



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

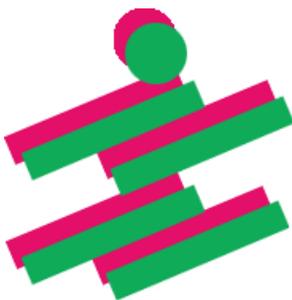
TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN FISIOTERAPIA

Análisis de la variación en el recorrido articular del tobillo durante el pedaleo a diferentes niveles de esfuerzo: un proyecto de investigación

Analysis of the joint range variation of the ankle during cycling at different effort levels. A research project

Análise da variación do recorrido articular do nocello durante o pedaleo a diferentes niveis de esforzo: un proxecto de investigación



Facultad de Fisioterapia

Alumno: D. Aitor Bugarín Ledo

DNI: 34.879.040 T

Tutora: Dña. Miriam Barcia Seoane

Convocatoria: Junio 2020

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
RESUMO	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. TIPO DE TRABAJO	6
1.2. MOTIVACIÓN PERSONAL.....	6
2. CONTEXTUALIZACIÓN	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	11
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	13
3.1. HIPÓTESIS.....	13
3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
3.3. OBJETIVOS.....	13
4. METODOLOGÍA	14
4.1. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	14
4.2. ÁMBITO DE ESTUDIO	14
4.3. PERÍODO DE ESTUDIO	14
4.4. TIPO DE ESTUDIO	15
4.5. CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	15
4.6. JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL.....	16
4.7. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	16
4.8. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES A ESTUDIAR	18
4.9. MEDICIONES E INTERVENCIÓN.....	19
4.10. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	26
5. CRONOGRAMA Y PLAN DE TRABAJO	27
6. ASPECTOS ÉTICO-LEGALES	30
7. APLICABILIDAD DEL ESTUDIO	31
8. PLAN DE DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS	32
9. MEMORIA ECONÓMICA	33
9.1. RECURSOS NECESARIOS.....	33
9.2. POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN	33
10. BIBLIOGRAFÍA	34

ANEXOS	37
11.1. DOCUMENTO DE INFORMACIÓN, COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD Y CONSENTIMIENTO INFORMADO	37
11.2. CUADERNO DE RECOGIDA DE DATOS	46

RESUMEN

Introducción

El ciclismo es uno de los deportes más practicados en nuestra sociedad, y dentro de este gran grupo de deportistas surgen diversos tipos de lesiones, entre ellos, con gran prevalencia nos encontramos las lesiones por sobreuso debido a posturas incorrectas durante la práctica de este deporte. Para evitar estas lesiones es importante realizar un estudio del movimiento que determine la postura correcta para cada uno. Uno de los tres puntos de apoyo del ciclista en la bicicleta es el pedal. El tobillo es la articulación más cercana a este apoyo, a la vez que es la articulación encargada de garantizar una correcta transmisión de fuerzas desde el conjunto del miembro inferior al pedal para propulsar la bicicleta. Esto indica que si el tobillo se presenta muy móvil, no efectuará sus funciones correctamente, y a su vez, una variación en sus rangos de movimiento excesiva puede derivar en la aparición de lesiones en la propia articulación del tobillo o en las articulaciones más craneales como la rodilla o la cadera. Todo ello, sumado a la poca atención a esta articulación en otros estudios, convierten al tobillo en el principal objeto de estudio de esta investigación.

Objetivo

Analizar la variabilidad en el recorrido articular del tobillo durante el pedaleo a diferentes intensidades de esfuerzo.

Material y métodos

Se plantea un estudio piloto en forma de estudio analítico longitudinal experimental prospectivo. La muestra estará formada por 10 ciclistas que deberán realizar tres pruebas de 5 minutos pedaleando a 90 revoluciones por minuto y a diferentes intensidades que le serán marcadas. Mediante un sistema de análisis del movimiento en 2 dimensiones será estudiada específicamente la cinemática del tobillo. El estudio de cada paciente se realizará en días diferentes, durando un total de 10 días. Las variables de estudio serán observadas en directo mediante el ciclocomputador y el ordenador con el software correspondiente instalado. Las variables a estudiar son: la flexión dorsal del tobillo, la cadencia de pedaleo y la fuerza ejercida por el ciclista, medida como potencia.

Palabras clave

Análisis del movimiento, cinemática del pedaleo, tobillo, ciclismo, biomecánica.

ABSTRACT

Background

The cycling is one of the most practised sports in our society, and inside this big group of sportsmen arise diverse types of injuries, between them, with high prevalence we find overuse injuries because of wrong postures during the practice of this sport. To avoid these injuries is important to realise a study of the movement that determine the correct posture for each one. One of the three points of support of the cyclist in the bicycle is the pedal. The ankle is the nearest joint to this support, at the same time that it is the joint commissioned to guarantee a correct transmission of strengths from the group of the inferior member to the pedal for propel the bicycle. This indicates that if the ankle presents very mobile, will not effect his functions properly, and at the same time, a excessive variation in his range of movement can derive in the apparition of injuries in the own joint of the ankle or in the most cranial joints like the knee or the hip. All this, added to the little attention to this joint in other studies, convert to the ankle in the main object of study of this investigation.

Objective

Analyse the variability in the joint range of the ankle during pedaling to different intensities of effort.

Methods

A pilot study is proposed in the form of a prospective experimental longitudinal analytical study. The sample will be formed by 10 cyclists that will have to realise three proofs of 5 minutes pedaling to 90 revolutions by minute and to different intensities that will be him marked. By means of a system of analysis of the movement in 2 dimensions will be studied specifically the cinematic of the ankle in the sense of dorsiflexion. The study of each patient will realise in different days, lasting a total of 10 days. The variables of study will be observed in direct by means of the cycle computer and the computer with the corresponding software installed. The variables to study are: dorsiflexion of the ankle, pedaling cadence and the strength exerted by the cyclist, measure like power.

Keywords

Analysis of the movement, pedaling kinematics, ankle, cycling, biomechanics.

RESUMO

Introducción

O ciclismo é un dos deportes máis practicados na nosa sociedade, e dentro deste gran grupo de deportistas surxen diversos tipos de lesións, entre eles, con gran prevalencia atópanse as lesións por sobreuso debido a posturas incorrectas durante a práctica deste deporte. Para evitar estas lesións é importante realizar un estudo do movemento que determine a postura correcta para cada un. Un dos tres apoios do ciclista na bicicleta é o pedal. O nocello é a articulación que se atopa máis preto a este apoio, á vez que é a articulación encargada de garantir unha correcta transmisión de forzas dende o conxunto do membro inferior ao pedal para propulsar a bicicleta. Isto indica que se o nocello se presenta moi móbil non efectuará as súas funcións correctamente, e á súa vez, unha variación nos seus rangos de movemento excesiva pode derivar na aparición de lesións na propia articulación do nocello ou en articulacións máis craneais como no xeonllo ou a cadeira. Todo iso, sumado a pouca atención a esta articulación noutros estudos, converten ao nocello no principal obxecto de estudo desta investigación.

Obxectivo

Analizar a variabilidade no recorrido articular do nocello durante o pedaleo a diferentes intensidades de esforzo.

Material e métodos

Plantéxase un estudo piloto en forma de estudo analítico lonxitudinal experimental prospectivo. A mostra estará conformada por 10 ciclista que deberán realizar tres probas de 5 minuto pedaleando a 90 revolucións por minuto e a diferentes intensidades que lles serán marcadas. Mediante un sistema de análise do movemento en dúas dimensións será estudada especificamente a cinemática do nocello. O estudo de cada paciente realizarase en días diferentes, durando un total de dez días. As variables a estudar observaranse en directo mediante o ciclocomputador e o ordenador co software correspondente instalado. As variables a estudar son: a flexión dorsal do nocello, a cadencia de pedaleo e a forza exercida polo ciclista, medida como potencia.

