamiento de la patología: la teoría ligada al papel de los músculos de la pierna y la teoría del estrés óseo o “bone stress injuries”.

1.5.2.1. La teoría muscular

En esta teoría, como lo resume la revista de Reshef & Guelich (2012), se plantea la cuestión de la relación entre los músculos del compartimento posterior de la pierna (ver

Imagen 3) y la localización del dolor. Por eso, se nombró principalmente a varios músculos por su responsabilidad en la periostitis. Se dice que el músculo o los músculos en cuestión son responsables de la tensión y la tracción en su zona de inserción, que es el periostio, y que, por tanto, provocan la inflamación de este último. Los músculos principalmente afectados son el tibial posterior, el sóleo y el flexor largo del dedo gordo. A nivel anatómico de estos músculos, tras la disección, no existe consenso sobre uno o varios músculos responsables de la periostitis. Según las disecciones postmortem en numerosos cadáveres, aparecen muchas variaciones sobre la presencia o ausencia de fibras musculares que se insertan en la parte distal de la tibia. En efecto, según los autores, los enlaces musculares encontradas son variadas. Ciertos autores describen el sóleo como responsable de la tensión mecánica ejercida sobre el periostio (Michael & Holder, 1985); otros describen un punto de intersección entre el tibial posterior y el flexor largo del dedo gordo que es responsable del dolor (Saxena et al., 1990); otros excluyen el tibial posterior e involucran solo el flexor largo del dedo gordo y el sóleo en el dolor (Beck & Osternig, 1994); otros describen el flexor largo del dedo gordo como responsable del dolor con un enlace con la deformación del dedo (Garth & Miller, 1989).

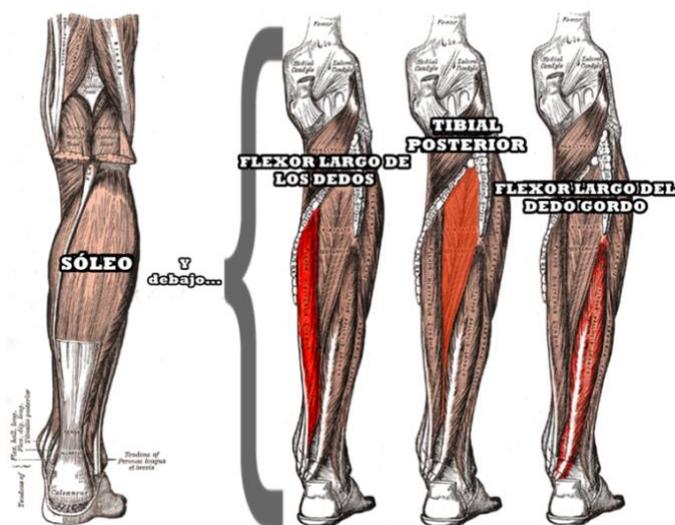


Imagen 3: Los músculos del compartimiento posterior (Rodríguez, 2015)

Factores de riesgo en la teoría muscular

El desarrollo de la periostitis es multifactorial (Becker et al., 2018). Como todas las patologías, la periostitis tiene sus propios factores de riesgo. Estos factores pueden estar de origen intrínseca, es decir propios a la persona, a sus características fisiológicas, biológicas u ser de origen extrínseca es decir, condicionado por los factores

externos a la persona como, por ejemplo, el equipamiento, el lugar de entrenamiento, etc.

En primer lugar, en las lesiones ligadas con la carrera, se ha demostrado que una historia previa de lesión en la pierna es un factor de riesgo para nuevas lesiones y esto incluye la periostitis tibial (Van der Worp et al., 2015). Entonces, una historia previa de periostitis es un factor de riesgo importante de padecer este trastorno.

Los factores intrínsecos son compuestos por la postura del pie, la alineación, la flexibilidad y la fuerza del tobillo; la pronación del pie está también considerada como factor de riesgo de la periostitis (Reshef & Guelich, 2012). La posición del pie se puede determinar por varios tests como el "Foot Posture Index"(FPI). El FPI mide la posición del pie con 6 ítems para determinar si el pie se encuentra en posición pronadora, neutra o supinadora. Otra prueba que puede confirmar la posición pronadora del pie es la prueba del "Navicular drop test" (Bennett et al., 2001). Esta prueba mide la distancia entre el hueso navicular y el suelo bajo carga y en posición de reposo.

A nivel biomecánico, con el análisis de la carrera, se nota que una elevación precoz del talón, una torsión abductora y un paso sin impulso son factores de riesgo de la periostitis (Tweed et al., 2008). La fuerza de ciertos músculos está también considerada como factor de riesgo de periostitis. En efecto, una baja fuerza de los abductores de cadera y una cintilla iliotibial delgada son factores de riesgo de la periostitis (Becker et al., 2018). Esto permite hacer el enlace con el hecho que el músculo actúa en forma de tracción sobre el periostio por falta de rendimiento. Por las mujeres, existe una correlación de factores que están relacionados con la periostitis: el peso corporal y un rango de movimiento limitado en rotación interna de cadera son factores de riesgo de periostitis (Yagi et al., 2012).

Los errores de entrenamiento son la causa del 60% de estos casos de periostitis. (Kortebein et al., 2000). De hecho, el aumento de la intensidad del entrenamiento, la distancia, los cambios en el terreno de entrenamiento y el calzado son factores que contribuyen al desarrollo de la periostitis (Kortebein et al., 2000). Esto permite entender el concepto en el cual los músculos están sobresolicitados y, como ya explicado en la fisiopatología (ver parte 1.5.2.), desencadenan en una inflamación de la estructura.

1.5.2.2. La teoría de “bone stress injuries” (BSIs) o “estrés óseo”

Más recientemente, en esta segunda teoría, la causa de la periostitis podría ser atribuida a un flexión (bending) o arqueamiento (bowing) de la tibia que conduce a una acumulación de daño sobre el hueso (Reshef & Guelich, 2012). Llamaremos este concepto como “estrés óseo”. Con estas consideraciones, el origen del desarrollo de la periostitis proviene de la reacción de estrés ligada a una sobrecarga ósea repetitiva. Esta teoría coincide con el concepto de sobresolicitación como mecanismo de lesión importante en el running descrito previamente. Yates & White (2004) han también descrito este fenómeno de dolor causado por un estrés óseo. Para entender este fenómeno, se debe explicar la fisiología del tejido óseo.

El tejido óseo se remodela constantemente y por esto, los osteoclastos y los osteoblastos tienen un papel esencial (Warden et al., 2014). Cuando el hueso necesita una remodelación para la adaptación, primero, los osteoclastos desempeñan el papel de células de reabsorción ósea y los osteoblastos forman nuevo tejido óseo en los grupos celulares del hueso (Warden et al., 2014). Durante la actividad dinámica como por ejemplo la carrera, daños microscópicos aparecen en la tibia por las actividades de los osteoclastos debido a la fuerza de compresión en el borde posteromedial de la tibia (Warden et al., 2014). Después la actividad de los osteoclastos, los osteoblastos depositan nuevo tejido óseo para resistir la futura carga sobre el hueso (Warden et al., 2014). Sin embargo, si se sobrepasa el tiempo mínimo de remodelación ósea compuesto de la actividad de los osteoclastos y osteoblastos, la reabsorción ósea (o “destrucción” ósea) aumenta y la remodelación (o “construcción” ósea) disminuye lo que conduce a daños microscópicos en el estrés submáximo repetitivo (Warden et al., 2014). En otras palabras, la adaptación del tejido óseo al estrés mecánico no se lleva a cabo. En cuanto a la cuantificación, la cantidad de daño microscópico depende de la magnitud de la carga durante la actividad (Waldorff et al., 2010). Entonces, a más carga aplicada al hueso, más daño acumulado en el hueso. En este contexto, cuando las cargas recibidas por el hueso se repitan y son mayores a la capacidad de adaptación del hueso, aparece un desequilibrio o “imbalance” y una acumulación de daño. Este ciclo de acumulación de daño microscópico óseo puede causar gradualmente: reacción de estrés óseo tibial, fractura de estrés óseo tibial y, finalmente, fractura ósea completa (Warden et al., 2014). Este fenómeno está descrito en la imagen 4.

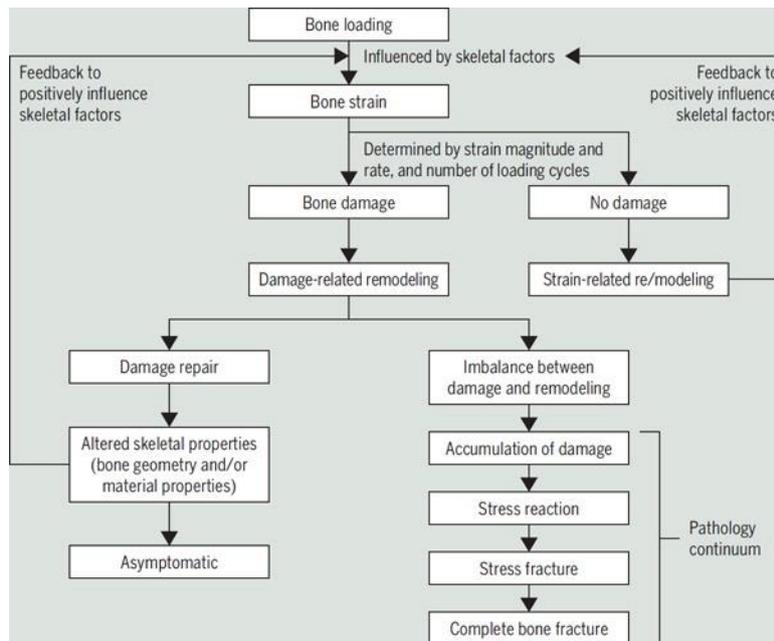


Imagen 4: Propuesta de fisiopatología de las lesiones de estrés óseo (Warden et al., 2014)

Además, la tibia en su porción distal es un lugar común de fractura tibial por estrés debido al hecho que tiene un radio estrecho (Warden et al., 2014). Los huesos con pequeños radios, para soportar el peso, tienen más carga y fuerza de flexión. El aumento de la fatiga muscular, o disfunción, puede causar el aumento de la tensión tibial (Warden et al., 2014). Por lo tanto, teniendo en cuenta estas dos características, una hipótesis podría ser que la disfunción muscular por uso excesivo puede conducir a un aumento de la tensión de flexión tibial que supera la adaptación ósea (Yates & White, 2004). Como explica bien Mita T. (2021) en su trabajo de grado, la literatura revela cuatro hallazgos importantes que apoyan el estrés óseo tibial como patomecánica de la periostitis:

- anomalías óseas y del periostio en una gammagrafía ósea trifásica,
- signos positivos de lesión por estrés tibial en una tomografía computarizada,
- inflamación de la médula ósea y engrosamiento del periostio en una resonancia magnética,
- menor densidad ósea en una DEXA.

La carga óptima o “envelope of function” para la adaptación en la remodelación ósea:

Como se ha explicado anteriormente en la fisiopatología de la teoría ósea, la carga aplicada sobre el hueso es el elemento central que condiciona la aparición de la

periostitis. Es importante cuantificar esta carga. Para esto, Dye (1996) describe que “el rango de carga que se puede aplicar a una articulación individual durante un período determinado sin sobrecarga suprafisiológica o falla estructural puede denominarse envelope of function”. Es decir, existe un rango de carga en el que una estructura anatómica se adapta a los esfuerzos recibidos, pero si se supera, entonces la estructura está sujeta a un riesgo de lesión. Encontramos en la imagen 5 la ilustración de esta “envelope of function”

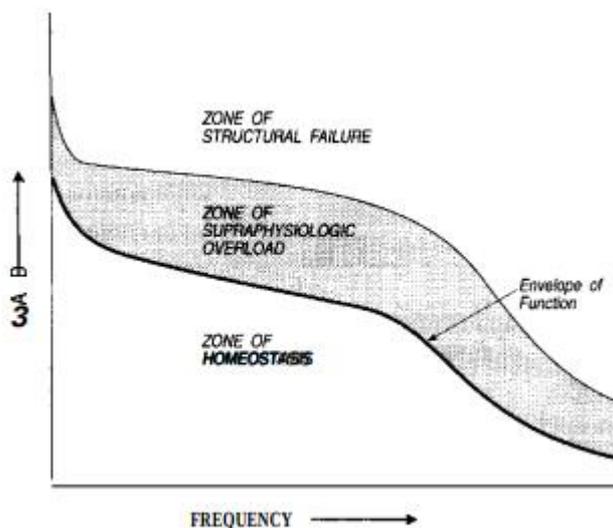


Imagen 5: El modelo de “envelope of function” (Dye, 1996)

Adaptando este modelo a la fisiopatología de la periostitis, las cargas que recibe la tibia deben incluirse en la “zone of homeostasis” (zona de homeostasis) para tener una carga óptima que permita la adaptación. Si las cargas recibidas se acumulan y llegan a la zona gris, entonces la estructura está sujeta a un riesgo de lesión, esta es la zona de “supraphysiologic overload” (sobrecarga fisiológica). Finalmente, si las tensiones aún se acumulan, la estructura entra en la “zone of structural failure” (zona de falla estructural) donde la estructura se daña.

Sin embargo, esta zona de homeostasis no es fija. En efecto, con el entrenamiento (o rehabilitación en el caso de corredores lesionados) se podría ampliar esta zona de homeostasis gracias a una progresividad en las cargas recibidas. En caso de lesión, esta zona de homeostasis se reduce y, por tanto, las cargas que puede tolerar la estructura son menores. En la siguiente imagen 6, del lado izquierdo se representa la “envelope of function” en un atleta sin lesión con una gran área de homeostasis representada por el área “manageable” y del lado derecho, en un atleta lesionado, esta misma zona se reduce y, por tanto, las cargas tolerables por la estructura son menores.