Palabras clave

Análise do movemento, cinemática do pedaleo, nocello, ciclismo, biomecánica.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. TIPO DE TRABAJO

En este trabajo se plantea un proyecto de estudio sobre un aspecto muy específico dentro de la cinemática del pedaleo en el ciclismo. Se trata de un estudio piloto donde se lleva a cabo una investigación sobre sujetos sanos y que no aborda ninguna patología concreta, pero que sí trabaja con el objetivo de que los hallazgos que puedan conseguirse mediante esta investigación sirvan para poner de manifiesto que existen aspectos en los que se puede trabajar de mejor manera con los fines de mejorar el rendimiento del deportista y evitar la aparición de lesiones.

1.2. MOTIVACIÓN PERSONAL

Este trabajo se conceptualizó en un contexto de normalidad social, previo a la aparición de la pandemia mundial de COVID-19 debido al virus SARS-CoV-2, con todas las consecuencias en nuestro funcionamiento social que ello acarreó. Es por esto que la idea inicial con la que nació este proyecto era la de realizarlo en forma de un trabajo de investigación presencial, con similares características al que se presenta en esta ocasión, pero que debido a las circunstancias excepcionales que rodean el momento de elaboración del mismo, resultó imposible su realización presencial.

La motivación que dio lugar a la elaboración de la pregunta de investigación de este proyecto y la idea de llevarla a cabo nace de mi interés personal en el deporte de ciclismo en carretera. Tras años de experiencia dentro de este deporte, son muchas las preguntas que me surgían sobre particularidades que se dan en él y que podrían ser respondidas mediante un enfoque fisioterapéutico, como es la gran prevalencia de lesiones por sobreuso que sufren los ciclistas y que podrían haber sido evitadas mediante un correcto estudio de la posición que adopta el ciclista para realizar su práctica deportiva y un análisis exhaustivo de su movimiento.

La gran razón por la que decidí realizar mi trabajo de fin de grado alrededor de esta temática fue la percepción personal de que esta rama de la biomecánica que es el análisis del movimiento y posición en el ciclismo, se encuentra actualmente fuera del campo de acción

de los fisioterapeutas, y esta acción se está llevando a cabo por sujetos no sanitarios, recibiendo una formación privada y sin reconocimiento oficial.

Recordando que el fisioterapeuta es el profesional sanitario especializado en el movimiento del cuerpo humano y adscribiéndonos a la definición de Fisioterapia realizada por la *World Confederation for Physical Therapy* (WCPT), que la describe como: “Conjunto de métodos, actuaciones y técnicas que mediante la aplicación de medios físicos, curan y previenen enfermedades, promueven la salud, recuperan, habilitan, rehabilitan y readaptan a las personas afectadas de disfunciones psicofísicas o a las que se desea mantener en un nivel adecuado de salud”, vemos como el análisis de la cinemática en el ciclismo debería ser un campo puesto en práctica por profesionales fisioterapeutas con formación sobre ello, debido al gran abanico de posibilidades en cuanto a la consecución de objetivos fisioterapéuticos que nos otorga la utilización de este recurso.

De este modo, es competencia del fisioterapeuta la prevención de las lesiones que pueden venir derivadas de una postura inadecuada para una práctica deportiva con movimientos tan repetitivos como es el ciclismo. A su vez, es el fisioterapeuta el que debe adaptar esa posición del sujeto en la bicicleta a sus particularidades anatómicas y teniendo en cuenta su posible historial patológico; así como que para llevar a cabo un proceso rehabilitador completo, exitoso y satisfactorio de un sujeto que haya sufrido algún tipo de lesión y uno de sus objetivos sea el tener una participación sin límites en cuanto a la realización del deporte del ciclismo, será necesario que el fisioterapeuta culmine este proceso de rehabilitación mediante el reajuste y readaptación de su posición en la bicicleta.

2. CONTEXTUALIZACIÓN

2.1. ANTECEDENTES

En la actualidad, cada vez más personas se desplazan en bicicleta y la utilizan como instrumento de ocio o como medio deportivo (1), y no sorprende por tanto, que dentro de este gran fragmento de la población aparezcan patologías relacionadas con esta práctica. De este modo, el tratamiento y la rehabilitación de lesiones en ciclistas comienzan a representar un alto porcentaje del gasto socio-sanitario en diferentes países (2), cobrando así importancia el efectivo tratamiento y prevención de las mismas.

Los ciclistas viajan con el riesgo de padecer varios tipos lesiones (3), siendo las de mayor importancia debido a su gravedad y prevalencia aquellas que tienen que ver con traumatismos sufridos a gran velocidad, que pueden ser debidos a colisiones con otros vehículos, fallos en los componentes mecánicos de la bicicleta, condiciones del terreno por el que se desplazan o debido a falta de pericia del propio sujeto. Estas lesiones vienen derivadas de factores de riesgo externos sobre los que el fisioterapeuta no va a poder actuar para disminuir ese riesgo, pero en las que sí podrá tener un importante papel en la rehabilitación y readaptación de cara a la vuelta a la práctica deportiva, adaptando la postura del sujeto en la bicicleta a su nueva situación

Dentro de las lesiones sufridas por los ciclistas, uno de los tipos de afectación más recurrentes son las lesiones por sobreuso que tienen lugar en distintas estructuras de la extremidad inferior (4). El ciclismo como deporte implica la gran repetición del movimiento cíclico del pedaleo, lo que unido a la adopción de posturas incorrectas durante la práctica deportiva pueden derivar en la aparición de lesiones (5).

Para evitar estas lesiones, será de gran utilidad e importancia realizar un análisis exhaustivo de la posición del sujeto cuando monta en su bicicleta y de su cinemática característica (6) por parte un profesional formado en la materia y con conocimientos suficientes sobre patologías para prevenirlas, como es el fisioterapeuta.

El ciclista, cuando monta en su bicicleta, cuenta con tres puntos de apoyo: con sus manos se apoya en el manillar, con sus isquiones se apoya en el sillín y con los pies se apoya en los pedales (Ilustración 1). El sillín y el manillar son puntos fijos durante el pedaleo, mientras que los pedales actúan como puntos móviles donde se ejerce la fuerza necesaria para la

propulsión del vehículo. Por ser el nexo entre la extremidad inferior y la plataforma de transmisión de fuerzas, resulta que el tobillo es la articulación que mayor movilidad presenta durante el pedaleo en los miembros inferiores (7).



Ilustración 1: Puntos de apoyo sobre la bicicleta (Imagen adaptada de Specialized)

En estudios anteriores como en el de Peveler et al. (8) se concluye que si existe un cambio en la posición y recorrido de una de las articulaciones del miembro inferior durante en pedaleo en cualquier momento del ciclo, las otras articulaciones responderán a ese cambio adaptándose y variando también su posición para asemejarse a la posición habitual y favorecer la eficacia del pedaleo para perder la menor cantidad de energía posible. En el caso del tobillo, si aumenta su rango de movimiento y su posición en los distintos puntos del ciclo de la pedalada, esto afectará directamente a la articulación de la rodilla que también verá variado su recorrido articular, lo cual puede conllevar a la aparición de lesiones debido a una ejecución del movimiento de la pedalada en unos rangos articulares menos seguros (5).

Por otra parte, del total de la energía generada por el sistema muscular del miembro inferior durante el pedaleo, solo el 17% viene generada desde el tobillo, siendo la articulación de las tres principales implicadas en generar energía en el ciclismo que menos energía genera por detrás de la rodilla y la cadera (9). A pesar de no generar una gran parte del total, la articulación del tobillo tiene la importante función de asegurar la correcta transmisión de

energía, para la transformación de la fuerza generada por los músculos de la extremidad inferior, llamada energía interna, en energía externa, que es aquella que nosotros seremos capaces de medir mediante un medidor de potencia y que se transfiere a los pedales, generando movimiento (10).

En el estudio de Soden y Adeyefa (11), concluyen que durante el pedaleo, en la única dirección en la que la fuerza ejercida será aprovechada correctamente y que asegura la eficacia en el pedaleo, es en la dirección hacia descenso del pedal, de modo que la fuerza ejercida durante la subida del pedal puede ser descartada y no medida debido a su baja representación en el total.