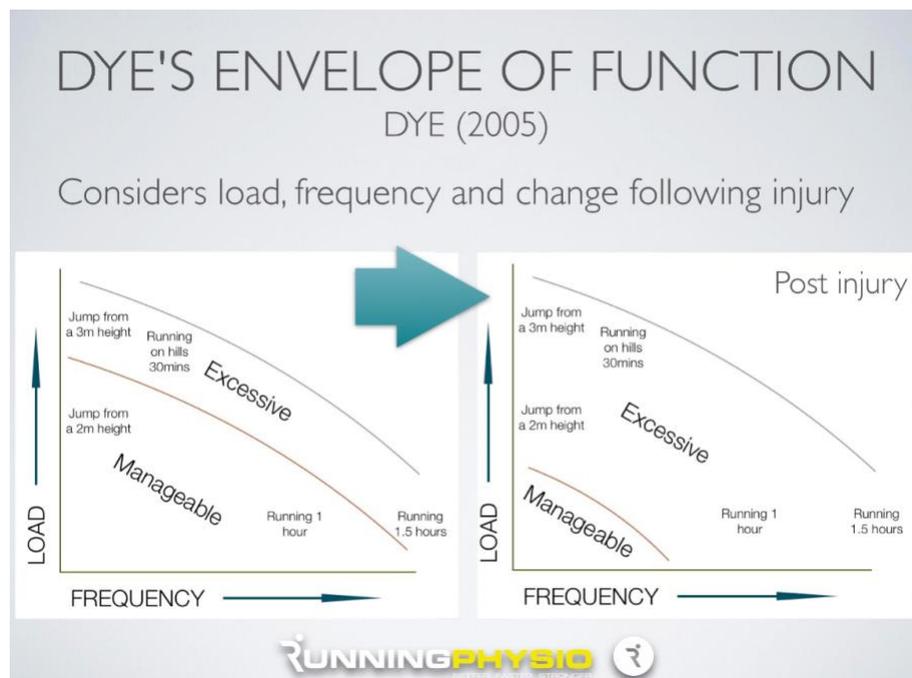


Imagen 6: El modelo de “envelope of function” en las lesiones (Goom, 2015 adaptado de Dye, 2005)

En la siguiente sección, presentaremos los diversos factores de riesgo que varían el equilibrio de esta “envelope of function”. Esto permite una mejor comprensión del impacto del estrés mecánico que recibe la tibia durante la práctica de la carrera, así como su manejo. Luego veremos el vínculo entre las fuerzas de reacción al suelo y la carga aplicada al hueso para comprender toda la biomecánica relacionada con la fisiopatología de la periostitis.

Factores de riesgo en la teoría ósea:

Teniendo en cuenta la fisiopatología en esta teoría, los factores de riesgo son ligados al mecanismo del estrés óseo (Warden et al., 2014). Por esto, considerando que el estrés óseo depende de la interacción entre la carga aplicada al hueso y la habilidad del hueso a soportar la carga, los factores de riesgo se pueden dividir en las dos categorías siguientes: (1) carga sobre el hueso y (2) habilidad del hueso a soportar la carga aplicada (Warden et al., 2014) que detallo a continuación.

(1) Los factores que modifican la carga aplicada al hueso:

La carga aplicada al hueso es multifactorial y está condicionada por fuerzas internas e externas que están difícil de medir, pero, Warden et al., en 2014 nos indican los factores siguientes como riesgo de padecer de una periostitis:

- **factores biomecánicos:** un defecto en la técnica de la carrera puede contribuir al desarrollo de esta patología debido a la relación entre la reacción de las fuerzas al suelo (o GRF: Ground Reaction Forces) y el cuerpo. En efecto, una acumulación de fuerzas sobre el hueso con una mala alineación de los segmentos corporales es un gran factor de riesgo del desarrollo de la periostitis. Dentro de estos factores se encuentran factores antropométricos, técnica de carrera...
- **factores ligados al entrenamiento:** la carga de entrenamiento es un factor clave en el desarrollo de la periostitis, los cambios de magnitud, intensidad... repercuten fuertemente en la carga aplicada al hueso. De hecho, de nuevo, un aumento de la velocidad de carrera incrementa las GRF y, por tanto, la carga aplicada al hueso. En este contexto, un corredor con un historial de actividad física importante tiene menos probabilidades de desarrollar la patología. En conclusión, los cambios demasiado radicales en el entrenamiento son los errores que favorecen la aparición de patologías porque alteran el equilibrio entre la formación y la eliminación de microdaños óseos.
- **factores musculares:** los músculos actúan como protectores de la carga acumulada por el hueso. Sin embargo, cuando la función muscular disminuye (fatiga, disfunción...), la tasa de carga del hueso aumenta y también lo hacen los GRF. La cinemática también puede modificarse y, por tanto, los movimientos óseos y las tensiones asociadas también pueden modificarse y, en consecuencia, aumentar los daños.
- **las superficies de carrera:** no es tanto la superficie en sí lo que se incrimina, sino la falta de habituación o el cambio brusco de tipo de superficie. De hecho, en su remodelación ósea, el hueso necesita tiempo para regenerarse, pero si se aplica un cambio brusco de tensión, los GRF aumentan y refuerzan la fisiopatología que desencadena la lesión.
- **El calzado y las zapatillas:** estos se encuentran en la interfaz entre el pie y el suelo, por lo que actúan como filtros para reducir las fuerzas de impacto sobre el suelo y, por tanto, las cargas óseas

(2) Los factores que influyen la habilidad del hueso a soportar y resistir la carga sin acumulación de daño:

La carga sobre un hueso viene definida por la deformación del mismo (Warden et al., 2014). La carga aplicada y la capacidad del hueso para resistir la deformación en la dirección de la carga dependen de la cantidad y la velocidad de deformación del hueso cuando se aplica una carga (Warden et al., 2014). Para una determinada carga, los huesos con baja rigidez experimentan una mayor deformación y, por tanto, sufren mayores microdaños (Warden et al., 2014). Las características esqueléticas que influyen en la rigidez ósea incluyen la cantidad de material óseo presente (masa) y su distribución (estructura) y están relacionadas con el riesgo de periostitis (Warden et al., 2014). La reducción de la masa y el tamaño óseos son factores de riesgo y Warden et al. (2014) definen los factores modificables que contribuyen a estas características:

- **Historial de actividad física:** la actividad física regular en el pasado del corredor es un factor protector de la periostitis. Las personas más acostumbradas a la actividad física y al estrés óseo tienen menos probabilidades de desarrollar periostitis. La estimulación del organismo durante el crecimiento o la experiencia deportiva influye en la adaptación ósea.
- **Disponibilidad de energía:** las alteraciones en la disponibilidad de energía reducen la capacidad del hueso para resistir las cargas y/o modifican su capacidad para reparar los microdaños. El resultado es un mayor riesgo de lesiones. Por lo tanto, una ingesta alimentaria insuficiente para cubrir el gasto energético asociado al ejercicio es un factor de riesgo para el desarrollo de esta afección. Las mujeres, debido a sus factores intrínsecos de disponibilidad de energía, función menstrual y masa ósea (también conocidos como la tríada de la atleta femenina), corren mayor riesgo que los hombres.
- **Estado del calcio y la vitamina D:** el calcio y la vitamina D tienen funciones propias pero importantes en el metabolismo óseo. El daño óseo crónico suele definirse por una disminución de estos niveles (Nieves et al., 2010). Los atletas que corren deben garantizar una ingesta suficiente de calcio y vitamina D para cumplir o superar la cantidad dietética recomendada y reducir el riesgo.

El esquema siguiente (Imagen 7) representa estos datos de manera sintética.

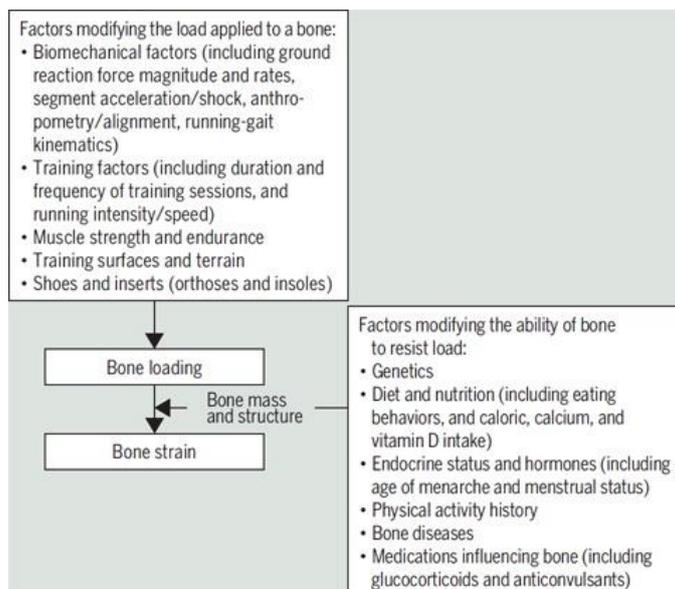


Imagen 7: Factores de riesgo de las lesiones óseas (Warden et al., 2014)

Por lo tanto, se puede observar que ciertos factores de riesgo se encuentran en ambas teorías de los mecanismos de la periostitis, sin embargo, no se explican de la misma manera de una fisiopatología a la otra. Sin embargo, como puede verse más claramente en los factores de riesgo enumerados anteriormente en la teoría ósea, la mayoría de ellos influyen directamente en las fuerzas aplicadas al hueso a través de ese factor mecánico de las GRF o "fuerzas de reacción del suelo". Estos GRF parecen ser las fuerzas que es importante cuantificar, controlar para prevenir la aparición o permitir la rehabilitación de un corredor con este síndrome.

1.5.2.3. Un origen multifactorial?

Por último, también es posible que la causa de la periostitis sea multifactorial, provocada por una combinación de tracción muscular y sobrecarga ósea. En efecto, “un bajo nivel de fuerza de los músculos de la pierna tiene una influencia negativa sobre el proceso de adaptación ósea” (Reshef & Guelich, 2012). Esta falta de fuerza resulta en el que los músculos no pueden resistir a las cargas, cuyo resultado es una acumulación de daño más importante de la tibia.

Respecto a la carga ósea, puede tener dos orígenes: un origen externo, que corresponde a los GRF, y un origen interno que procede de la relación músculo-hueso (Matijevich et al., 2019). Este doble origen genera una dificultad a la hora de evaluar el papel de cada uno en el proceso de lesión (Warden et al., 2021). Siendo los dos muy dependientes uno del otro, es difícil cuantificar cuál de los dos tiene mayor importancia,

por lo que es preferible referirse al manejo de la carga aplicada a la tibia en todos sus aspectos.

En ambas teorías de la fisiopatología de la periostitis existe un carácter común que incluye principios generales sobre los factores de riesgo. En efecto, se sabe que los corredores recreativos aumentan la intensidad del entrenamiento de manera rápida, y que en este contexto, esto favorece la aparición de las lesiones por sobrecarga (Larsen et al., 2016). Las características ligadas al entrenamiento (frecuencia, intensidad, volumen semanal y variabilidad) son los primarios necesarios a tener en cuenta en este perfil de fisiopatología (Larsen et al., 2016). Los otros factores no relacionados con el entrenamiento, más intrínsecos a la persona, como la masa corporal o una historia previa de lesión por ejemplo se pueden considerar como modificadores de efecto en este contexto (Larsen et al., 2016). Este mismo autor presenta bien los varios factores de riesgo generales de la patología con la imagen 8.

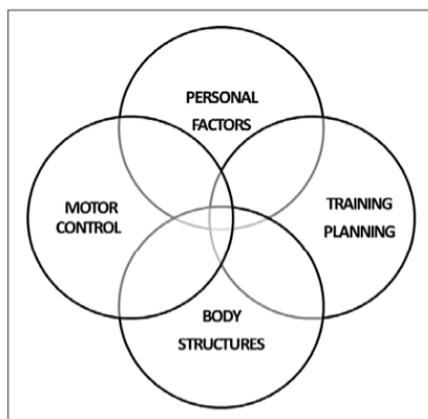


Imagen 8: El origen multifactorial de la periostitis (Larsen et al., 2016)

Finalmente, un punto importante notado por Shorten, (2001) es el concepto de individualidad en la fisiopatología de la lesión. Cada corredor tiene sus propios factores personales que pueden explicar la aparición de esta patología.

1.5.3. Las “Ground reaction forces” (GRF) o fuerzas de reacción al suelo

La evolución de la literatura nos informa de que el origen de la periostitis se debe muy probablemente a una reacción de estrés óseo. De hecho, Mita T. (2021) ha recientemente bien descrito, en su revisión bibliográfica, que existen más pruebas de una reacción de estrés óseo como etiología de la periostitis.

La teoría del estrés óseo ya explicada tiene como componente central la carga aplicada al hueso que provoca el desequilibrio en la remodelación para la adaptación de este. Esta carga ósea, como ya explicado en los factores de riesgo, es muy dependiente de las Ground Reaction Forces (GRF) y entonces, es importante definir las.

1.5.3.1. Definición

Cuando una persona corre (o anda), el pie y el suelo ejercen una fuerza igual y opuesta entre sí, es lo que llamamos las GRF (Novacheck, 1998). Estas fuerzas son las fuerzas producidas por el suelo en reacción a la fuerza proporcionada por el pie de la persona al impacto con el suelo. La dirección y la magnitud de las GRF están determinadas por la posición y aceleración del centro de masa del corredor (Novacheck, 1998). Estas fuerzas están representadas como ejemplo en la imagen 9

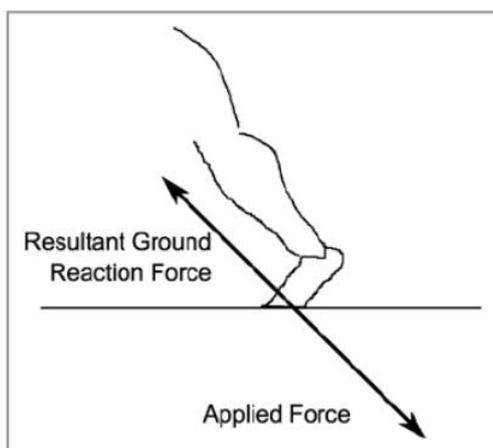


Imagen 9: Ejemplo de representación de las GRF (Beckham et al., 2014)

1.5.3.2. La importancia de los GRF en los corredores

Durante la carrera, el corredor golpea el suelo aproximadamente 600 veces por kilómetro, y con cada contacto se le devuelve una GRF (Cavanagh & Lafortune, 1980). La mayoría del tiempo, los GRF se expresan como GRF verticales porque así es como aparecen durante la carrera en terreno plano (Novacheck, 1998). Pero las GRF pueden también expresarse con dos otros componentes que son atrás-adelante y medial-lateral (Keller et al., 1996). Las fuerzas de impacto durante la carrera varían en magnitud de aproximadamente 1,5 a 5 pesos corporales (Hreljac, 2004). Las GRF en la carrera dependen de varios factores externos, como la masa del corredor, la carga aplicada, la velocidad de carrera, la técnica de carrera, la superficie de contacto del pie en el suelo y de la superficie de apoyo (Keller et al., 1996).

1.5.3.3. Las GRF y las lesiones óseas

Como explican Warden et al. (2014), los corredores con antecedentes de lesiones óseas presentan mayores tasas de carga relacionada con los GRF. Los diferentes patrones de movimiento durante la carrera pueden alterar la magnitud y/o la velocidad de la carga ósea. También pueden cambiar la dirección y la distribución en la que se carga un hueso. El resultado puede ser un aumento de la carga en una zona ósea menos acostumbrada al estrés mecánico. Lo importante en la gestión de las GRF es conocer los cambios recientes que está experimentando el corredor y a los que debe adaptarse. Estos cambios pueden estar relacionados con "(1) superficies menos flexibles (por ejemplo, pasar de una cinta rodante a correr sobre el suelo), que pueden aumentar la magnitud y la velocidad de las cargas óseas; (2) superficies muy flexibles (por ejemplo, la arena), que pueden aumentar el gasto energético e influir en los factores de riesgo y la cinemática relacionados con los músculos; (3) pendientes descendentes, que pueden disminuir la atenuación de los impactos y aumentar la magnitud y la velocidad de las cargas; y (4) terreno alterado, que puede alterar la cinemática para cargar sitios esqueléticos menos habituados".

En el contexto de una lesión ósea como es la periostitis, los corredores afectados tienen más presión en el pie durante toda la fase de apoyo, lo que contribuye al aumento de la carga ósea en el momento del impacto con el suelo (Becker et al., 2018). De este modo, a más cantidad de GRF (tanto de volumen como de intensidad), más presencia de carga ósea. Por lo tanto, es evidente que las GRF condicionarán las cargas recibidas por el hueso y modificarán así el equilibrio de la remodelación ósea.

1.5.3.4. Las GRF y las subidas

Las inclinaciones (positivas o negativas) de terreno tienen un papel importante en la modulación de las GRF (Gottschall & Kram, 2005). Mientras que el terreno descendente aumenta considerablemente las GRF, el terreno ascendente provoca una disminución de estas mismas (Gottschall & Kram, 2005). En efecto, a +9° de inclinación, las GRF al impacto del pie en el suelo son ausentes (Gottschall & Kram, 2005). El entrenamiento en pendientes también aumenta el gasto energético durante la carrera al mismo tiempo que reduce las cargas percibidas por el corredor (Vernillo et al., 2017). Además, más recientemente, Lemire et al., (2022) han demostrado que a igual demanda metabólica, las GRF están disminuidas de 53% con 5% de inclinación positiva y de 63% con 10% de inclinación positiva.

1.5.4. Diagnóstico

La detección de la patología de periostitis se basa principalmente en un diagnóstico diferencial. Para empezar, una anamnesis exhaustiva es el primer paso para diagnosticar una lesión de estrés ósea (Warden et al., 2014). Es importante descartar ciertas patologías como el síndrome compartimental crónico y la fractura por estrés. En el primer caso, los síntomas suelen centrarse en la parte muscular con una rápida reabsorción del dolor tras el esfuerzo, mientras que en el segundo caso el dolor es más focal (a diferencia de la periostitis que es más difusa) y aumenta progresivamente, pudiendo estar presente tanto de día como de noche. El atrapamiento de la arteria poplítea y de un nervio están también a descartar (Reshef & Guelich, 2012)

La segunda parte del diagnóstico se caracteriza por un examen físico. La tibia por sus características anatómicas se aprieta bien a la palpación, especialmente en su borde medial. Se debe buscar un dolor difuso generalmente los tercios medio y distal de la tibia, comenzando aproximadamente 4 cm proximal al maléolo medial y extendiéndose hasta aproximadamente 12 cm proximal (Kortebein et al., 2000). Algunas veces se puede buscar rubor, hinchazón y calor debido a la reacción inflamatoria acompañado de un engrosamiento del periostio o por las lesiones óseas de larga duración, un cal óseo (Warden et al., 2014). En esta parte de palpación también se debe excluir la presencia de una fractura por estrés y un síndrome compartimental crónico. Por el primero, como ya explicado, la palpación revela un dolor discreto y muy localizado en un solo punto tan a la palpación directa como a la percusión a distancia; por el segundo, el examen palpatorio es completamente normal y solo la actividad puede reproducir los síntomas. Además, la algometría de presión es una herramienta complementaria para evaluar el dolor, el estado de la lesión y el proceso de rehabilitación (Menéndez et al., 2020).

En la tercera parte, las imágenes médicas pueden utilizarse en pacientes. En caso de duda tras las dos primeras etapas del diagnóstico, se recurre a la imagen para descartar la presencia de una fractura de estrés (Reshef & Guelich, 2012). En este caso, las radiografías son el primer examen que debe realizarse (Kortebein et al., 2000). A continuación, la imagen médica con mejor especificidad y sensibilidad parece ser la resonancia magnética (RM). En efecto, gracias a este examen, podemos constatar que el edema perióstico y óseo son fácilmente visibles (Fredericson et al., 1995).

1.5.5. Clínica

El dolor de la periostitis suele aparecer gradualmente en el corredor, con algunas excepciones en las que los corredores solamente acuden a consulta una vez que se ha establecido el estadio de fractura por estrés (Warden et al., 2014). Se considera que a más pronto se diagnostique al corredor, mejor percibirá el organismo el tratamiento propuesto y, por tanto, evolucionará de forma positiva (Warden et al., 2014). Al principio del proceso, el dolor puede aparecer al comienzo de una carrera, remitir durante el esfuerzo, solo para reaparecer al final de la sesión de entrenamiento o justo después de la sesión (Kortebein et al., 2000). Se define como ligero y difuso al inicio del proceso y en momentos concretos del ciclo de marcha (Warden et al., 2014). En esta fase, el dolor suele desaparecer con el reposo (Kortebein et al., 2000) y, por lo tanto, a menudo es ignorado por los corredores (Warden et al., 2014). A medida que la afección progresa con el entrenamiento continuado, el dolor aparece antes, se hace más intenso, agudo y persistente (Kortebein et al., 2000), y no desaparece durante la sesión de entrenamiento, sino que disminuye una vez finalizada la carrera (Warden et al., 2014). Con el aumento de la cronicidad, el dolor puede estar presente al caminar o al descanso (Kortebein et al., 2000). Con el tiempo, el dolor puede provocar una restricción en la práctica del running o la necesidad de dejar de entrenar por completo (Warden et al., 2014). Como se ha descrito anteriormente, el dolor suele aparecer en los dos tercios distales del borde posteromedial de la tibia. Los síntomas suelen aparecer tras un aumento repentino de la frecuencia, duración o intensidad del entrenamiento (por ejemplo, un aumento repentino de la distancia recorrida) (Kortebein et al., 2000).

1.5.6. Tratamiento

Por su etiología poco definida e incierta, el tratamiento de la periostitis se basa en los siguientes principios fundamentales: el control de los síntomas y la gestión de los factores que han conducido al desarrollo de la patología (Moen et al., 2014). Existe un vacío de evidencia sobre el “gold standard” del tratamiento de la periostitis por las varias razones ya explicadas (Winters et al., 2013), pero, “el objetivo principal del tratamiento está orientado a aliviar el dolor y permitir que los afectados vuelvan a practicar el deporte sin molestias” (Alfayez et al., 2017).

Con estas consideraciones, Warden et al., (2014) proponen dividir el tratamiento en dos partes: (1) el inicial manejo con el control de los síntomas y (2) la vuelta a la carrera.

1.5.6.1. Fase 1: Inicial manejo, control de los síntomas según Warden et al., (2014)

Esta fase se compone de varios parámetros:

- **Modificación / Cesación de actividad:** el objetivo principal en un primer tiempo es disminuir y hacer desaparecer el dolor en las actividades de la vida diaria. Por esto, se suele parar la carrera para permitir reducir las cargas recibidas por la tibia y permitir la remodelación ósea. Si es necesario (en los casos más avanzados), ciertas ayudas técnicas pueden ser requeridas (botas neumáticas por ejemplo) para mantener un paso normal. La presencia de dolor indica una carga demasiado importante para la fase de remodelación ósea y se debe ajustar. Los AINEs en esta fase no son recomendados.
- **Identificación e inicial manejo de los potenciales factores de riesgo:** en esta fase inicial de manejo, detectar los potenciales factores de riesgo es fundamental para entender toda la carga que recibe el hueso. Por esto, hacer una revista de toda la actividad física y del running es necesario. No solamente la carga de entrenamiento se debe observar sino también algunos cambios como las superficies de entrenamiento, los zapatos o la técnica de carrera. Como toda anamnesis, se debe considerar otros factores como la historia de lesiones del corredor, la dieta (Ingestas de Vitamina D y calcio) para mantener la homeostasis ósea, y la historia familiar (enfermedades óseas familiar). Una análisis del ciclo de la carrera en una fase más avanzada será necesaria para detectar algunos déficits sospechados implicados en el proceso de lesión.
Por esto, ejercicios de potenciación muscular, resistencia y control de entrenamiento para trabajar sobre la longitud de los músculos y la movilidad de las articulaciones son generalmente empezados. Las regiones más tratadas son de la cadera, rodilla, tobillo, el CORE y los músculos intrínsecos y extrínsecos del pie.
- **Mantenimiento de la condición física:** para evitar el descondicionamiento del corredor, es importante buscar estrategias alternativas. Se puede usar del entrenamiento con bicicleta, practicar la natación, trabajar la cursa en agua profunda o trabajar la carrera en una cinta rodante antigravedad. La cursa en agua profunda ha demostrado buenos resultados en el mantenimiento de la condición física de los corredores pero también de los patrones de movimiento de la carrera, así como de la activación de las mismas cadenas de activación muscular.

- **Aceleración de la remodelación ósea:** los ultrasonidos pulsados de baja intensidad tienen la mejor evidencia en la capacidad de ayudar a la regeneración de los tejidos lesionados (Warden et al., 2014). Las ondas de choque también han demostrado efectos prometedores. Pero estos dos tratamientos aún necesitan ser trabajados para demostrar su valor real en el tratamiento de la periostitis. Por último, algunos agentes farmacéuticos han mostrado resultados favorables en la aceleración de la regeneración tisular, pero aún no existen pruebas válidas para su aplicación a la periostitis.

El control de los síntomas

Existe un gran número de tratamientos para la periostitis, pero ninguno ha demostrado evidencia de calidad (Menéndez et al., 2020). Sin embargo, en la lista siguiente encontramos los principales tratamientos ya existentes descritos por Mita (2021) en su trabajo:

- **Técnicas pasivas para aliviar el dolor:**
 - **Crioterapia:** la crioterapia consiste en aplicar frío por varios medios con el objetivo de eliminar el calor del cuerpo.
 - **Iontoforesis:** la iontoforesis es una técnica transdérmica de administración de fármacos que se utiliza para administrar medicamentos ionizados en la zona de tratamiento mediante una corriente continua de bajo voltaje.
 - **Fonoforesis:** esta técnica consiste en administrar una variedad de medicamentos a tejidos diana.
 - **Ultrasonidos:** los ultrasonidos consisten en efectos mecánicos no térmicos o de calentamiento térmico.
 - **Uso de material portátil:** dos materiales son conocidos: el tratamiento con una ortesis neumática de pierna o una media de compresión
 - **Tape elástico terapéutico**
 - **Ortesis**
- **Técnicas activas para aliviar el dolor**
 - **Estiramientos**
 - **Potenciación muscular** del compartimiento posterior de la tibia

Una revisión de literatura ha demostrado que las órtesis de soporte del arco plantar permiten una distribución de la presión del pie, y que las ondas de choque podrían reducir el nivel de dolor (Menéndez et al., 2020).

1.5.6.2. Fase 2: Vuelta al running según Warden et al., (2014)

- **Inicio y progresión de la carrera inicial:** un programa controlado de carga de entrenamiento es un elemento clave para la reincorporación segura a la práctica. El programa propuesto por estos autores requiere que el corredor:
 - no tenga dolor durante al menos una semana antes de empezar a correr. Si esta condición se cumple, empezará correr en días alternos durante quince días a la mitad de su ritmo y distancia habituales.
 - A continuación, la distancia y la frecuencia de la carrera se aumentan gradualmente a lo largo de tres a seis semanas hasta alcanzar el nivel anterior a la lesión del atleta.
 - Una vez que el atleta puede correr la distancia de entrenamiento habitual con la frecuencia habitual, se aumenta gradualmente el ritmo.
 - Si el atleta desarrolla síntomas en cualquier momento durante la carga incremental, se deja de correr durante al menos 1-2 días y se reanuda a un nivel inferior.

En la imagen 10 se representa de manera esquemática el proceso y en el anexo 1 se encuentra el ejemplo de programa propuesto por estos autores.



Imagen 10: Representación esquemática de vuelta a la carrera según el modelo de Warden et al., (2014). Elaboración propia

El uso de un programa de carga progresiva guiado por el dolor (como descrito anteriormente) para tratar la lesión permite al corredor y al médico facilitar la recuperación con seguridad que no habrá progresión de la patología. La duración del programa debe adaptarse a cada tipo de periostitis y a cada individuo en función de sus sensaciones. Así pues, todos los pacientes deben seguir programas individualizados.

- **Diseño del programa de entrenamiento:** Aumentar o cambiar el programa de entrenamiento con demasiada rapidez es un factor de riesgo de lesión. Por eso es importante controlar el programa y limitar los cambios bruscos. Por esta razón, la utilización de un calendario cíclico es interesante para realizar transiciones y mantener el equilibrio del remodelado óseo. Se puede programar semanas de reposo o con actividades de sustitución con menos carga ósea (ej: natación) en un ciclo de trabajo para permitir mantener el equilibrio. Una regla empírica indica un cambio no superior al 10% por semana para evitar causar lesiones, pero esta regla debe adaptarse a cada individuo.
- **Entrenamiento en cinta antigraavitatoria:** inicialmente, se puede utilizar una cinta antigraavitatoria en lugar de correr en el suelo, ya que este entrenamiento puede permitir al atleta correr a mayor intensidad y más pronto durante la recuperación, al tiempo que disminuye la carga ósea gracias al control de las GRF que se pueden modular y disminuir. Así pues, este aparato puede utilizarse para mantener la forma física a la vez que se protege la periostitis del paciente. El programa consiste en el aumento progresivo del tiempo de carrera con un peso corporal de 50-70%. Se aumenta gradualmente la intensidad y en la última etapa se disminuye el efecto antigraavedad para volver a un peso corporal total.
- **Reeducación de la carrera:** Dado que en la periostitis también influyen factores biomecánicos, es importante identificar y tratar la mecánica subyacente de la carrera del corredor. En los factores de riesgo, hemos hablado de la carga ósea y su estrecha relación con las GRF. Reduciendo la magnitud y la velocidad de la carga ósea, se puede aumentar el número de ciclos de carga hasta la acumulación de microdaños y el fallo por fatiga. Actualmente, se están investigando varias técnicas de reentrenamiento de la carrera dirigidas a repartir las cargas óseas en otros sitios, modificando las GRF. Ejemplos de este proceso son el uso de "biofeedback", el aumento de la cadencia de zancada y la modificación del contacto inicial (front foot vs rear foot).