A partir de este estudio de Soden y Adeyefa, se deduce que para que el tobillo lleve a cabo correctamente su función como transmisor de fuerzas entre el total del miembro inferior y el pedal, y se pierda la menor cantidad posible de energía interna en su transformación a energía externa, es necesario que los flexores plantares trabajen de forma isométrica para mantener el tobillo en unos rangos de flexión dorsal cercanos a la perpendicular del plano del pie con la tibia.

En cambio, en la bibliografía existente sobre análisis del movimiento en ciclistas, el tobillo resulta ser el gran olvidado debido a que la mayoría de estudios y artículos se centran en mayor medida en el análisis de la cinemática de la rodilla o la cadera, por ser estas articulaciones generadoras de mayores cantidades de fuerza dentro del total del sistema que conforma el conjunto del miembro inferior (9), así como por ser en estas articulaciones donde surgen con mayor frecuencia diferentes molestias y lesiones(12).

Es por estas características especiales que este proyecto de investigación se centra en el estudio de la cinemática del tobillo más específicamente, debido a sus particularidades e influencias en las demás articulaciones.

Un estudio de Kautz et al. (13) se analizó la misma variable protagonista de esta investigación, pero a diferencia del presente estudio, en aquel se analizó la cinemática del tobillo durante un prueba a intensidad constante donde se pudo comprobar la variación en el recorrido de la articulación del tobillo conforme el tiempo de prueba avanzaba. Este resultado se ve secundado por las conclusiones del estudio de Bini et al. (14), en el que se mostraba como con la aparición de la fatiga, el tobillo comienza efectuar menos fuerza, en especial en dirección a la flexión plantar debido a la pérdida de eficacia de los flexores plantares, lo que provoca que comience a recibir mayores cantidades de fuerza generada por los músculos de las articulaciones superiores para compensar esa pérdida de

generación de energía por parte de los flexores plantares, y todo esto deriva en un aumento de la flexión dorsal debido al aumento del vector de fuerza caudal e imposibilidad de contrarrestarlo por parte de los flexores plantares.

Es, por tanto, evidente que en esos estudios la aparición de la fatiga tuvo un papel fundamental en los resultados finales, desconociendo por tanto si la causa de ese aumento de la flexión dorsal es a causa de una gran intensidad en el esfuerzo, independientemente de la fatiga acumulada, o es al contrario fruto de la fatiga esa variación en el recorrido del tobillo.

2.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Este trabajo, a diferencia de otros anteriores, busca responder a la pregunta de si existe una variación significativa en el recorrido articular del tobillo a diferentes intensidades, sin que la fatiga actúe como elemento desestabilizador de la normal cinemática en el ciclista.

En caso de lograrse establecer una relación entre la intensidad de esfuerzo y la variación en el recorrido del tobillo independiente de la fatiga, estaremos en una situación en la que los flexores plantares serán incapaces de proveer una posición adecuada para una eficaz transmisión de fuerzas desde el total del miembro inferior hasta los pedales debido a que no son completamente funcionales a altas intensidades. En este escenario se plantea la necesidad de un entrenamiento específico de flexores plantares a gran intensidad.

En el caso contrario de que los resultados de este estudio plasmen la realidad de que a diferentes intensidades el recorrido del tobillo no varía significativamente, atendiendo a estudios anteriores ya citados, significará que es la aparición de la fatiga el factor determinante para que se de esa variación excesiva en el recorrido articular del tobillo. En este segundo escenario, se podrá plantear la necesidad de un entrenamiento específico de flexores plantares para resistir con mayor solvencia la aparición de la fatiga.

Se evidencia, por tanto, que independientemente de cuales sean los resultados de esta investigación, se podrá concluir cual es la causa de la variación en el recorrido articular del tobillo, y por tanto también se pondrá en evidencia la manera más correcta y eficaz de atajar esa causa y mejorar la cinemática del pedaleo.

Además, es un valor añadido para este proyecto que sea llevado a cabo por un equipo de fisioterapeutas, hecho importante de cara a la irrupción y reclamación como suyo de un

campo de investigación, y también de puesta en práctica, que cuenta con muy poca presencia de la Fisioterapia y que se encuentra adueñado por profesionales no sanitarios.

El análisis del movimiento durante el pedaleo es un campo que abre un gran abanico de posibilidades de tratamiento, valoración y diagnóstico para el fisioterapeuta, así como una salida profesional más para los fisioterapeutas que ponen en práctica esta ciencia, arte y profesión.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. HIPÓTESIS

- Hipótesis nula: No aumenta la flexión dorsal del tobillo a mayor intensidad de esfuerzo durante el pedaleo.
- Hipótesis alternativa: Sí hay un aumento en la flexión dorsal del tobillo a mayor intensidad de esfuerzo durante el pedaleo.

3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Hay un aumento de la flexión dorsal del tobillo conforme se va elevando la intensidad en de esfuerzo durante el pedaleo?

3.3. OBJETIVOS

- Objetivo general

Determinar si existe un mayor recorrido articular en flexión dorsal del tobillo a niveles mayores de intensidad de esfuerzo realizando ciclismo.

- Objetivo específico
 - Comprobar si existe relación de independencia entre un aumento de flexión dorsal y la aparición de la fatiga.
 - Medir el recorrido articular del tobillo en las distintas fases del pedaleo.
 - Observar la respuesta de la variable dependiente de flexión dorsal del tobillo a variaciones en la variable independencia de potencia.
 - Demostrar aspectos susceptibles de mejora de cara al rendimiento y prevención de lesiones en ciclistas de carretera.

4. METODOLOGÍA

4.1. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Para la elaboración de este trabajo, se ha recabado información sobre la literatura existente acerca el análisis del movimiento en el ciclismo y en concreto sobre la cinemática del tobillo. Para ello, se ha realizado una búsqueda en las bases de datos y plataformas Pubmed/Medline, Dialnet, Sportdiscus, Scopus y Google Académico con las palabras clave “ciclismo”, “análisis biomecánico”, “análisis del movimiento” y “tobillo”, tanto en castellano como en inglés, utilizando los operados algebraicos booleanos “AND” y “OR”. De todos los resultados obtenidos, se descartaron aquellos artículos que no estaban escritos en inglés, castellano o portugués; y aquellos en los que la modalidad de ciclismo estudiada era distinta a la de carretera: bicicleta de montaña (“cross country” olímpico o maratón), ciclocross (cx), descenso (DH), pista, BMX, trial y “four cross” (4X).

4.2. ÁMBITO DE ESTUDIO

El estudio se llevará a cabo en la clínica de fisioterapia Fisioterapia San Lázaro (Av. García Borbón, 23, 1ª planta. Vigo), en una sala acondicionada para tal fin y con los dispositivos y software de la empresa Biomecánica San Lázaro.

La población diana de esta investigación es el conjunto de ciclistas competitivos.

4.3. PERÍODO DE ESTUDIO

La duración total del proyecto será de 2 semanas aproximadamente. El estudio tendrá lugar durante 10 días. Cada día se realizará la intervención sobre uno de los sujetos.

Posteriormente se realiza el análisis de los datos obtenidos.

4.4. TIPO DE ESTUDIO

Proyecto de investigación diseñado como un estudio piloto a través de un tipo de estudio analítico longitudinal experimental prospectivo.

4.5. CRITERIOS DE SELECCIÓN

La población diana de este estudio es el conjunto de deportistas que practican el ciclismo en modalidad de carretera. La población de estudio la componen ciclistas varones, federados, que compitan en categorías sub23 o élite y en edades comprendidas entre 20-40 años, pertenecientes a equipos que figuren entre los 10 primeros del ranking de equipos de la Real Federación Española de Ciclismo y con más de 2 años realizando ciclismo a nivel competitivo. Se estudiarán sujetos de estas categorías, equipos y con experiencia por encontrarse en edades donde el deportista ya está físicamente desarrollado y por representar un nivel competitivo alto, lo que asegura un gran volumen de entrenamiento controlado por profesionales y una capacidad suficiente para realizar las pruebas durante toda su duración y alcanzando los niveles de intensidad deseados, y una manera de pedalear y posicionarse en la bicicleta característica, individual y asentada, de modo que los resultados obtenidos en el estudio en laboratorio serán extrapolables al exterior, ya que pedalearán del mismo modo al tener interiorizados esos rangos de movimiento y esa forma característica de pedalear. Se descarta la elección de sujetos poco entrenados debido a que presentar mucho menor control del movimiento cíclico de la pedalada y una movilidad en la articulación de tobillo muy variable. (15)

La muestra de este estudio estará formada por 10 ciclistas varones pertenecientes al equipo ciclista Grupo Deportivo Supermercados Froiz, con sede en Poio, Pontevedra; participante en el certamen anual de Copa de España de Ciclismo en Carretera Élite/Sub23 de la Real Federación Española de Ciclismo y ganador del ranking anual de la Real Federación Española de Ciclismo en numerosas ocasiones. La elección de deportistas de este equipo

viene determinada porque todos cuentan con el mismo material: bicicletas de marca BH modelo Ultralight EVO Disc 2020 (Ilustración 2), sillín Prólogo NDR 143 Tirox, pedales Look y bielas con medidor de potencia en la biela izquierda Rotor InPower (Ilustración 3), dispositivo fiable para la medición de potencia con respecto a los estándares(20) (21); y porque todos confían su preparación física en una sola empresa de preparación física: Opteamiza Training.

Las características de los sujetos componentes de la muestra son tenidas en cuenta en la realización de este estudio debido a que la homogeneidad del material empleado por los ciclistas permitirá descartar posibles diferencias entre sujetos debido al material que empleen, y que la preparación física corra a cargo de una única empresa facilitará el proceso de obtener los datos de los test FTP (16)realizados por los sujetos a partir de los cuales se elaboran las potencias que deberán desarrollar cada ciclista en cada fase de la prueba.

4.6. JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL

Se selecciona una muestra de 10 sujetos siguiendo las recomendaciones de Hertzog 2008 (17) de cara a la realización de estudios pilotos.

El tamaño de la muestra es pequeño por la limitación de trabajar únicamente con sujetos de un equipo concreto, pero es lo suficientemente representativo dentro de los ciclistas federados en la provincia de Pontevedra.

4.7. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Para seleccionar la muestra, se realiza una llamada telefónica a la dirección del equipo en cuestión, mediante la cual se le traslada la existencia del estudio, los objetivos del mismo y el interés en realizarlo con los corredores de dicha escuadra.

La propia dirección del equipo es la que facilita el contacto de los sujetos de estudio que deseen participar voluntariamente y a los cuales se les explica la modalidad de estudio, sus objetivos y posibles beneficios que puedan derivarse de los resultados obtenidos. También

Análisis de la variabilidad del recorrido del tobillo durante el pedaleo a diferentes intensidades: Un proyecto de investigación

la dirección del equipo debe permitir el uso de su material para el desarrollo de la investigación.

Por otra parte, se acuerda con la empresa de preparación física de los sujetos la cesión de los datos relativos a la prueba de FTP y sus zonas de entrenamiento, mediante un acuerdo de protección de datos, que solo estarán en conocimiento del equipo investigador.

Para acceder al estudio, los ciclistas seleccionados deben tener al menos 20 años cumplidos en el momento de realizar la intervención y deben acreditar que han competido los dos años anteriores en la categoría élite-sub23 española mostrando sus licencias federativas correspondientes a esos años.



Ilustración 2: Bicicleta de los sujetos del estudio. (Imagen de BHbikes.es)



Ilustración 3: Bielas con medidor de potencia Rotor InPower utilizadas en este estudio (Foto de Rotorbike).

4.8. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES A ESTUDIAR

La variable principal del estudio es la flexión dorsal del tobillo, que es la variable dependiente, y las variables independientes que son la cadencia de pedaleo y la fuerza ejercida por el ciclista (potencia). (Tabla 1)

Variables	Descripción
<ul style="list-style-type: none">• Flexión dorsal del complejo articular del tobillo	Tomaremos como referencia para esta variable el valor máximo de amplitud articular en la dirección del movimiento de flexión dorsal, independientemente del momento del movimiento cíclico de la pedalada en el que se dé.
<ul style="list-style-type: none">• Cadencia	Entenderemos como cadencia de pedaleo la velocidad de ejecución del movimiento cíclico completo de la biela desde su posición de 0° hasta alcanzar de nuevo esa posición, y será medido en revoluciones por minuto (rpm).
<ul style="list-style-type: none">• Potencia	La potencia será el valor medido por el dispositivo medidor de potencia y expresado en wattios, que representará la fuerza ejercida por el ciclista durante el empuje hacia inferior del pedal.

Tabla 1: Descripción de las variables del estudio

4.9. MEDICIONES E INTERVENCIÓN

La prueba se realizará en las mismas condiciones atmosféricas y en horas del día similares. Se utilizará un ventilador para evitar la excesiva sudoración y elevación de temperatura de los ciclistas. Los sujetos acudirán a la prueba con su propia bicicleta, culotte y maillot de ciclismo y zapatillas de ciclismo. El día del estudio, el ciclista acudirá sin haber realizado actividad física vigorosa en las últimas 24h, para evitar la existencia de fatiga muscular y asegurar la igualdad de condiciones de los distintos participantes.

Previo al estudio, todos los ciclistas configuraron su posición en la bicicleta mediante un análisis de su biomecánica por parte de otros profesionales ajenos al estudio y de acuerdo al método de flexión máxima de rodilla, método que asegura la posición más eficaz posible en la ejecución de fuerza minimizando el riesgo de lesión en el ciclista (8). Esta

Análisis de la variabilidad del recorrido del tobillo durante el pedaleo a diferentes intensidades: Un proyecto de investigación

configuración se debe haber llevado a cabo, como mínimo un mes antes del estudio, para asegurarnos de que la cinemática del pedaleo no se vea influida por un cambio de posición reciente.

Para la realización de la prueba, la bicicleta se coloca en un rodillo de transmisión directa Wahoo KICKR con el dispositivo de soporte de la rueda delantera de KICKR Climb (Ilustración 4). Este dispositivo, al no precisar de la utilización de la rueda trasera como los rodillos tradicionales, permite evitar diferencias de rozamiento entre las distintas ruedas de los participantes, así como que la sensación del pedaleo del ciclista es más natural y parecida a la que realiza cuando pedalea en el exterior. El dispositivo KICKR Climb brinda la posibilidad de situar la bicicleta en una posición paralela al plano del suelo.



Ilustración 4: Rodillo Wahoo KICKR con el dispositivo KICKR Climb. (Imagen de Wahoo)

El análisis del movimiento se llevará a cabo mediante la utilización del software de análisis de movimiento deportivo 2DMA de la empresa STT Systems (San Sebastián, España). Se utiliza este software de análisis del movimiento en dos dimensiones debido a la facilidad de uso de los sistemas de análisis en 2D, su alta correspondencia respecto a los sistemas de análisis en 3D (18), la disponibilidad de este en el local del estudio y la posibilidad que da el software de realizar un seguimiento de los rangos de movimiento en directo y que realiza automáticamente un informe con los datos recogidos (Ilustración 5).

Cadence		rpm						57	
FEET & ANKLES		Left			Right			Reference	
Foot Rotation	°	6	7	13	-1	6	18		
Ankle Flex/Ext	°	65	69	80	78	88	87	70-80	90-100
Ankle Flex/Ext Crank @0	°		72			87			
Ankle Flex/Ext Crank @90	°		71			82		75	90
Ankle Flex/Ext Crank @180	°		75			85			
Ankle Flex/Ext Crank @270	°		80			86			
Trochanter to Ankle Lateral Offset	mm	24	30	48	51	65	74		
Crank at Max Ankle Flex Ext	°		266			301			
Crank at Min Ankle Flex Ext	°		112			34			

Ilustración 5: Ejemplo de informe generado automáticamente por el software (Imagen de STT Systems)

El sistema de análisis de movimiento consta de distintos dispositivos: Un trípode con la cámara de alta definición y cámara lenta, una luz de LED para reflejar en los marcadores y una pantalla trasera neutra para que el sistema perciba mejor los marcadores LED (Ilustración 6). El rodillo con la bicicleta será el punto de referencia a partir del cual se colocan todos los dispositivos, colocando la pantalla neutra a medio metro del perfil no estudiado de la bicicleta y el trípode a una distancia de dos metros y medio con la cámara colocada en una posición de 70cm de elevación sobre el suelo, con la luz a la misma altura. La cámara ha de estar situada una línea perpendicular al eje de las bielas de la bicicleta.