1.5.7. La cirugía

La cirugía está raramente indicada en la periostitis pero, en algunos casos, se ha practicado (Reshef & Guelich, 2012). Las opciones quirúrgicas son la fasciotomía posterior con o sin cauterización de la cresta tibial posteromedial (Yates et al., 2003).

Según estos autores, la cirugía reduce el dolor, pero, como la mayoría se recupera con tratamiento conservador, la cirugía se reserva para los casos recalcitrantes.

1.5.8. Prevención y prognosis

A nivel de la prevención de la periostitis, en los diversos artículos sobre la prevención de esta, se estudiaron varias intervenciones, pero de ellas solo una plantilla amortiguadora mostró una reducción de la incidencia de la periostitis (Moen et al., 2009). El punto más importante en la prevención de la periostitis es el control de los factores de entrenamiento (Deshmukh & Phansopkar, 2022) para mantenerse en una “envelope of function” ya descrita.

Un punto importante notado por Shorten, (2001) es el concepto de individualidad en la fisiopatología de la lesión. Cada corredor tiene sus propios factores personales que pueden explicar la aparición de esta patología y la predisposición de sufrir de esta lesión.

Para concluir, el tiempo aproximado de recuperación descrito es de 16 a 18 semanas (Menéndez et al., 2020).

1.6. Justificación del tema

Hemos visto en los antecedentes ya descritos que la periostitis tiene una fisiopatología compleja y multifactorial. Sin embargo, los estudios actuales de diagnóstico por imagen indican que la periostitis es muy probablemente una patología ósea y desencadenada por la carga inadecuada (aplicada a la tibia) que impide una adaptación correcta de las estructuras (Bergman et al., 2004).

Dentro de los factores que desencadenan la periostitis, las GRF tienen un papel clave en la fisiopatología, ya que condicionan la cantidad de carga que recibe la tibia durante la carrera (Warden et al., 2014). Esta cantidad de carga recibida condiciona la acumulación de daños óseos y conduce así, a una adaptación en caso de que permanezcan dentro de una "envelope of function" tolerable para el corredor (Dye, 2005). Por el contrario, si estas cargas se acumulan y superan la capacidad de adaptación del corredor, entonces el equilibrio se invierte y el corredor puede sufrir lesiones (Warden et al., 2014). Para controlar esta carga, hay que tener en cuenta los factores de entrenamiento, y un factor muy importante que permite modular las cargas es la pendiente del terreno (Gottschall & Kram, 2005). Correr en subidas reduce la carga

ósea sobre la tibia y permite así al atleta permanecer en una zona de adaptación ósea (Gottschall & Kram, 2005) trabajando en las mismas condiciones metabólicas que una carrera en terreno plano (Vernillo et al., 2017) .

Sin embargo, sabiendo la origen multifactorial de la carga ósea (interna vs. externa) (Matijevich et al., 2019), es difícil de evaluar el papel de la pendiente del terreno sobre las lesiones óseas (Warden et al., 2021). En efecto, a pesar de una reducción de las GRF (factor externo), la pendiente (en inclinación positiva) también induce una mayor carga muscular (factor interno), que a su vez puede tener un papel en el mecanismo de lesión (Matijevich et al., 2019 & Warden et al., 2021). Así pues, un programa de carrera en subida adaptado y progresivo podría, por tanto, permitir una adaptación de los tejidos musculares y óseos que disminuirán la carga ósea y como resultado permitir una buena rehabilitación de la periostitis.

Volver a correr en las mejores condiciones y lo más rápidamente posible sin molestias es el objetivo principal por un corredor que se lesionó (Alfayez et al., 2017). Entonces centraremos nuestra actuación en la optimización de la vuelta a correr lo más rápidamente posible. Por eso, se centrará en una progresión de cargas para permitir una adaptación correcta de las estructuras. Se usará de la modificación de los factores de riesgo ligados a las GRF para proponer una vuelta a la actividad en las mejores condiciones posibles usando el trabajo en subidas, controlando así los varios factores que condicionan la carga ósea. Este concepto de rehabilitación aún no se ha descrito en la literatura y parece interesante trabajar en esta dirección para comprender la interrelación entre la pendiente (positiva) del terreno y de las GRF en la periostitis con el fin de proponer y adaptar el mejor tratamiento posible y promover un retorno óptimo a la carrera para los corredores.

2. Hipótesis y objetivos

2.1. Hipótesis

Sabiendo que las GRF tienen un impacto significativo en la carga ósea, y que las subidas les disminuyen, ofrecer un programa de vuelta a la carrera utilizando la pendiente como método de progresión de las GRF es más eficaz en comparación con una vuelta a la carrera clásica.

El uso del entrenamiento en subida con el retorno a la carrera permite un mejor retorno a la carrera, en comparación a la carrera en terreno plano, en los corredores de 18-65 años con periostitis.

2.2. Objetivos

Objetivo general:

Comparar el tiempo de vuelta a la carrera del entrenamiento en subidas con el entrenamiento en terreno plano en los corredores de 18 a 65 años con periostitis.

Objetivos específicos:

Gracias a este programa, encontramos varios objetivos secundarios:

- Valorar el nivel de dolor del entrenamiento en subidas en comparación al entrenamiento en terreno plano en los corredores de 18 a 65 años con periostitis
- Evaluar la adherencia al tratamiento del entrenamiento en subidas en comparación con el entrenamiento en terreno plano en los corredores de 18 a 65 años con periostitis
- Registrar el número de recidivas a lo largo del protocolo en el entrenamiento en subidas en comparación con el entrenamiento en terreno plano en los corredores de 18 a 65 años con periostitis

3. Metodología

3.1. Ámbito de estudio

Este protocolo se realizará en el centro de rehabilitación “Caveirac Kine Sport” en la ciudad de Caveirac cerca de Nîmes (5 min) en Francia. Este centro de rehabilitación recibe una amplia variedad de pacientes, pero está especializado en los deportivos y, en particular, en los corredores. Es un centro donde los fisioterapeutas son formados por el organismo “La clínica del corredor” entonces tienen una buena reputación entre los corredores y están acostumbrados a trabajar con este tipo de atleta. Además, al ser los únicos con estas formaciones en los alrededores de la ciudad de Nîmes (principal ciudad de la región), muchos médicos de atención primaria derivan pacientes corredores

a este centro de rehabilitación. Entonces, a continuación, nuestro estudio se centrará en la ciudad de Nîmes y su aglomeración.

3.2. Diseño

Para llevar a cabo este estudio, vamos a realizar un ensayo clínico aleatorizado y controlado (ECAC). Este tipo de estudio permite establecer un enlace causa-efecto, y permite evaluar el efecto de un tratamiento/intervención sobre una patología. En este caso, permite evaluar nuestra hipótesis ya explicada en el aparte correspondiente (ver 2.1. Hipótesis).

Se realizarán dos grupos homogéneos de participantes repartidos al azar en cada grupo. Los dos grupos son un grupo control (GC) y un grupo experimental (GE). Cuando un corredor será diagnosticado de periostitis tibial, será registrado en un programa informático que lo asignará aleatoriamente en uno de los dos grupos.

El grupo control realizará un programa de vuelta a la carrera clásica en terreno plano (se detallará más adelante). Este programa será progresivo, utilizando parámetros como la progresividad del tiempo de carrera y la modulación de la intensidad.

El grupo experimental realizará un programa de vuelta a la carrera pero con un entrenamiento en subida (se detallará más adelante). Los corredores reiniciarán la carrera con una inclinación que se irá reduciendo progresivamente a lo largo del estudio. En este caso también habrá modulación del tiempo de carrera en suplemento de la modulación de la pendiente del terreno.

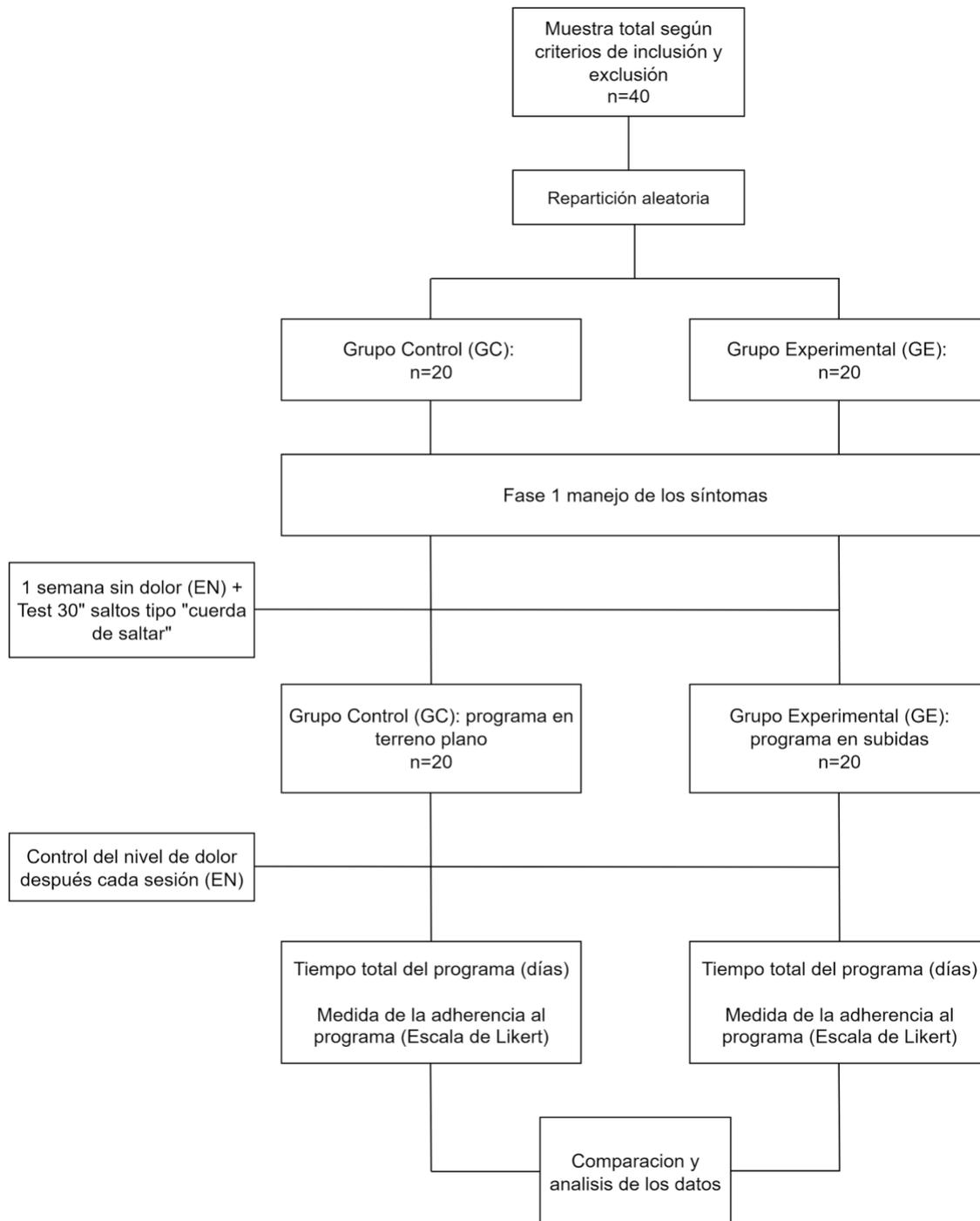


Imagen 11: Diagrama del diseño de la intervención. Elaboración propia (2023)

3.3. Población y muestra

La población diana de este estudio se compone de los corredores que tienen un diagnóstico de periostitis tibial. Para poder generalizar los resultados y evitar los prejuicios, la población de estudio se compondrá de corredores hombres que entran en

los criterios de inclusión y que presentan ninguno de los criterios de exclusión del ECAC. Además, los participantes deben aceptar el programa de rehabilitación propuesto.

Para poder definir la muestra, se necesita algunas informaciones. En efecto, se debe centrar el estudio sobre el área del centro de rehabilitación para poder reclutar los pacientes. Por esto, la población de estudio se encuentra en el área de Nîmes y su aglomeración (que incluye el centro de rehabilitación). Se centra sobre esta área solamente porque, debido a la frecuencia importante de las sesiones del protocolo, los pacientes deben encontrarse cerca del centro de rehabilitación por razones de logística. Con una búsqueda de datos demográficos, en el último censo (2020) la ciudad de Nîmes contaba 147.496 habitantes (Fuente: Institut national de la statistique et des études économiques: INSEE). A este total se suman los habitantes de la aglomeración urbana "Nîmes Metropole", y así en total, en el último censo (2017) contaba 185.059 habitantes (INSEE). De esta población, el 56% son hombres de entre 18 y 65 años, es decir, un total de 104.003 habitantes (INSEE).

Según el estudio "Baromètre du running" (2022), en Francia, el running está practicado por 12 millones de personas y por 5 millones de personas de manera regular (2 veces a la semana). Esto representa un 7% de la población total. Reduciendo estas estadísticas al área de actuación, representa unos 7280 corredores hombres de 18-65 años en la aglomeración urbana de Nîmes.

En el apartado de epidemiología de las lesiones ya presentado (ver parte 1.3), hemos explicado que la periostitis tibial representa alrededor de los 10% de prevalencia, entonces, aplicado a la población elegida, esto representa unos 728 corredores con diagnóstico de periostitis tibial.

Para ayudar a la determinación de la muestra, se usa del calculador de tamaño muestral GRANMO que nos indicara un ejemplo de tamaño muestral correcto para el estudio (ver Anexo 2). Es gracias a los datos demográficos ya adquiridos y los conocimientos previos sobre la patología que se puede determinar la muestra ideal para el estudio. GRANMO indica que una muestra aleatoria de 39 individuos es suficiente para estimar, con una confianza del 95% y una precisión de +/- 10 unidades porcentuales, un porcentaje poblacional que previsiblemente será de alrededor del 10%. En porcentaje de reposiciones necesaria se ha previsto que será del 10%. Entonces, por el estudio se seleccionará 40 personas que se dividirán en dos grupos de 20 lo que permite tener dos grupos (control y experimental) iguales.