Para la recolección de los datos proporcionados por estos dispositivos, es preciso contar un ordenador con la licencia de software correspondiente para la utilización del programa propio del sistema y que conectarlo mediante conexión por cable a la cámara.

Análisis de la variabilidad del recorrido del tobillo durante el pedaleo a diferentes intensidades: Un proyecto de investigación



Ilustración 6: Distribución de los dispositivos para la realización del estudio. (Imagen de STT Systems)

Antes de la realización de la prueba, se colocan los marcadores reflectes mediante el uso de adhesivos circulares de 18mm de diámetro con gran capacidad de adherencia a la piel de la empresa Trayma (Vizcaya), sobre los que se posan los marcadores reflectantes, de donde no se desplazarán durante toda la prueba. Los marcadores se sitúan en el maléolo externo, base del calcáneo y cabeza del quinto metatarsiano (Ilustración 7).



Ilustración 7: Posicionamiento de los marcadores reflectantes en la zapatilla y tobillo del ciclista (Imagen adaptada de STT System).

Previo a que el ciclista monte en su bicicleta, se procede a sincronizar el medidor de potencia de las bielas de la bicicleta con un ciclocomputador Garmin Edge 830 (Ilustración 8) a través de una conexión del tipo ANT+, y también se realiza una calibración asistida del dispositivo medidor de potencia mediante la utilización del dispositivo Garmin, importante para asegurar que los datos obtenidos serán fiables y siguiendo las instrucciones del fabricante: una primera calibración con la biela izquierda en posición de 0° y una segunda calibración con la biela izquierda en la misma posición después de haberla girado dos

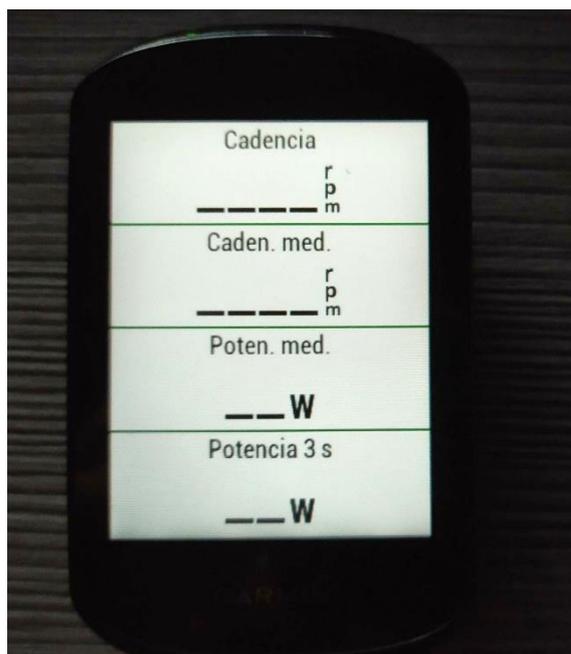


Ilustración 8: Ciclocomputador utilizado para el estudio con los datos a observar durante el mismo.

vueltas en el sentido de las agujas del reloj.

En las pantallas del ciclocomputador se deben observar las siguientes variables:

- Cadencia: Muestra la cadencia del pedaleo al instante expresada en revoluciones por minuto. Se observará para tratar de guiar al ciclista en que mantenga una cadencia de pedaleo de 90 revoluciones por minuto.
- Caden. Med: Expresa la cadencia media durante la prueba expresada en revoluciones por minuto. La cadencia media ideal será de 90 rpm.

- **Poten. med:** Indica la potencia media ejercida por el ciclista durante la prueba. La potencia media objetivo será el punto medio de la zona a trabajar por el ciclista durante cada fase.
- **Potencia 3s:** Presenta la una media de la potencia ejercida por el ciclista en los últimos tres segundos, actualizándose cada segundo. Se expresa en forma de media de los últimos tres segundos para evitar grandes variaciones fruto de la imposibilidad de mantener un desarrollo de fuerza exacto en cada momento del pedaleo. Es un dato a tener en cuenta para guiar al ciclista, de modo que se mueva dentro del intervalo marcado y cerca de la cifra objetivo en cada fase.

Cogiendo como referencia las zonas de entrenamiento propuestas por Allen y Coggan (16), se establecen tres niveles de intensidad para el estudio del comportamiento del tobillo durante esas distintas fases. En cada nivel se permite la variación de potencia dentro del rango de la zona a trabajar, pero se propone una cifra objetivo, el punto medio de la zona, que será el ideal a alcanzar por el ciclista. El primer nivel de intensidad se corresponde a la zona 2, denominada de resistencia, en la que se trabaja al 65% del FTP. El segundo nivel se corresponde con la zona 3 de entrenamiento, o zona de "ritmo", en la que el ciclista debe desarrollar una potencia equivalente al 83% de su FTP. En la tercera y última fase, el trabajo realizado se corresponde con la zona 5 o también denominada "Capacidad anaeróbica", durante la cual el sujeto debe pedalear al 135% de su FTP (Tabla 2) En esta última fase, por la dureza del esfuerzo y la posibilidad de que no logre mantener la potencia deseada (19), se permite mayor desviación en cuanto al punto de referencia y si no consigue mantenerse en el intervalo marcado, se sigue estudiando el comportamiento de la articulación del tobillo al máximo esfuerzo posible del paciente aunque esté por debajo de la potencia deseada.

Zonas	%FTP	RPE (1-10)	Descripción
1. Resistencia	55-75	2-3	Zona principal de entrenamiento. Capacidad de mantener el esfuerzo durante largos entrenamientos
2. VO2Max	106-120	6-7	Esfuerzos intensos. Sensación de esfuerzo elevada e incapacidad de mantener una conversación. Capacidad para mantener el esfuerzo en intervalos de 15-20 minutos.
3. Capacidad anaeróbica	121-150	>7	Esfuerzo intenso durante un intervalo corto. Capacidad de mantener el esfuerzo sobre 5-10 minutos.

Tabla 2: Zonas de entrenamiento según Allen y Coggan

Cada fase constará de 5 minutos, con 2 minutos de calentamiento previo, pedaleando a la potencia requerida según la fase y a una cadencia constante de 90 revoluciones por minuto (rpm), para asemejarse a una situación de pedaleo en llano a ritmo de competición (20).

A parte de las premisas de la cadencia de pedaleo y el desarrollo de potencia que debe cumplir el ciclista durante la prueba, otros aspectos a tener en cuenta y que debe respetar el sujeto para considerar correcto el estudio son: no ponerse de pie durante el tiempo de análisis en cada fase (5 minutos) y mantener la posición de apoyo de referencia en las manetas (Ilustración 9).



Ilustración 9: Agarre de las manetas durante la prueba. (Imagen adaptada de la revista Ciclismoafondo.com)

El orden de ejecución de cada una de las fases será aleatoria, de modo que en los resultados no influirá la fatiga previa, factor que influye sobre la cinemática de la articulación del tobillo (13).

Durante la realización de cada prueba, las variables independientes de cadencia de pedaleo y potencia serán registradas mediante el ciclocomputador, información que es proporcionada por el dispositivo medidor de potencia integrado en las bielas.

4.10. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La principal limitación del estudio viene determinada por las características de la muestra, ya que al tratarse de un grupo homogéneo de ciclistas de competición no será posible la extrapolación de los hallazgos que se encuentren a la población de ciclistas en general. A su vez, al tratarse de sujetos varones, tampoco es posible afirmar que el comportamiento en la articulación del tobillo que encontrado en este estudio se vaya a ver reflejado en ciclistas del género femenino, con características musculares y articulares diferentes a las de los hombres; al mismo tiempo que tampoco sería posible la reproductibilidad del estudio en una muestra de ciclistas femeninas al no corresponderse las zonas de intensidad para mantener los esfuerzos deseados con la de los ciclistas masculinos (21).

Otra de las limitaciones de este estudio será la imposibilidad de realizar una medición fiable de los parámetros a estudiar de las dos extremidades inferiores, debido a que el trabajo será con un medidor de potencia que únicamente mide la fuerza ejercida por la pierna izquierda, desconociendo por tanto la fuerza ejercida por la pierna derecha. Por esta razón se estudia solo el comportamiento del tobillo izquierdo, al ser el único del que podemos estar seguros que está generando la fuerza correspondiente al nivel de intensidad requerido. Este aspecto viene determinado por el elevado precio de los medidores de potencia con medición bilateral y la dificultad que tendría hacerse con uno de ellos.

Tampoco resulta posible con estos medios el análisis del movimiento del tobillo en un plano frontal de cara al estudio de la pronación y supinación de esta articulación, que podría ser fuente de lesiones a niveles superiores como la rodilla o la cadera (7).

Otro aspecto que podría ser mejorado por estudios futuros es el hecho de que el estudio se realiza en un entorno interior y desnaturalizado para el ciclista. Ya existen sistemas de análisis del movimiento móviles, de modo que unos sensores se colocan en las zapatillas del deportista y estos almacenan toda la información relativa a los ángulos de movimiento de las distintas articulaciones de la extremidad inferior y posteriormente pueden ser analizados mediante un ordenador y el software pertinente, pero el alto costo económico de estos sistemas y la incapacidad de controlar los niveles de esfuerzo, variables como la cadencia en ámbitos exteriores y la imposibilidad de garantizar las mismas condiciones para todos los sujetos del estudio (debido a rozamiento del viento y la calzada, cambios de desnivel, condiciones atmosféricas, etc.), hicieron que esta posibilidad fuese descartada.

5. CRONOGRAMA Y PLAN DE TRABAJO

En marzo de 2020 se produce el inicio de este proyecto, con el planteamiento de la pregunta de investigación y la búsqueda bibliográfica para conocer antecedentes, contexto y metodologías más empleadas.

En abril de 2020 comienza la elaboración la metodología propia de esta investigación, así como el contacto y acuerdo con las diferentes entidades que presentes en este estudio: Empresas de local y software, empresa de preparación física de los sujetos, equipo ciclista y ciclistas participantes en el estudio.

Posteriormente, se elabora el documento donde plasma todas las características del trabajo, será enviado al Comité de Ética de la Universidade da Coruña (UDC) para su aprobación, si procede.

Tras finalizar el período de restricción de libertad de movimientos y reunión a causa de la pandemia mundial por el virus SARS-Cov-2, y una vez que sea segura la realización de la intervención de este estudio sin la necesidad de tomar precauciones especiales, se procede a realizarla. El local y software utilizados en este estudio podrán ser utilizados para el presente estudio durante dos horas en los días laborales, de modo que el estudio tendrá lugar durante 10 días en los cuales se estudia a un sujeto cada día.

Una vez llevada a cabo la intervención, se procede a analizar los datos obtenidos y establecer si existe una variación en el recorrido articular del tobillo a diferentes intensidades.

Cuando se conozca la conclusión del estudio, comenzará la planificación de cara a la difusión del trabajo y sus datos.

Las fechas mostradas en la tabla de a continuación son fechas aproximadas, debido al clima de incertidumbre social a causa de la pandemia global provocada por la enfermedad del COVID-19 en el que se elabora este trabajo.

ACTIVIDADES	2020										2021				
	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05
Búsqueda bibliográfica, contextualización.															
Elaboración metodología.															
Contacto con entidades colaboradores.															
Contacto con sujetos participantes en el estudio.															
Evaluación del Comité de Ética UDC.															
Firma del consentimiento informado.															
Intervención.															
Análisis de los resultados.															
Elaboración de las conclusiones.															
Primera presentación de los resultados.															
Elaboración de artículo científico e intervenciones para congresos.															
Difusión de resultados en la comunidad científica y sanitaria.															

Tabla 3: Cronograma y plan de trabajo

6. ASPECTOS ÉTICO-LEGALES

Una vez diseñada la metodología, se plasmará en un documento que será enviado al Comité de Ética de la UDC

La recogida de datos se realizará conforme a la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos, teniendo acceso a ellos tan solo el equipo investigador. Los deportistas firmarán un documento de consentimiento informado, serán informados de los objetivos y posibles beneficios de este estudio, y al finalizar el estudio se les entregará un informe con el análisis del movimiento del tobillo durante la prueba (Ilustración 5).

Los sujetos deberán leer y firmar el documento de información y consentimiento que se les otorgará. (Anexos).

Los datos serán custodiados en un dispositivo de almacenamiento digital externo al que solo tendrá acceso el equipo investigador.

7. APLICABILIDAD DEL ESTUDIO

La hipótesis que surge si se demuestra un aumento en la flexión dorsal en intensidades elevadas de esfuerzo, es que podría evidenciar una claudicación del conjunto de flexores plantares (22) en contracción isométrica, que serían incapaces de llevar a cabo su función principal durante el pedaleo, que es la de mantener una posición del tobillo que permita una correcta transmisión de fuerzas desde el conjunto del miembro inferior hacia el pedal (10).

De encontrarse los hallazgos esperados, se espera que este valor máximo de flexión dorsal del tobillo tenga lugar en el momento del pedaleo donde la fuerza ejercida sobre el pedal es significativamente importante, esto es durante el movimiento de descenso del pedal (11), especialmente en el tramo del movimiento comprendido entre que la biela se sitúa en posición de 90° hasta la posición de 110°, donde se encuentra el momento de máxima ejecución de fuerza sobre el pedal (23).

Este aumento de la flexión dorsal durante el pedaleo provocará a su vez una peor transmisión de fuerzas y una pérdida de energía por esta causa (3), y un riesgo de aparición de lesiones, por una parte al desencadenarse un cambio en los recorridos del resto de articulaciones a causa del distinto comportamiento del tobillo a intensidades altas(14), y por otra parte por el hecho de la cantidad de fuerza elevada que tiene que soportar el complejo articular del tobillo (24), que de no recibirlas en una posición adecuada podría provocar la aparición de distintas afectaciones articulares(25).

Este estudio deja la posibilidad de que otros investigadores realicen un estudio sobre si un trabajo específico de cara a la mejora de la tolerancia en contracción isométrica de los flexores plantares ayudaría a minimizar el aumento en el recorrido articular del tobillo hacia la flexión plantar.

8. PLAN DE DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Tan pronto estén disponibles los resultados obtenidos y las conclusiones a las que estos derivan, se procederá a elaborar un plan para difundir los hallazgos de relevancia que se hayan conseguido.

En primer lugar, se procederá a informar a los participantes en el estudio, así como a los colaboradores necesarios para llevar a cabo este estudio como son la empresa que nos cede el software de análisis del movimiento, la que nos cede el local donde se realiza la investigación, la empresa de preparación física que nos cede los datos relativos a las pruebas FTP de cada sujeto; así como al equipo Grupo Deportivo Supermercados Froiz y todos sus componentes que no actuaron como sujetos de estudio.

En cuanto a la difusión en el ámbito científico y sanitario, se tratará de que los resultados del trabajo sean presentados por medio de ponencias o pósteres científicos en los siguientes congresos:

- Congreso anual de la World Confederation for Physical Therapy.
- Congreso anual de la Asociación Española de Fisioterapeutas.
- I Encuentro internacional Práctico de Biomecánica y Ortopodología de Bilbao.
- Congreso anual Nacional de Estudiantes de Fisioterapia.
- Congreso anual de la Sociedad Española de la Rehabilitación y medicina física.

También se desarrollarán publicaciones y artículos para ser publicados en revistas científicas que aborden temas de fisioterapia, podología y biomecánica como pueden ser:

- Revista Fisioterapia.
- Revista de Biomecánica editada por el Instituto de Biomecánica (IBV).
- Revista Española de Podología.

También se divulgarán los resultados del estudio en el ámbito universitario de Galicia: Grados de fisioterapia y ciencias de la actividad física y el deporte en los campus de A Coruña y Pontevedra por medio de eventos organizados por dichas universidades en los que sea posible participar.