Debido al hecho que la probabilidad de tener 40 casos de periostitis en el mismo tiempo es muy baja (para no decir imposible), los participantes reclutados se añadirán a medida que se completen los diagnósticos hasta que el número de participantes sea completo. Como resultado, el estudio se desarrollará sobre un periodo de tiempo largo. Si estimamos el número de personas diagnosticadas a 4/semana, necesitaremos 10 semanas antes tener la muestra completa.

3.4. Criterios de inclusión y exclusión

Para realizar el estudio y representar la población, se debe definir algunos criterios de inclusión y exclusión para evitar los prejuicios. Por esto, nos basaremos sobre los antecedentes ya escritos, y especialmente los factores de riesgo que nos permiten definir estos criterios en función de los factores que podrían limitar o impedir el buen desarrollo del protocolo.

<u>Criterios de inclusión</u>	<u>Criterios de exclusión</u>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hombres ✓ Tener entre 18-65 años ✓ Diagnóstico de periostitis tibial ✓ Practicante regular de la carrera (2 veces a la semana mínimo) ✓ Durada semanal habitual de carrera de al menos 1h30 ✓ Firmar el consentimiento informado ✓ Estar disponible durante todo el programa 	<ul style="list-style-type: none"> × Osteoporosis × Hipertiroidismo × Deficiencia relativa de energía (carencia Vit D, calcio...) × IMC < 18,5 × Sospecha de fractura de estrés × Historia de fractura de estrés × Síndrome compartimental × Otra patología de miembro inferior en el momento del estudio

Taula 1: Criterios de inclusión y exclusión del protocolo

3.5. Intervención

Para empezar, es importante recordar que los pacientes serán añadidos a lo largo del tiempo al protocolo de rehabilitación.

Cuando el corredor entra en contacto con el centro de rehabilitación y una vez el diagnóstico de periostitis validado por los fisioterapeutas del centro, se propone que participe en el protocolo del estudio. Por esto el paciente recibe la “hoja de información a los participantes” (Anexo 3). Una vez que acepta participar en el estudio, se le entrega el consentimiento informado (Anexo 4) y la hoja de datos personales (Anexo 5) para analizar si cumple los criterios de inclusión y si no presente ningún criterio de exclusión. Además, esta hoja de datos personales permitirá conocer mejor las características (personales y deportivas) del paciente con el fin de adaptar el programa a cada uno mientras se sigue las líneas principales del programa (adaptación de velocidad, tiempo de carrera...). Tras esta fase, si los criterios están cumplidos, el paciente podrá participar al estudio. A notar que por toda esta fase, se propondrá participar al estudio solamente a los hombres para evitar pedir a mujeres, ya que es un criterio de exclusión.

Cuando los pacientes serán seleccionados, se entraran las informaciones de los pacientes en un programa informático por orden de inclusión y así saldrá un número de registración (creciente) hasta que la muestra sea completa. Si el número del paciente es par entonces será asignado al grupo control (GC) y si es impar será asignado al grupo experimental (GE).

El cuerpo de la intervención para permitir una vuelta a la carrera rápida será descrito en la fase 2. La fase 1 será común a los dos grupos. En efecto, para poder volver a la carrera y entonces iniciar la fase 2, los participantes deberán alcanzar una semana sin padecer dolor.

Como recordatorio, la fase 1 del tratamiento de la periostitis, tal y como se presenta en los antecedentes (ver 1.5.6.1) consiste en el manejo de los síntomas. Entonces, se seguirá un protocolo de fisioterapia convencional basado en la literatura existente cuya información está ya explicada en el apartado siguiente.

Fase 1: El manejo de los síntomas

Antes de todo, una valoración integral del corredor será hecho para detectar algún factor de riesgo que podría explicar la patología (historia de actividad, valoración muscular/articular, análisis de zapatos...)

Control del dolor:

- Las ondas de choque por sus efectos prometedores podrán ser indicadas
- La crioterapia será usada en caso de dolor aguda, pero en ninguno caso para poder hacer ejercicios que normalmente duelen, ya que indican una carga sobre la tibia demasiado importante.
- Parar las actividades que desencadenan el dolor.
- Los ultrasonidos pulsados de baja intensidad para ayudar a la regeneración de los tejidos lesionados

Terapia activa:

- Los corredores deberán parar la carrera o cualquier actividad que desencadena los síntomas. Pero, para mantener la condición física podrán cambiar de actividad y hacer trabajo sobre bicicleta o en piscina que permiten trabajar todos los componentes necesarios (aerobia, anaerobia...) pero con disminución de la carga ósea.
- En segundo lugar, será propuesto un trabajo específico de potenciación muscular y propiocepción del compartimiento posterior de la pierna (trabajo isométrico, excéntrico):
 - Sóleo
 - Gastrocnemios
 - Flexor largo del hallux
- El trabajo de CORE y de potenciación muscular de todo el miembro inferior se hará también (cuadriceps, isquiotibiales...).
- Si se nota una diferencia en la amplitud de movimiento del tobillo y en particular en la flexión dorsal, un trabajo de estiramiento será propuesto.

Cuando los corredores alcanzan una semana sin padecer dolor, entonces podrán pasar a la fase 2.

A este momento, los corredores pasarán también un test muy simple para controlar que no aparece dolor en este momento. El test será de hacer 30 segundos de pequeños saltos (de tipo cuerda a saltar) sin provocar dolor. Si el dolor aparece, deberán mantenerse en la fase 1.

Fase 2: la vuelta a la carrera

En términos de tiempo de protocolo, el programa y su buen desarrollo será dependiente de la valoración del dolor por el paciente. En efecto, será un programa guiado por el

dolor como le han propuesto Warden et al., (2014). Este tipo de programa permite controlar totalmente la carga y modular la respuesta de los pacientes al tratamiento. Gracias a este concepto, los pacientes evolucionarán más o menos rápidamente en función de su respuesta al programa. No se puede definir un tiempo de protocolo general por toda la muestra pero, en general, la duración media del tratamiento es de 16 a 18 semanas (Menéndez et al., 2020). Por estas razones, se espera que este tiempo de tratamiento será el máximo alcanzado. En los apartados siguientes se explicarán los programas por cada grupo y como se maneja el dolor durante todo el proceso.

El programa se desarrollará gracias al uso de una cinta de correr que permite controlar todos los factores ligados a la carrera que son importantes para el estudio, a saber: velocidad e inclinación del terreno.

Además, para esta fase 2, para tener una uniformidad de valoración de la efectividad del programa, los corredores deberán llegar al final del protocolo a unos 30 minutos de carrera a intensidad habitual sin experimentar dolor.

El control del dolor como feedback de progresión:

El control del dolor es el punto clave del programa propuesto. A lo largo del protocolo, a cada fin de sesión, el paciente deberá valorar su nivel de dolor en una escala numérica de dolor (ver 3.6 variables y método de medida).

Independientemente del grupo al cual el paciente pertenece, las reglas relativas al dolor son las mismas. El programa está construido de modo que las cargas aplicadas al hueso sean progresivas y así permiten no sufrir de síntomas relativos a la periostitis. Si el paciente experimenta dolor durante y/o después la sesión, deberá parar la carrera durante un periodo determinado y volver a la etapa previa del programa. Entonces, dos escenarios serán posibles:

- No dolor (0/10 en la Escala Numérica): seguimiento previsto del protocolo
- Dolor (> 1/10 en la Escala Numérica): parada de la actividad durante un día y después, volver a etapa previa del tratamiento

El dolor experimentado por el paciente puede aparecer de forma latente, por esto, se preguntará a cada inicio de sesión si el paciente ha experimentado dolor el día siguiente a la sesión (el día siguiente de una sesión es un día de reposo).

- **Grupo control:**

En este apartado, se explica el programa del grupo control. En anexo 6 se encuentra un ejemplo de programa construido para conseguir 30 minutos de carrera sin dolor.

El grupo control hará un programa de vuelta a la carrera siguiendo una evolución en varias fases. Como ya explicado, no se podrá empezar la vuelta a la carrera antes pasar una semana sin padecer de dolor y aprobar el test de saltos de fin de fase 1.

Las fases del programa serán:

- Progresividad de marcha a correr
- Progresividad de intensidad
- Progresividad de frecuencia

Para permitir una buena adaptación de las cargas, cada sesión será seguida de un día de reposo. Los corredores tendrán entonces una sesión prevista cada dos días. En la fase 3 se aumentará la frecuencia de las sesiones (se explica en el apartado de “Fase 3: Progresividad de frecuencia”). A lo largo del protocolo, las sesiones duran 30 minutos.

Fase 1: Progresividad de marcha a correr (aumento de volumen de carrera)

Durante esta fase, al inicio el paciente empieza con marcha y con el paso del tiempo, se introduce la carrera en alternancia con la marcha. A medida que pasa el tiempo, el tiempo de carrera aumenta progresivamente y el tiempo de marcha se reduce hasta conseguir el tiempo total de carrera deseado (30' de carrera sin dolor). Durante esta fase, el corredor deberá correr a una intensidad de 50% de su intensidad media de carrera habitual. Por esto, se debe basar sobre los antecedentes del corredor ya preguntados y sobre su velocidad en un entrenamiento clásico de tipo “jogging”.

Fase 2: Progresividad de intensidad

Una vez la fase 1 completada, el objetivo de esta fase es aumentar de manera progresiva la intensidad de la carrera. Por esto, se debe aumentar progresivamente la intensidad de la carrera del 50% al 100% de la intensidad media habitual del corredor (velocidad de “jogging”). El paciente en la fase anterior ha adquirido la capacidad de correr 30 minutos a 50% de su intensidad habitual. Entonces, el tiempo y la frecuencia de carrera se mantienen y cada semana, se aumenta de 10% la intensidad. Al final, el corredor debe ser capaz de correr 30 minutos al 100% de su intensidad habitual sin

padecer de síntomas de dolor. Una vez adquirido estos 100% de intensidad, el corredor puede pasar a la fase siguiente.

Fase 3: Progresividad de frecuencia

En esta última fase, el objetivo es aumentar la frecuencia de entrenamiento del corredor para que pueda volver a la práctica y no sufrir de recidivas. Por esto, se aumenta la frecuencia poniendo dos sesiones de carrera en dos días consecutivos, seguidos de un día de reposo. Esta frecuencia aumentada se repite durante dos semanas. Una vez esta etapa completada, el programa está acabado por el paciente.

- **Grupo experimental:**

En este apartado, se explica el programa del grupo experimental con el trabajo en pendientes, y, en anexo 7 se encuentra un ejemplo de programa construido para conseguir 30 minutos de carrera sin dolor. El punto clave del programa es la modulación de la inclinación del terreno gracias a la cinta de correr que permite controlar las GRF y así permitir una mejor adaptación y remodelación del tejido óseo.

Como en el caso del grupo control, el grupo experimental seguirá una progresión en varias fases. De nuevo, este programa empezará cuando el paciente pasara una semana sin experimentar dolor y aprobar el test de saltos de fin de fase 1.

Las fases del programa serán:

- Progresividad del tiempo de carrera con pendiente
- Disminución de la pendiente

Para permitir una buena adaptación de las cargas, cada sesión será seguida de un día de reposo. Los corredores tendrán entonces una sesión prevista cada dos días. A lo largo del protocolo, las sesiones duran 30 minutos.

Fase 1: Progresividad de marcha a correr con pendiente

Durante esta fase, el paciente empieza con 30 minutos de marcha en pendiente (15%). A continuación se introduce la carrera en alternancia con la marcha. En este momento, la pendiente elegida para correr es de 10% mientras que al tiempo de marcha, la pendiente será de 15%. Esta pendiente elegida para correr permite que las GRF están

disminuidas de 63% (Lemire et al., 2022). A medida que pasa el tiempo, el tiempo de carrera aumenta progresivamente y el tiempo de marcha se reduce (la sesión dura 30 minutos, solo se modifican los tiempos de marcha/correr) hasta conseguir el tiempo total de carrera deseado, a saber 30 minutos de carrera sin dolor. Cuando el corredor está capaz de correr el tiempo deseado (30 minutos) con 10% de pendiente sin dolor, entonces, puede pasar a la etapa siguiente. A nivel de la intensidad de la carrera, el corredor debe estar capaz de hablar durante el tiempo de carrera (Talk test) para no sobrepasar una intensidad demasiado importante.

Fase 2: Disminución de la pendiente

En esta última fase del programa, se disminuye de manera progresiva la inclinación de la cinta de correr de manera progresiva alternando fases de carrera a 5% con fases de carrera a 10%. En efecto, a 5% de inclinación, las GRF están disminuidas de 53% (Lemire et al., 2022). A lo largo del tiempo, se aumenta el tiempo de carrera a 5% y se disminuye el tiempo a 10% hasta conseguir el tiempo de carrera con 5% de inclinación sin experimentar dolor.

A continuación, se repite este proceso alternando 5% con 0% de inclinación de la cinta de correr hasta conseguir el tiempo de carrera de 30' a 0%. Esto permite simular un entrenamiento de carrera clásica en terreno plano.

La intensidad (velocidad) está siempre controlada con el "Talk test". A medida que la pendiente baja, la velocidad se aumentará debido al hecho que correr en subida requiere un esfuerzo más intenso por parte del corredor que correr en terreno plano. En concreto, a menos pendiente, más velocidad.

Una vez esta etapa completada, el programa está acabado por el paciente.

Para hacer un resumen, en la imagen 12 se representa las varias etapas del programa por los dos grupos (GC y GE)

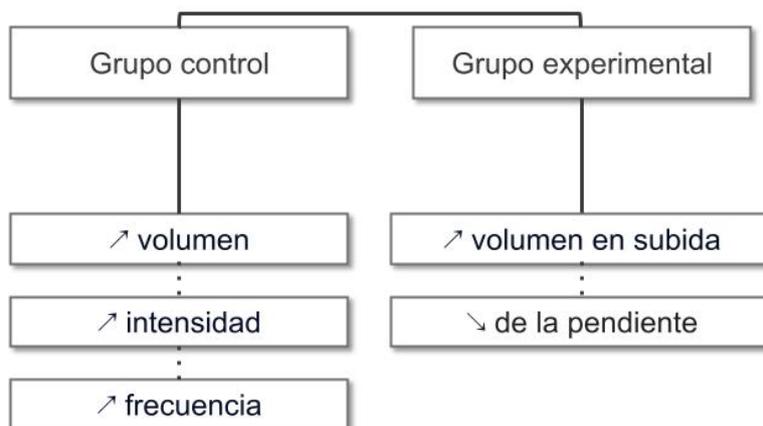


Imagen 12: Resumen de las varias etapas de los programas del GC y del GE

3.6. Variables y método de medida

Para llevar a cabo este estudio hay varias variables que se deben tomar en cuenta. Se pueden distinguir tres tipos de variables. Las variables dependientes que son las variables principales que se valoran, las variables independientes que son las variables que explican la variabilidad de las variables dependientes y finalmente las variables de ajuste que pueden influir y modificar la relación entre las variables dependientes e independientes. La taula 3 hace un resumen de las variables, su tipo y su método de medida.

Variables dependientes:

- **Tiempo total del programa**

El tiempo total del programa permite ver la eficacia de los programas propuestos. Se mide este tiempo en números de días desde el inicio del programa de carrera (inicio de la fase 2) hasta alcanzar el objetivo de 30' de carrera a velocidad habitual sin experimentar dolor (final de la fase 2).

- **Intensidad del dolor**

El dolor se valora de manera cuantitativa gracias a una escala numérica de dolor (EN). El paciente debe elegir entre 0 y 10 (0: no dolor ; 10: dolor de máxima intensidad) cuál número representa su nivel de dolor. La EN es una herramienta validado para registrar el nivel de dolor (Ritter et al., 2006). En la imagen 13 se representa la escala propuesta a los pacientes para elegir el nivel de dolor. El dolor se registra a cada fin de sesión de carrera.

Debido al hecho que el objetivo del programa es mantenerse en la zona de “no dolor”, se registrara el número de veces que los corredores notaran más de un 0. Esto permitirá registrar el número de recidivas a lo largo del protocolo.

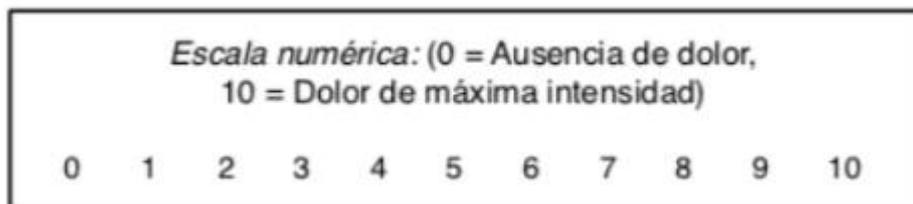


Imagen 13: Escala numerica de dolor (EN) (González-Estavillo et al., 2018)

- Adherencia al tratamiento

Para medir la adherencia al tratamiento, se usará una escala de Likert . La escala de Likert permite valorar el actitud del paciente con el programa propuesto (Likert, 1934). La escala de Likert propuesta en este estudio se compone de 5 ítems de 1 (extremadamente insatisfecho) a 5 (muy satisfecho). Esta escala será valorada dos veces por los pacientes al final de la intervención

- una vez para valorar su satisfacción en referencia al tratamiento seguido. Se valora también en caso de parada del protocolo.
- una vez para valorar su satisfacción en referencia a su estado de forma al final del programa

En la taula 2 se representa la escala propuesta.

1	Extremadamente insatisfecho
2	Insatisfecho
3	Ni satisfecho ni insatisfecho
4	Satisfecho
5	Muy satisfecho

Taula 2: Escala de Likert para medir la satisfacción (general y del estado de forma) de los pacientes al tratamiento propuesto. Elaboración propia

Variables independientes:

- Programa 1: carrera en terreno plano del grupo control (GC)

- Programa 2: carrera en subidas del grupo experimental (GE)

Variables de ajuste:

- Edad (años)
- IMC (kg/m²)
- Velocidad de la carrera (km/h)
- Duración habitual de una sesión de carrera (min)
- Tipo de práctica habitual (trail, carretera...)
- Frecuencia de la carrera
- Volumen semanal (km)
- Experiencia de corredor (meses)
- Recidivas de periostitis

<u>Variables</u>	<u>Descripción de las variables</u>	<u>Tipos de variables</u>	<u>Método de medida</u>
Dependientes	Dolor	Cuantitativa discreta	EN
	Adherencia		Escala de Likert (1 a 5)
	Tiempo total		Días
Independientes	Programa grupo control	Cualitativa nominal	GC o GE
	Programa grupo experimental		
Ajuste	Edad	Cuantitativa discreta	Años
	IMC	Cuantitativa discreta	Kg/m ²
	Velocidad	Cuantitativa discreta	km/h
	Duración habitual	Cuantitativa discreta	Minutos

	Tipo de práctica	Cualitativa nominal	Carretera, Trail, Pista
	Frecuencia	Cuantitativa discreta	1, 2, 3, ...
	Volumen	Cuantitativa discreta	Km
	Experiencia	Cuantitativa discreta	Meses
	Recidivas	Cualitativa nominal	Si o No

Taula 3: Resumen de las variables, sus tipos y sus métodos de medida

3.7. Análisis de los registros

Después de haber recogido todos los datos (dolor, tiempo de tratamiento y adherencia al tratamiento), se procederá a analizar los datos escritos y pasarlos a informatizados. Los datos obtenidos serán registrados en el programa SPSS versión 29.0 en Windows. Este programa permite hacer análisis estadísticas de datos científicos para poder interpretar los resultados del estudio. Usando este programa, se respetará la confidencialidad de los datos siguiendo el reglamento general de protección de datos (RGPD) y la Ley Orgánica de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales (ver 3.9 Aspectos éticos).

Para realizar las análisis estadísticas, este proceso será realizado en dos etapas:

- Las estadística descriptivas
- Las estadísticas inferenciales

3.7.1. Análisis estadísticas descriptivas

Para realizar el análisis de los datos, se calcularán las medias, desviaciones estándar, o típicas, valores máximos y mínimos para las variables cuantitativas. Cuando las variables analizadas tendrán desviaciones elevadas, sería conveniente incluir el cálculo de otras medidas de tendencia central, como medianas o modas. La realización de este análisis se hará diferenciando los dos grupos de estudio: el Grupo control (GC) y el grupo experimental (GE). Se describe el cálculo de intervalos de confianza del 95% tanto para medias como para proporciones.

3.7.2. Análisis estadísticas inferenciales

Será hecho una análisis bivalente donde se analizará las relaciones entre varias variables independientes como siguiente.

Primero, se analizará la relación entre el dolor y el programa seguido (GC o GE), por esto se calculará con un test t-Student.

Segundo, se analizará la relación entre el tiempo de tratamiento y el programa seguido (GC o GE), por esto se calculará con un test t-Student.

Tercero, se analizará la relación entre la adherencia del paciente y el programa seguido, por esto se calculará con un test t-Student.

En el caso de que las variables no sigan la distribución normal, se podrá aplicar técnicas paralelas. En los casos ya descritos anteriormente, el test que se aplicará será el test de la U de Mann-Whitney.

El nivel de significación que se determinará para detectar diferencias significativas es $p < 0,05$.

3.8. Limitaciones

Durante el estudio, algunas situaciones pueden impedir el buen desarrollo del programa y ciertos criterios podrían implicar limitaciones del estudio:

- En referencia a la población, debido a los criterios de inclusión y exclusión, no se pueden generalizar los resultados a toda la población porque falta el género femenino. La elección de hacer el estudio solamente sobre los hombres son para evitar los factores de riesgo específicos de las mujeres (tríada de atleta femenina). Si los resultados se muestran efectivos, entonces se deberá ampliar el estudio a las atletas femeninas.
- Además, también en referencia con los criterios de inclusión y exclusión, los pacientes podrían tener condiciones que normalmente entran en los criterios de exclusión sin saberlo, por ejemplo una carencia de Vitamina D. Para poder controlar estos factores, se podría pedir al médico de atención primaria hacer un análisis de sangre para controlar que ninguno de los participantes está afectado de un criterio de exclusión.
- Siguiendo con la población, puede aparecer limitaciones debido a la heterogeneidad de la muestra seleccionada. Un corredor que practica 3 veces a la semana o 6 veces podría necesitar más tiempo para volver a la práctica

habitual. El programa está construido para obtener 30 minutos de carrera, pero se podría adaptar para un corredor de larga distancia con un objetivo de obtener 1h de carrera sin dolor.

- Los corredores seleccionados podrían abandonar el programa por varias razones: falta de motivación, falta de tiempo, razones personales... Entonces es importante a la entrevista inicial insistir sobre la disponibilidad de llevar a cabo todo el programa. Se puede también explicar la importancia de los resultados que podrán permitir una mejor comprensión de la patología y así permitir una recuperación más rápida.
- La intensidad del dolor es una sensación subjetiva y cada paciente tiene una sensación diferente en frente a un dolor. Especialmente con la periostitis que necesita un largo tiempo de tratamiento, los pacientes para volver de manera más rápida al entrenamiento, podrían mentir sobre su sensación de dolor. En este caso es importante bien explicar la fisiopatología de la periostitis para que los corredores entienden la importancia de esta valoración de dolor para poder modular la carga aplicada al hueso y permitir una buena adaptación.
- El programa debido a la fisiopatología es de larga duración entonces permite la posible aparición de eventos exteriores que podrían impedir el buen desarrollo del estudio.
- Intensidad: La intensidad durante el programa del GC está bien modulada gracias a los antecedentes del corredor (velocidad habitual de entrenamiento conocida). Pero, es más difícil modular la intensidad del GE debido a la pendiente que exige por parte de los corredores más demanda metabólica por una misma velocidad. Entonces se basa sobre el "Talk test" para el GE. Para homogeneizar los resultados, el uso de una cintura de control de la frecuencia cardiaca podría estar necesario para controlar la intensidad.

3.9. Aspectos éticos

Principios básicos de ética:

Antes de poder hacer un estudio científico, se debe respetar algunos conceptos básicos de ética.

Dentro de estos conceptos básicos encontramos:

- Principio de beneficencia: Idea del bien que se va a hacer al prójimo y que nunca debe de olvidarse en el proceso investigador.

- Principio de justicia: Algo inherente a una sociedad que busca el bien de todos sus miembros y que tiene que estar presente en cualquier proceso investigador.
Derecho a la privacidad
- Principio de respeto y autonomía: en este principio subyace la capacidad de la persona para decidir de una forma libre su participación en el estudio y con la debida información para ejercer esa capacidad. Este conocimiento o información se plasma en el consentimiento informado

Consentimiento informado:

Será necesario pedir el consentimiento informado. En efecto, las personas que participaran en el proyecto deben dar previamente su consentimiento o autorización. Por esto, los participantes recibirán la “Hoja de información a los participantes” (Anexo 3) y deberán completar y firmar el “Documento de consentimiento informado” (Anexo 4). Para llevar a cabo esto, los participantes tendrán una reunión informativa en la cual podrán hacer las preguntas que necesitan y al final de esta misma, firmaran los documentos.

Datos personales:

Para este estudio se garantizará la confidencialidad de la información en el desarrollo del proyecto, de acuerdo con el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD) y la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales.

4. Utilidad práctica de los resultados

La periostitis tibial tiene una alta prevalencia dentro de las lesiones ligadas a la carrera y, por su larga duración de tratamiento, provoca un abandono de la práctica o que las personas continúan demasiado hasta sufrir de lesiones más graves (fractura de estrés).

Entonces, el objetivo de este estudio es intentar reducir el tiempo de tratamiento de la periostitis con el objetivo de volver a la carrera de la manera más rápida posible. Si la hipótesis propuesta se revela validada, entonces, los corredores lesionados podrán empezar de manera más precoz la vuelta a la carrera pero con pendiente. Además de poder continuar correr, el entrenamiento con pendiente permite desarrollar o mantener

con igual eficacia el sistema cardiorrespiratorio que en terreno plano (Lemire et al., 2022).

Se espera también que el número de recaídas (días con dolor) sea mínimo con el programa de pendiente lo que permite avanzar en el programa de manera más rápida que en el programa clásico.

Finalmente, se espera que el tratamiento propuesto favorece la adherencia al tratamiento con una buena satisfacción tan a nivel del programa que a nivel de su estado de forma.

La comprensión de la interacción entre la inclinación del terreno, las ground reaction forces (GRF) y la intensidad del dolor en la periostitis que ya no ha estado estudiado permitirá, por tanto, adaptar los programas de entrenamiento, pero también dar pistas para el trabajo de prevención de la patología. Se podría también intentar entender el enlace entre las varias fuerzas aplicadas al hueso (internas y externas) y su modulación/adaptación con el trabajo en pendiente del corredor. Se espera también que esto permitirá evitar las recaídas que es un factor importante dentro de los factores de riesgo de la patología.

Además, los resultados podrían extenderse a las mujeres, pero también a otras disciplinas distintas de la carrera en las que también puede producirse periostitis (fútbol americano, personal militar...).

Este estudio aportará conocimientos suplementarios dentro del campo de la fisioterapia para que esta patología que plantea dificultades a los fisioterapeutas sea más entendida tan a nivel de la fisiopatología como del tratamiento.

En el caso en el cual los resultados no son los esperados, se deberá pensar a otras soluciones para repartir las fuerzas aplicadas sobre la tibia como la modificación de la biomecánica mediante, la técnica de carrera o con un calzado específico por ejemplo.