9. MEMORIA ECONÓMICA

9.1. RECURSOS NECESARIOS

Llevar a cabo el proyecto en las condiciones expuestas en el presente trabajo no requiere de recursos económicos, puesto que el local, rodillo y software para el análisis del movimiento será cedido desinteresadamente por las empresas Fisioterapia San Lázaro y Biomecánica San Lázaro de Vigo.

Por otra parte, el material individual como las zapatillas y ropa deportiva es la personal de cada ciclista; y la bicicleta, medidor de potencia y demás componentes son cedidos desinteresadamente por el Grupo Deportivo Supermercados Froiz.

El ciclocomputador utilizado en este estudio es provisto por el investigador principal del proyecto.

Para la difusión de datos en revistas, congresos y bases de datos de habla inglesa, es necesaria la contratación de un servicio de *“proofreading”*, con un coste aproximado de 75€.

Por otra parte, será necesaria una compensación económica a los participantes del estudio por el hecho de tener que transportarse hasta el local del estudio, gasto tasado en 20€ por participante para gastos en combustible.

En definitiva, es precisa una dotación presupuestaria de 275€ para llevar a cabo este proyecto de investigación.

9.2. POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN

Se buscará ser beneficiario del Programa de Ayudas a la investigación convocado por el Colegio Oficial de Fisioterapeutas de Galicia (COFIGA). Beca de 1.000€ para 5 proyectos de investigación seleccionados, en los que el investigador principal está en posesión de la titulación universitaria en Fisioterapia y es colegiado vigente perteneciente al COFIGA.

A su vez, se solicitarán en el ámbito público subvenciones a los organismos de la Xunta de Galicia, Ministerio de Educación y la Universidade da Coruña.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Australia states cyclist numbers participation 1985-2019 [Internet]. [citado 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.cycle-helmets.com/cycling-1985-2019.html>
2. Pérez G, Bueno Carachi S. Seguridad vial y salud pública: Costos de atención y rehabilitación de heridos en Chile, Colombia y Perú. julio de 2012 [citado 18 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36192>
3. Heesch KC, Garrard J, Sahlqvist S. Incidence, severity and correlates of bicycling injuries in a sample of cyclists in Queensland, Australia. *Accid Anal Prev.* 1 de noviembre de 2011;43(6):2085-92.
4. Schwellnus MP, Derman EW. Common injuries in cycling: Prevention, diagnosis and management. *South Afr Fam Pract.* 1 de agosto de 2005;47(7):14-9.
5. Bini R, Hume PA, Croft JL. Effects of bicycle saddle height on knee injury risk and cycling performance. *Sports Med Auckl NZ.* 1 de junio de 2011;41(6):463-76.
6. Wadsworth DJS, Weinrauch P. THE ROLE of a BIKE FIT in CYCLISTS with HIP PAIN. A CLINICAL COMMENTARY. *Int J Sports Phys Ther.* junio de 2019;14(3):468-86.
7. O'Brien T. Lower extremity cycling biomechanics. A review and theoretical discussion. *J Am Podiatr Med Assoc.* noviembre de 1991;81(11):585-92.
8. Peveler WW, Shew B, Johnson S, Palmer TG. A Kinematic Comparison of Alterations to Knee and Ankle Angles from Resting Measures to Active Pedaling During a Graded Exercise Protocol. *J Strength Cond Res.* noviembre de 2012;26(11):3004–3009.
9. Ericson MO, Bratt åke, Nisell R, Arborelius UP, Ekholm J. Power output and work in different muscle groups during ergometer cycling. *Eur J Appl Physiol.* 1 de junio de 1986;55(3):229-35.
10. Kautz SA, Neptune RR. Biomechanical Determinants of Pedaling Energetics: Internal and External Work Are Not Independent. *Exerc Sport Sci Rev.* octubre de 2002;30(4):159–165.

11. Soden PD, Adeyefa BA. Forces applied to a bicycle during normal cycling. *J Biomech.* 1 de enero de 1979;12(7):527-41.
12. Callaghan MJ. Lower body problems and injury in cycling. *J Bodyw Mov Ther.* 1 de julio de 2005;9(3):226-36.
13. Kautz S, Feltner M, Coyle E, Baylor A. The Pedaling Technique of Elite Endurance Cyclists: Changes with Increasing Workload at Constant Cadence. *Int J Sport Biomech.* 1 de febrero de 1991;7:29-53.
14. Bini RR, Diefenthaler F, Mota CB. Fatigue effects on the coordinative pattern during cycling: Kinetics and kinematics evaluation. *J Electromyogr Kinesiol.* 1 de febrero de 2010;20(1):102-7.
15. Hoshikawa H, Takahashi K, Ohashi K, Tamaki K. CONTRIBUTION OF THE ANKLE, KNEE, AND HIP JOINTS TO MECHANICAL ENERGY IN CYCLING. *J Biomech - J BIOMECH.* 31 de diciembre de 2007;40.
16. Allen H, Coggan A. *Training and Racing with a power meter. Second Edition.* Boulder, Colorado: VeloPress; 2010. 288 p.
17. Hertzog MA. Considerations in determining sample size for pilot studies. *Res Nurs Health.* 2008;31(2):180-91.
18. Abal del Blanco P. Análisis cinemático del pedaleo ciclista mediante sistemas de captura del movimiento en 2D y 3D = Kinematic analysis of the bicycle pedaling using 2D and 3D motion capture systems. 2 de junio de 2017;
19. Pallarés J, Morán-Navarro R. Methodological approach to the Cardiorespiratory Endurance Training. *J Sport Health Res.* 29 de marzo de 2012;4:119-36.
20. Vogt S, Schumacher YO, Blum A, Roecker K, Dickhuth H-H, Schmid A, et al. Cycling power output produced during flat and mountain stages in the Giro d'Italia: a case study. *J Sports Sci.* octubre de 2007;25(12):1299-305.
21. Doré E, Bedu M, França NM, Van Praagh E. Anaerobic cycling performance characteristics in prepubescent, adolescent and young adult females. *Eur J Appl Physiol.* 1 de mayo de 2001;84(5):476-81.

22. Murray MP, Guten GN, Baldwin JM, Gardner GM. A Comparison of Plantar Flexion Torque with and Without the Triceps Surae. *Acta Orthop Scand*. 1 de enero de 1976;47(1):122-4.
23. Davis RR, Hull ML. Measurement of pedal loading in bicycling: II. Analysis and results. *J Biomech*. 1 de enero de 1981;14(12):857-72.
24. Ericson MO, Ekholm J, Svensson O, Nisell R. The forces of ankle joint structures during ergometer cycling. *Foot Ankle*. diciembre de 1985;6(3):135-42.
25. Gregor RJ, Wheeler JB. Biomechanical factors associated with shoe/pedal interfaces. Implications for injury. *Sports Med Auckl NZ*. febrero de 1994;17(2):117-31.

11. ANEXOS

11.1. DOCUMENTO DE INFORMACIÓN, COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD Y CONSENTIMIENTO INFORMADO

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN, COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD Y CONSENTIMIENTO INFORMADO

El objetivo del presente documento es informar sobre las características del estudio al que está siendo invitado y solicitar su consentimiento. Su decisión es totalmente voluntaria, no siendo necesario que la adopte en este momento.

Previamente, se le recuerda la importancia de leer detenidamente este documento, del que se le hará entrega de una copia, y aclarar todas sus dudas con el equipo investigador.

Puede hacerlo personalmente, por teléfono o por correo electrónico, a partir de los datos de contacto que son facilitados al final del primer apartado.

DOCUMENTO INFORMATIVO:

La investigación para la que se le solicita su participación tiene por título: *“Análisis de la variación en el recorrido articular del tobillo durante el pedaleo a diferentes niveles de esfuerzo: un proyecto de investigación”* y recibió un informe favorable por parte del Comité de Ética de la Investigación y la Docencia de la Universidade da Coruña.