5. Bibliografia

- Alfayez, S., Ahmed, M., & Alomar, A. (2017). A review article of medial tibial stress syndrome. *Journal of musculoskeletal surgery and research*, 1, 2. doi: 10.4103/jmsr.jmsr_13_17
- Arnold, M.J., & Moody, A.L. (2018). Common Running Injuries: Evaluation and Management. *American family physician*, 97(8), 510-516.
- Beck, B.R., & Osternig, L.R. (1994). Medial tibial stress syndrome. The location of muscles in the leg in relation to symptoms. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 76(7), 1057-1061.
<https://doi.org/10.2106/00004623-199407000-00015>
- Becker, J., Nakajima, M., & Wu, W. F.W. (2018). Factors Contributing to Medial Tibial Stress Syndrome in Runners: A Prospective Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(10), 2092-2100. doi: 10.1249/MSS.0000000000001674
- Beckham, G., Suchomel, T. J., & Mizuguchi, S. (2014). Force Plate Use in Performance Monitoring and Sport Science Testing. *New Studies in Athletics*, 29(3), 25-37.
- Bennett, J., Reinking, M., Pluemer, B., Pentel, A., Seaton, M., & Killian, C. (2001). Factors contributing to the development of medial tibial stress syndrome in high school runners. *Journal of Orthopedic Sports Physical Therapy*, 31(9), 504-10. doi: 10.2519/jospt.2001.31.9.504. PMID: 11570734
- Bergman, A.G., Fredericson, M., Ho, C., & Matheson, G.O. (2004). Asymptomatic tibial stress reactions: MRI detection and clinical follow-up in distance runners. *American journal of roentgenology*, 183(3), 635-638.
<https://doi.org/10.2214/ajr.183.3.1830635>

- Cavanagh, P.R., & LaFortune, M.A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of biomechanics*, 13(5), 397-406. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(80\)90033-0](https://doi.org/10.1016/0021-9290(80)90033-0)
- Clement, D.B. (1974). Tibial stress syndrome in athletes. *The Journal of sports medicine*, 2(2), 81-85. <https://doi-org.biblioremot.uvic.cat/10.1177/036354657400200203>
- Clough, P., Sheperd, J., & Maughan, R. (1989). Motives for Participation in Recreational Running. *Journal of Leisure Research*, 21(4), 297-309. <https://doi.org/10.1080/00222216.1989.11969806>
- Combien de personnes courent en France ? (2022)*. u-Trail. Retrieved February 23, 2023, from <https://www2.u-trail.com/combien-de-personnes-courent-en-france/>
- Dekker, R., Kingma, J., Groothoff, J., Eisma, W., & Duis, H. (2000). Measurement of severity of sports injuries: an epidemiological study. *Clinical Rehabilitation*, 14(6), 651-656. doi:10.1191/0269215500cr374oa
- Deshmukh, N.S., & Phansopkar, P. (2022). Medial Tibial Stress Syndrome: A Review Article. *Cureus*, 14(7), e26641. <https://doi.org/10.7759/cureus.26641>
- Dhenin, J. (2021). Effets d'un confinement sur la pratique sportive de cyclistes et coureurs à pied amateurs Analyse des données Strava® d'utilisateurs belges et français. *Revue des Questions Scientifiques*, 192(5), 269-280.
- Dias Lopes, A., Hespanhol Junior, L. C., Yeung, S. S., & Costa, L. O. (2012). What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? A Systematic Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 42(10), 891-905. <https://doi.org/10.1007/BF03262301>
- Dye, S. F. (1996). The Knee as a Biologic Transmission With an Envelope of Function. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 325, 10-18. doi:10.1097/00003086-199604000-00003

- Dye, S. F. (2005). The Pathophysiology of Patellofemoral Pain A Tissue Homeostasis Perspective. *Clinical orthopaedics and related research*, 436, 100-110. DOI: 10.1097/01.blo.0000172303.74414.7d
- Fredericson, M., Bergman, A.G., Hoffman, K.L., & Dillingham, M.S. (1995). Tibial stress reaction in runners. Correlation of clinical symptoms and scintigraphy with a new magnetic resonance imaging grading system. *The American journal of sports medicine*, 23(4), 472–481. <https://doi-org.biblioremot.uvic.cat/10.1177/036354659502300418>
- Garth, W.P., & Miller, S.T. (1989). Evaluation of claw toe deformity, weakness of the foot intrinsics, and posteromedial shin pain. *The American journal of sports medicine*, 17(6), 821-827. <https://doi.org/10.1177/036354658901700617>
- González-Estavillo, A.C., Jiménez-Ramos, A., Rojas-Zarco, E.M., Velasco-Sordo, L.R., Chávez-Ramírez, M.A., & Coronado-Ávila, S.A. (2018). Correlación entre las escalas unidimensionales utilizadas en la medición de dolor postoperatorio. *Revista mexicana de anestesiología*, 41(1), 7-14.
- Goom, T. (2015). *Balancing training load and tissue capacity - RunningPhysio*. Running Physio. <https://www.running-physio.com/capacity/>
- Gottschall, J.S., & Kram, R. (2005). Ground reaction forces during downhill and uphill running. *Journal of Biomechanics*, 38(3), 445-452. doi:10.1016/j.jbiomech.2004.04.023
- Hespanhol Junior, L. C., Pillay, J., van Mechelen, W., & Verhagen, E. (2015). Meta-Analyses of the Effects of Habitual Running on Indices of Health in Physically Inactive Adults. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(10), 1455-1468. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0359-y>
- Hreljac, A. (2004). Impact and overuse injuries in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(5), 845-849. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000126803.66636.dd>

- Hreljac, A.L., Marshall, R.N., & Hume, P.A. (2000). Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(9), 1635-1641.
- INSEE. (2023). *Dossier complet – Intercommunalité-Métropole de CA de Nîmes Métropole (243000643)*. Insee.
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=EPCI-243000643>
- Ivanenko, Y.P., Poppele, R.E., & Lacquaniti, F. (2006). Spinal cord maps of spatiotemporal alpha-motoneuron activation in humans walking at different speeds. *Journal of neurophysiology*, 95(2), 602-618.
<https://doi.org/10.1152/jn.00767.2005>
- Kakouris, N., Yener, N., & Fong, D. (2021). A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *Journal of sport and health science*, 10(5), 513-522. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.04.001>
- Keller, T., Weiseberger, A., Ray, J., Hassan, S., Shiavi, R., & Spengler, D. (1996). Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clinical biomechanics*, 11(5), 0-259.
[doi:10.1016/0268-0033\(95\)00068-2](https://doi.org/10.1016/0268-0033(95)00068-2)
- Kluitenberg, B., Van Middelkoop, M., Diercks, R., & Van Der Worp, H. (2015). What are the differences in injury proportions between different populations of runners? A systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 45(8), 1143-1161.
- Kluitenberg, B., Van Middelkoop, M., Smits, D.W., Verhagen, E., Hartgens, F., Diercks, R., & Van der Worp, H. (2015). The NL start2run study: Incidence and risk factors of running-related injuries in novice runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(5), e515-e523.
- Kortebein, P.M., Kaufman, K.R., Basford, J.R., & Stuart, M.J. (2000). Medial tibial stress syndrome. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(3 suppl), S27-S33. <https://doi.org/10.1097/00005768-200003001-00005>

- Larsen, L. H., Rasmussen, S., & Jørgensen, J. E. (2016). Overuse injuries in running. *Dansk Sportsmedicin*, *20*(3), 7-15.
- Lee, D.C., Pate, R.R., Lavie, C.J., Sui, X., Church, T.S., & Blair, S.N. (2014). Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk. *Journal of the American College of Cardiology*, *64*(5), 472-481.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.04.058>
- Lemire, M., Falbriard, M., Aminian, K., Pavlik, E., Millet, G. P., & Meyer, F. (2022). Correspondence Between Values of Vertical Loading Rate and Oxygen Consumption During Inclined Running. *Sports medicine - open*, *8*(1), 114.
- Likert, R. (1934). A technique for the measurement of attitudes. *Arch Psychol*, *22*, 1-55.
- Lopes, A.D., Hespanhol Júnior, L.C., Yeung, S.S., & Costa, L.O. (2012). What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, *42*(10), 891-905.
<https://doi.org/10.1007/BF03262301>
- Markotić, V., Pokrajčić, V., Babić, M., Radančević, D., Grle, M., Miljko, M., Kosović, V., Jurić, I., & Karlović Vidaković, M. (2020). The positive effects of running on mental health. *Psychiatria Danubina*, *32*, 233-235.
- Masip, C. (2022). *Baromètre du Running : une étude intéressante pour connaître la pratique des coureurs français*. Trail session. <https://www.widermag.com/news-barometre-running-etude-interessante-connaître-pratique-coureurs-francais>
- Matijevich, E.S., Branscombe, L.M., Scott, L.R., & Zelik, K.E. (2019). Ground reaction force metrics are not strongly correlated with tibial bone load when running across speeds and slopes: Implications for science, sport and wearable tech. *PloS one*, *14*(1), e0210000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210000>
- Menéndez, C., Batalla, L., Prieto, A., Rodríguez, M. Á., & Olmedillas, H. (2020). Medial Tibial Stress Syndrome in Novice and Recreational Runners: A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health*, *17*(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph17207457>

- Michael, R.H., & Holder, L.E. (1985). The soleus syndrome. A cause of medial tibial stress (shin splints). *The American journal of sports medicine*, 13(2), 87–94.
<https://doi.org/10.1177/036354658501300202>
- Mita, T. (2021). *A review and analysis of current treatment approaches used by athletic trainers for medial tibial stress syndrome* (Graduate School).
- Moen, M.H., Schmikli, S.L., Weir, A., Steeneken, V., Stapper, G., De Slegte, R., Tol, J.L., & Backx, F.J. (2014). A prospective study on MRI findings and prognostic factors in athletes with MTSS. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(1), 204-210. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01467.x>
- Moen, M. H., Tol, J. L., Weir, A., Steunebrink, M., & De Winter, T. C. (2009). Medial Tibial Stress Syndrome: A Critical Review. *Sports Medecine*, 39(7), 523-546.
DOI: 10.2165/00007256-200939070-00002
- Nieves, J.W., Melsop, K., Curtis, M., Kelsey, J.L., Bachrach, L.K., Greendale, G., Sowers, M.F., & Sainani, K.L. (2010). Nutritional factors that influence change in bone density and stress fracture risk among young female cross-country runners. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 2(8), 740-794. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.04.020>
- Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 7(1), 77-95.
[https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(97)00038-6)
- OMS. (2022). *Actividad física*. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/physical-activity>
- Plisky, M. S., Rauh, M. J., Heiderscheit, B., Underwood, F. B., & Tank, R. T. (2007). Medial Tibial Stress Syndrome in High School Cross-Country Runners: Incidence and Risk Factors. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(2), 32-A32. <https://doi.org/10.2519/jospt.2007.2343>
- Poirel, E. (2017). Bienfaits psychologiques de l'activité physique pour la santé mentale optimale. *Santé mentale au Québec*, 42(1), 147-164. doi: 10.7202/1040248ar

- Reshef, N., & Guelich, D. R. (2012). Medial Tibial Stress Syndrome. *Clinics in Sports Medicine*, 31(2), 273-290. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2011.09.008>
- Ritter, P.L., González, V.M., Laurent, D.D., & Lorig, K.R. (2006). Measurement of pain using the visual numeric scale. *The Journal of rheumatology*, 33(3), 574-580.
- Rodríguez, J. (2015). *Periostitis tibial - Fisioterapia para fisioterapeutas y pacientes - lafisioterapia.net*. La fisioterapia.net. <https://lafisioterapia.net/periostitis-tibial/>
- The running Clinic. (2022).
- Salvador, E. (2022). *Foot posture index Práctica*. Apuntes Uvic-Ucc.
- Saxena, A., O'Brien, T., & Bunce, D. (1990). Anatomic dissection of the tibialis posterior muscle and its correlation to medial tibial stress syndrome. *The Journal of foot surgery*, 29(2), 105-108.
- Scheer, V., & Krabak, B.J. (2021). Musculoskeletal Injuries in Ultra-Endurance Running: A Scoping Review. *Frontiers in physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.664071>
- Scheer, V., & Krabak, B.J. (2021). Musculoskeletal Injuries in Ultra-Endurance Running: A Scoping Review. *Frontiers in physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.664071>
- Scheerder, J., Breedveld, K., & Borgers, J. (2015). *Running across Europe: the rise and size of one of the largest sport markets*. Springer.
- Shipway, R., & Holloway, I. (2010). Running free: Embracing a healthy lifestyle through distance running. *Perspectives in public health*, 130(6), 270-276.
- Shorten, M.R. (2001). *Running shoe design: protection and performance*.
- Tweed, J.L., Campbell, J.A., & Avil, S.J. (2008). Biomechanical risk factors in the development of medial tibial stress syndrome in distance runners. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 98(6), 436-444. DOI:10.7547/0980436
- Van der Worp, M.P., Ten Haaf, D.S., Van Cingel, R., De Wijer, A., Nijhuis-van der Sanden, M.W., & Staal, J.B. (2015). Injuries in runners; a systematic review on

risk factors and sex differences. *PloS one*, 10(2).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114937>

Vernillo, G., Glandolini, M., Edwards, W.B., Morin, J.B., Samozino, P., Horvals, N., &

Millet, G.Y. (2017). Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill

Running. *Sports medicin*, 47, 615-629. DOI 10.1007/s40279-016-0605-y

Videbæk, S., Bueno, A.M., Nielsen, R.O., & Rasmussen, S. (2015). Incidence of

runningrelated injuries per 1000 h of running in different types of runners: a

systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 45(7), 1017-1026.

Waldorff, E.I., Christenson, K.B., Cooney, L.A., & Goldstein, S.A. (2010). Microdamage

repair and remodeling requires mechanical loading. *Journal of bone and*

mineral research : the official journal of the American Society for Bone and

Mineral Research, 25(4)(734-745). <https://doi.org/10.1359/jbmr.091016>

Warden, S.J., David, I.S., & Fredericson, M. (2014). Management and prevention of

bone stress injuries in long-distance runners. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 44(10), 749-765.

<https://doi.org/10.2519/jospt.2014.5334>

Warden, S.J., Edwards, W.B., & Willy, R.W. (2021). Preventing Bone Stress Injuries in

Runners with Optimal Workload. *Current osteoporosis reports*, 19(3), 298-307.

<https://doi.org/10.1007/s11914-021-00666-y>

Winter, S.C., Gordon, S., Brice, S.M., Lindsay, D., & Barrs, S. (2021). Overuse injuries

in runners of different abilities-a one-year prospective study. *Research in sports*

medicine, 29(2), 196-212. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1616548>

Winters, M., Eskes, M., Weir, A., Moen, M.H., Backx, F.J., & Bakker, E.W. (2013).

Treatment of medial tibial stress syndrome: a systematic review. *Sports*

Medicine, 43(12), 1315-1333. DOI: 10.1007/s40279-013-0087-0

Yagi, S., Muneta, T., & Sekiya, I. (2012). Incidence and risk factors for medial tibial

stress syndrome and tibial stress fracture in high school runners. *Sports*

medicine, 21, 556-563. DOI 10.1007/s00167-012-2160-x

Yamato, T.P., Saragiotto, B.T., & Lopes, A.D. (2015). A consensus definition of running-related injury in recreational runners: a modified Delphi approach.

Journal of orthopaedic & sports physical therapy, 45(5), 375-380.

Yates, B., Allen, M. J., & Barnes, M. R. (2003). Outcome of surgical treatment of medial tibial stress syndrome. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 85(10), 1974-1980.

DOI: 10.2106/00004623-200310000-00017

Yates, B., & White, S. (2004). The incidence and risk factors in the development of medial tibial stress syndrome among naval recruits. *The American journal of sports medicine*, 32(3), 772-780. <https://doi.org/10.1177/0095399703258776>

Bases de datos usadas: "Pubmed", "Google scholar", "Scopus"

Descriptores, palabras clave usados (en inglés):

- Periostitis
- Medial tibial stress syndrome
- Shin plints
- Bone stress injuries
- Running injuries
- Physical therapy
- Ground reaction forces
- Bone load
- Uphill and downhill running
- Slope running

6. Anexos

Anexo 1: Ejemplo de programa de vuelta a la carrera (Warden et al., 2014)

TABLE 3		GRADUATED RUNNING PROGRAM TO RETURN A RUNNER TO 30 MINUTES OF PAIN-FREE RUNNING	
Stage/Level	Description		
0	Pre-entry to graduated running program Pain during walking in normal activities of daily living		
1	Initial loading and jogging (50% normal pace) with increasing duration		
A	Walk 30 minutes		
B	Rest		
C	Walk 9 minutes and jog 1 minute (3 repetitions)		
D	Rest		
E	Walk 8 minutes and jog 2 minutes (3 repetitions)		
F	Rest		
G	Walk 7 minutes and jog 3 minutes (3 repetitions)		
H	Rest		
I	Walk 6 minutes and jog 4 minutes (3 repetitions)		
J	Rest		
K	Walk 4 minutes and jog 6 minutes (3 repetitions)		
L	Rest		
M	Walk 2 minutes and jog 8 minutes (3 repetitions)		
N	Rest		
2	Running with increasing intensity		
A	Jog 30 minutes		
B	Rest		
C	Run 30 minutes at 60% normal pace		
D	Rest		
E	Run 30 minutes at 60% normal pace		
F	Rest		
G	Run 30 minutes at 70% normal pace		
H	Rest		
I	Run 30 minutes at 80% normal pace		
J	Rest		
K	Run 30 minutes at 90% normal pace		
L	Rest		
M	Run 30 minutes at full pace		
N	Rest		
3	Running on consecutive days		
A	Run 30 minutes at full pace		
B	Run 30 minutes at full pace		
C	Rest		
D	Run 30 minutes at full pace		
E	Run 30 minutes at full pace		
F	Rest		
G	Run 30 minutes at full pace		
4	Return to running		

Anexo 2: Calculadora de tamaño muestral GRANMO para estimar el número de participantes necesarios



Calculadora de Tamaño muestral GRANMO

Versión 7.12 Abril 2012

Proporciones : Estimación poblacional

Nivel de confianza: 0.95 0.90 Otro

Población de referencia (Intro => Se asume una población infinita):

Estimación de la proporción en la población:

Precisión de la estimación para el nivel de confianza seleccionado:

Proporción estimada de reposiciones necesarias:

25/02/2023 18:19:23 Estimación poblacional (Proporciones)

Una muestra aleatoria de **39** individuos es suficiente para estimar, con una confianza del 95% y una precisión de +/- 10 unidades porcentuales, un porcentaje poblacional que previsiblemente será de alrededor del 10%. En porcentaje de reposiciones necesaria se ha previsto que será del 10%.

Anexo 3: Hoja de información a los participantes

Datos

- “Los efectos del entrenamiento en subida sobre el retorno a la carrera en los corredores con periostitis tibial”
- Thomas RAFFIN
- Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya
- Caveirac Kine Sport

Descripción

- El Trabajo de Fin de Grado (TFG) es un trabajo autónomo que cada estudiante elabora con la orientación de un tutor o tutora, con el objetivo de favorecer la integración de los contenidos recibidos durante el periodo formativo y de asegurar la adquisición de las competencias asociadas a la titulación
- Como participante, se le asignará aleatoriamente a uno de los grupos experimentales como parte de la vuelta a la carrera tras el diagnóstico de periostitis tibial. Participaréis a un programa de vuelta a la carrera creado específicamente por este tipo de lesión. A lo largo de todo el proceso, se valorará su nivel de dolor para progresar en el tratamiento y aprobar las varias etapas de su vuelta a la actividad hasta poder volver al entrenamiento sin dolor. Las valoraciones de dolor se harán a través una valoración numérica y se medirá el nivel de satisfacción del tratamiento propuesto al final de la intervención. Cualquiera que sea el grupo de tratamiento al que se le asigne, los protocolos propuestos están diseñados para garantizar que se recupere de su patología lo más rápidamente posible. Cada sesión será supervisada por un fisioterapeuta formado al protocolo experimental. El tiempo de participación dependerá del tiempo y de la velocidad de recuperación del proceso patológico.
- Los participantes tienen derecho a retirarse en cualquier momento de una parte o de la totalidad del estudio, sin expresión de causa o motivo y sin consecuencias; y también la posibilidad de clarificar dudas antes de aceptar participar y el derecho a conocer los resultados.

Garantía de protección de datos

- Para este estudio se garantizará la confidencialidad de la información en el desarrollo del proyecto, de acuerdo con el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD) y la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales.
- Los datos recogidos serán protegidos y se almacenarán mediante el OneDrive de la UVic-UCC de manera anónima. En caso de necesidad, contactar el responsable en el correo electrónico siguiente: thomas.raffin@uvic.cat

Anexo 5: Hoja de datos personales

Proyecto de investigación: “Los efectos del entrenamiento en subida sobre el retorno a la carrera en los corredores con periostitis tibial”

Fecha de la encuesta: / /

Datos

- Apellido(s):
- Nombre:
- Edad:

Medidas antropométricas

- Peso (en kg):
- Talla (en cm):

Antecedentes de salud

- Tienes déficits conocidos de Vitamina D?
 Si
 No
- Tienes déficits conocidos de Calcio?
 Si
 No

- Tienes osteoporosis?

Si

No

- Tienes hipertiroidismo?

Si

No

- Has sufrido de una fractura de estrés?

Si

No

- Tienes síndrome compartimental?

Si

No

- En el momento, tienes otra patología de miembro inferior (cadera, rodilla, tobillo...)?

Si

No

Hábitos deportivos

- Desde cuanto tiempo practicas el running?

< 1 mes

Entre 1 y 3 meses

Entre 3 y 6 meses

Entre 6 meses y 1 año

Entre 1 y 2 años

> de 2 años

- Cuantas veces por semana practicas el running?
 - 1 / semana
 - 2 / semana
 - 3 / semana
 - 4 o más / semana

- Cuál es tu distancia recorrida por semana? (en función de los 2 últimos meses)
 - < 10 km / semana
 - Entre 10 y 20 km / semana
 - Entre 20 y 40 km / semanaSi más, cuantos?

- Cuál es tu duración media de carrera en un entrenamiento? (en función de los 2 últimos meses)
 - < 30 min
 - Entre 30 min y 1h
 - Entre 1h y 1h30
 - Más de 1h30

- Tu velocidad media en una carrera de tipo "jogging" (en km/h):

- En que superficie de carrera practicas? Se puede seleccionar más de una respuesta
 - 1. Running en carretera
 - 2. Trail running
 - 3. Pista
 - Otros?Cuál?

- Qué tipo de carrera practicas?

- Competición
- Recreativa: Salud, Bienestar...
- Desafío personal

- Practicas otro deporte?

- Si
- No

En caso de sí, cuál?

- Has cambiado cosas en las últimas semanas (más volumen, frecuencia, zapatos...)?

- Si
- No

En caso de sí, cuál?

Sobre la periostitis tibial

- Es la primera vez que tiene periostitis tibial?

- Si
- No

En caso de sí qué pierna estaba afectada?

- Derecha
- Izquierda
- Ambas

- Desde cuanto tiempo tienes el diagnóstico de periostitis?

- < 2 semanas
- Entre 2 semanas y 1 mes

Más de 1 mes

- Qué pierna está afectada?

Derecha

Izquierda

Ambas

- Has empezado otro tratamiento de fisioterapia?

Si

No

En caso de sí desde cuanto tiempo (semanas)?

- Tiene dolor en la parte interna de la pierna?

Si

No

-Cuál es la intensidad de tu dolor? (0 es ningún dolor y 10 es dolor insoportable)

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

- Presenta dolor en los actividades siguientes? Se puede seleccionar más de una respuesta
 - En reposo
 - Durante la marcha
 - Durante el running
 - Subiendo las escaleras
 - Bajando las escaleras
 - Durante un salto

- A qué momento del running tiene dolor? Se puede seleccionar más de una respuesta
 - Al inicio de la carrera
 - Al inicio de la carrera, pero desaparece durante el entrenamiento para reaparecer a la parada de la carrera
 - Al final de la carrera
 - A la parada de la carrera
 - Durante toda la sesión

Gracias por sus respuestas

Anexo 6: Programa del grupo control (GC)

Fase 1:	
Progresividad de marcha a correr	
50% de intensidad habitual	
	1 semana sin dolor
1	30' marchar
2	Reposo
3	9' marchar / 1' correr (x3)
4	Reposo
5	8' marchar / 2' correr (x3)
6	Reposo
7	7' marchar / 3' correr (x3)
8	Reposo
9	6' marchar / 4' correr (x3)
10	Reposo
11	5' marchar / 5' correr (x3)
12	Reposo
13	4' marchar/ 6' correr (x3)
14	Reposo
15	3' marchar / 7' correr (x3)
16	Reposo
17	2' marchar / 8' correr (x3)
18	Reposo
19	1' marchar / 9' correr (x3)
20	Reposo
21	30' correr

Fase 2:	
Progresividad de intensidad	
50% hasta 100% de intensidad	
1'	30' correr 60% intensidad
2'	Reposo
3'	30' correr 60% intensidad
4'	Reposo
5'	30' correr 60% intensidad
6'	Reposo
7'	30' correr 60% intensidad
8'	Reposo
9'	Repetir de 1' a 8' con 70% intensidad
10'	Repetir de 1' a 8' con 80% intensidad
11'	Repetir de 1' a 8' con 90% intensidad
12'	Repetir de 1' a 8' con 100% intensidad

Fase 3:	
Progresividad de frecuencia	
1''	30' correr 100%
2''	30' correr 100%
3''	Reposo
4''	30' correr 100%
5''	30' correr 100%
6''	Reposo
7''	Repetir 1'' a 6'' 2 veces

Anexo 7: Programa del grupo experimental (GE)

Fase 1:	
Progresividad de marcha a correr en pendiente	
Marcha a 15% y correr a 10%	
1'	Marchar 30' (al 15%)
2'	Reposo
3'	9' marchar / 1' correr (x3)
4'	Reposo
5'	8' marchar a / 2' correr (x3)
6'	Reposo
7'	7' marchar / 3' correr (x3)
8'	Reposo
9'	6' marchar / 4' correr (x3)
10'	Reposo
11'	5' marchar / 5' correr (x3)
12'	Reposo
13'	4' marchar/ 6' correr (x3)
14'	Reposo
15'	3' marchar / 7' correr (x3)
16'	Reposo
17'	2' marchar / 8' correr (x3)
18'	Reposo
19'	1' marchar / 9' correr (x3)
20'	Reposo
21'	30' correr a 10%

Fase 2:	
Disminución de la pendiente (10% - 5%)	
1''	9' correr 10% / 1' correr 5% (x3)
2''	Reposo
3''	8' correr 10% / 2' correr 5% (x3)
4''	Reposo
5''	7' correr 10% / 3' correr 5% (x3)
6''	Reposo
7''	6' correr 10% / 4' correr 5% (x3)
8''	Reposo
9''	5' correr 10% / 5' correr 5% (x3)
10''	Reposo
11''	4' correr 10% / 6' correr 5% (x3)
12''	Reposo
13''	3' correr 10% / 7' correr 5% (x3)
14''	Reposo
15''	2' correr 10% / 8' correr 5% (x3)
16''	Reposo
17''	1' correr 10% / 9' correr 5% (x3)
18''	Reposo
19''	30' correr a 5%
20''	Repetir 1'' a 19'' pero con alternancia de 5% con 0% de pendiente

7. Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor Pau Moreno Martín que me ayudó a perfeccionar el tema de este TFG. Sus valiosos consejos, así como su aportación de conocimientos, pero también de experiencia, me permitieron acabar con un trabajo bien construido y reflexionado.

En segundo lugar, me gustaría expresar mi agradecimiento a Jeanne Caron-Guyon (o, mejor dicho, a la Doctora Jeanne Caron-Guyon) que soportó mis reiterados cuestionamientos, mis relecturas, mis dudas y mis largas horas de mal humor. Su ayuda en los momentos en que la inspiración no llega, sus consejos de escritura, pero también su apoyo a lo largo de este largo proyecto han sido cruciales.

Con gran gratitud quiero también agradecer a mi compañero de piso Max Pérez sus correcciones, pero también sus sabios consejos para afrontar de la mejor manera posible los retos de este trabajo.

Por último, me gustaría dar las gracias a los miembros de mi familia, mis amigos y a Yannick Chatelain por su ayuda y sus ánimos, no solo durante este año, sino durante estos 4 años de cambio de vida y reconversión profesional.

8. Nota final del autor: el TFG como experiencia de aprendizaje

Este trabajo de fin de grado pone fin a los 4 años de docencia de fisioterapia en la Universidad de Vic.

Enfrentarse a este tipo de trabajo ha sido una experiencia enriquecedora. En efecto, la complejidad del trabajo comienza con la elección del tema para el cual es importante identificar el marco hacia el cual hay que orientarse para tener el tema más preciso, pero también que permita colmar la falta de evidencia sobre éste. Luego viene toda la experiencia de la literatura sobre el tema con el fin de comprenderlo lo mejor posible para luego proponer un proyecto de investigación innovador.

Es la primera vez que nos enfrentamos a este tipo de trabajo y fue un trabajo consecuente, pero muy interesante. Al ser un tema que me apasionaba, descubrí a lo largo de la redacción de este TFG que el tema de la periostitis es complejo y que aún queda mucho por explorar.

Este ejercicio de profundizar en un tema también permite enfrentarse a la realidad del mundo laboral. Seguramente habrá muchas ocasiones en las que nos enfrentaremos a patologías con las que no estamos familiarizados y será importante saber encontrar la información necesaria de forma eficaz y rápida para poder orientar nuestro tratamiento de la mejor manera posible.

Esta experiencia también será útil en un entorno de trabajo interdisciplinar para poder exponer y explicar un tema a los colegas.

Para concluir, este trabajo me habrá permitido, como futuro profesional sanitario, saber investigar, profundizar, pero sobre todo entender que la formación profesional a lo largo de mi futura carrera será un elemento clave para convertirme en un profesional de calidad.