La información básica que debe conocer es la siguiente:

a) Equipo investigador:

Aitor Bugarín Ledo, estudiante de 4º curso del Grado de Fisioterapia en la Facultad de Fisioterapia en la Universidade da Coruña será el autor principal de este trabajo de investigación y la persona con la que tendrá contacto durante el estudio, que se llevará a cabo en la clínica de fisioterapia Fisioterapia San Lázaro (Av. García Borbón, 23, 1ª planta. Vigo).

b) Objetivo del estudio:

El objetivo de este estudio es llevar a cabo un análisis del movimiento del tobillo durante la pedalada para establecer si existen diferencias en este movimiento a diferentes intensidades de esfuerzo.

Los resultados de este estudio podrán ayudar a entender de mejor manera la pedalada de los ciclistas, para poder así establecer planes de entrenamiento y tratamiento que puedan prevenir lesiones y mejorar el rendimiento en los deportistas.

c) Selección de los participantes:

Usted ha sido seleccionado para la participación en este estudio por cumplir todos los requisitos de edad y nivel competitivo requeridos para este estudio, así como que pertenece al equipo Grupo Deportivo Supermercados Froiz, con el que el equipo investigador colabora de cara a la realización de este estudio.

d) Metodología del estudio

Durante este estudio, deberá realizar tres series de 5 minutos pedaleando en un rodillo a diferentes intensidades que le serán requeridas y siguiendo las instrucciones del equipo investigador, mientras su pedaleo será analizado mediante un sistema de análisis del movimiento 2DMA de la empresa STT Systems.

El tiempo total que deberá permanecer para el estudio será inferior a dos horas.

La información del paciente de la que dispondrá el equipo investigador serán los resultados de su prueba FTP facilitados por su empresa de preparación deportiva y los datos relativos a su cinemática del pedaleo que serán recogidos durante el estudio.

e) Riesgos

El estudio no presenta por sí mismo ningún riesgo para la salud del paciente.

f) Decisión de no participar

En caso de que la decisión final adoptada sea la de no participar en este estudio, esto no conllevará consecuencias a ningún nivel y su equipo no tomará ningún tipo de represalias contra su persona.

g) Retirada del estudio

Usted tiene derecho a renunciar a la participación en este estudio en cualquier momento, sin dar explicaciones y sin acarrear esto consecuencias de ningún tipo.

Para ello, únicamente debe firmar el apartado de revocación del consentimiento que se encuentra al final de este documento.

Todos sus datos recogidos para este estudio serán eliminados y no tenidos en cuenta para los resultados finales.

h) Uso de los resultados

Los resultados obtenidos en este estudio podrán ser utilizados, en caso de ser relevantes, para su divulgación en congresos, conferencias o revistas científicas. Usted podrá acceder a cualquier publicación que se realice al respecto solicitándolo mediante correo electrónico al equipo investigador.

i) Acceso a la información del estudio

Al finalizar el estudio, se le hará llegar mediante correo electrónico los resultados individuales y los resultados globales obtenidos.

j) Aspectos económicos

El equipo investigador no será remunerado por llevar a cabo la presente investigación.

En caso de que los resultados de este estudio deriven en la creación de alguna patente u otro posible beneficio económico, usted no disfrutará de ningún tipo de beneficio ni derecho de explotación o titularidad.

k) Datos de contacto

Aitor Bugarín Ledo

Teléfono de contacto: +34 670 518 607

Correo electrónico: aitor.bugarin@udc.es

COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD

a) Medidas para asegurar el respeto a la intimidad y confidencialidad de los datos personales:

Se adoptaron las medidas necesarias para garantizar la completa confidencialidad de sus datos personales conforme a lo que se dispone en LO 3/2018, del 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 27/04/2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de los datos personales y la libre circulación de estos datos y por lo que se deroga la Directiva 95/46CE (Reglamento general de protección de datos). Los datos necesarios para esta investigación serán recogidos y tratados del siguiente modo:

- Pseudónimos o codificados: Los datos serán tratados de tal manera que no será posible la identificación de los sujetos sin utilizar información adicional. Solo el equipo investigador conocerá el código para identificarlos.

En el uso que se dé a los resultados de este estudio, se garantizará la confidencialidad de los datos de carácter personal, de manera que las personas participantes no resultarán identificables.

b) Derechos de acceso, rectificación, supresión, portabilidad y oposición de sus datos

Podrá acceder a sus datos, así solicitar su rectificación o su supresión para la investigación, contactando con el correo electrónico aitor.bugarin@udc.es, y su solicitud será respondida en la mayor brevedad posible.

c) Cesión, reutilización y período de retención de datos

En algunos casos, los datos obtenidos en este estudio pueden ser útiles para otras investigaciones. Por ese motivo, al final de este documento se le solicita expresamente su autorización.

Los datos susceptibles de cesión a otros investigadores serán únicamente aquellos relativos a los datos de cinemática obtenidos durante el estudio, resultando imposible la identificación de los sujetos participantes.

CONSENTIMIENTO

Don/doña _____

_____,

mayor de edad, con DNI _____ y domicilio en _____

_____.

DECLARO que

Fui informado/a de las características del estudio	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Lei la hoja de información que me otorgaron	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Pude realizar observaciones o preguntas y fueron aclaradas mis dudas.	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Comprendí las explicaciones que se me facilitaron y en que consiste a mi participación en el estudio	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Sé como y a quien me puedo dirigir para realizar preguntas sobre el estudio en el presente o en el futuro	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Fui informado/a de los riesgos asociados a mi participación	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Soy conocedor/a de que no cumplo ningún criterio de exclusión como participante y que si esto cambiase a lo largo del estudio se lo debo hacer saber al equipo de investigación.	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Confirmando que mi participación es voluntaria	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Comprendo que puedo revocar el consentimiento en cualquier momento sin tener que dar explicaciones y sin que repercuta negativamente en mi persona	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>

CONSIENTO

Participar en el estudio	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se utilicen los datos facilitados para investigación	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se utilicen los datos facilitados en publicaciones científicas	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>

Que se utilicen los datos facilitados en reuniones y congresos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se utilicen los datos facilitados para docencia	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se realicen fotografías para la obtención de datos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se grabe en audio para la obtención de datos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se grabe en vídeo para la obtención de datos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se utilicen citas textuales de mis intervenciones, sin identificar,, con fines de docencia	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se utilicen citas textuales de mis intervenciones, sin identificar, en publicaciones	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se use material sensible (fotografías, audio, vídeo) con fines de docencia	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se use material sensible (fotografías, audio, vídeo) en publicaciones	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se conserven los datos de forma anónima al finalizar el estudio para su uso en futuras investigaciones	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que se conserven los datos codificados al finalizar el estudio para su uso en futuras investigaciones siempre que garanticen el tratamiento de los datos conforme a este consentimiento	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Que contacten conmigo para obtener nuevos datos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>

SOLICITO

Acceder a los resultados generales del estudio	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Acceder a la información sobre mi derivada del estudio	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Acceder a los artículos científicos una vez sean publicados	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
La destrucción de mis datos una vez finalizado el estudio	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Incluir las siguientes restricciones al uso de mis datos:		

Y en prueba de conformidad, firmo el presente documento en lugar y fecha que se indican a continuación.

Análisis de la variabilidad del recorrido del tobillo durante el pedaleo a diferentes intensidades: Un proyecto de investigación

_____, _____ de _____ de ____.

<i>Nombre y apellidos de el/la participante:</i>	<i>Nombre y apellidos del representante (en caso de menores o incapaces):</i>	<i>Nombre y apellidos de el/la investigador/a principal:</i>
Firma:	Firma:	Firma:

La persona menor o sin capacidad para tomar por sí misma la decisión de participar ha de ser informada con la mayor claridad posible, y el consentimiento de sus representantes ha de tener en cuenta sus deseos y objeciones (Ley 14/2007, artículo 20).

La persona menor de edad madura (con capacidad intelectual y emocional) tiene derecho a ser oída y ha de consentir su participación. Se presume madurez a partir de los 12 años.

11.2. CUADERNO DE RECOGIDA DE DATOS

Cuaderno de recogida de datos

<i>Código del participante</i>	Nº: XX
<i>Correo electrónico de contacto</i>	