

Técnicas de Procesamiento Para Variables Posturales Enfocadas en Detección Temprana Del Microtraumatismo Tisular de un Ciclista

Processing Techniques for Postural Variables Focused On The Early Detection Of Tissue Microtrauma In A Cyclist

Malaver-Flor, Cesar Rodrigo¹, Astorquiza-Velasco, Mirian Yakeline², Caicedo-Rodríguez, Pablo Eduardo³.

¹Ingeniero Electrónico, Facultad de Ingeniería, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, ORCID:

<https://orcid.org/0000-0001-6893-5257>. Email: cesarm@unicauca.edu.co

²Ingeniera Electrónica, Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Grupo de investigación GITA, Popayán, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1085-7297>. Email:

mirian.astorquiza.v@uniautonomadeuca.edu.co,

³PhD. Ciencias de la electrónica, Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Grupo de investigación GITA, Popayán, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5000-9623>,

Email: pablo.caicedo.r@uniautonomadeuca.edu.co.

Recibido: 04/02/2021

Aceptado: 19/05/2021

Cite this article as: C. Malaver-Flor, M. Astorquiza-Velasco, P. Caicedo-Rodríguez "Técnicas de Procesamiento Para Variables Posturales Enfocadas en Detección Temprana Del Microtraumatismo Tisular de un Ciclista", Prospectiva, Vol 19, Nº 2, 2021.

RESUMEN

El microtraumatismo tisular (MT) es una de las causas del deterioro del rendimiento deportivo de un ciclista de cualquier categoría. A diferencia del macro-trauma, el MT se puede prevenir mediante una postura correcta, la cual ha sido estudiada por diferentes autores. Este artículo presenta una revisión sistemática que se centra en tres aspectos específicos: ¿Cuáles son las principales causas de los microtraumatismos tisulares? ¿Cuáles son las tecnologías utilizadas para medir los puntos de flexión de un ciclista? y ¿Cuántas personas tienen el protocolo experimental incluido en los artículos? Para ello, se realiza una revisión en cuatro buscadores, utilizando cadenas de búsqueda relacionadas con el tema, incluyendo resultados en un rango de 11 años y utilizando un proceso metodológico detallado. Finalmente, el artículo establece que las principales causas de microtraumatismos son la postura incorrecta; que en la medición de puntos de flexión los sistemas ópticos son los más usados, pero están limitados a estudios en laboratorio, y que los inerciales, aunque están aún consolidándose, tienen mayor potencial.

Palabras clave: ciclismo, postura, sistemas ópticos, sistemas inerciales, microtraumatismo tisular.

ABSTRACT

Tissue microtrauma (TM) is one of the causes of impaired performance of cyclists of any category. Unlike macro-trauma, TM can be prevented through correct posture, which has been studied by different authors. This article presents a systematic review that focuses on three specific aspects: What are the principal causes of tissue microtrauma? Which technologies have been used to measure the flexion points of a cyclist? How many people have the experimental protocol included in the articles? For this, a review is carried out in four search engines using search strings related to the topic, including results in a range of 11 years and using a detailed methodological process. Finally, the article establishes that the main causes of microtrauma are incorrect posture, that in the measurement of flexion points, optical systems are the most used, but they are limited to laboratory studies and that inertial systems, although they are still consolidating, have greater potential.

Keywords: Cycling, posture, optical system, inertial system, tissue microtrauma.

1. INTRODUCCION

En los deportes de alto rendimiento como el ciclismo existe alrededor de un 68% de posibilidades de contraer algún tipo de trauma [1], estos se dividen en: (i) microtraumatismo tisular o lesión por sobreuso, el cual es una lesión que resulta de una mala postura [2], y (ii) macro trauma tisular, el cual es ocasionado por un golpe o accidente y puede comprometer seriamente al ciclista; a diferencia de esta última, el microtraumatismo tisular puede ser prevenido [3] [4] [5].

Los puntos en los que se registran mayores afectaciones del microtraumatismo tisular son la espalda baja y la rodilla [6], sin embargo existen otras ubicaciones que pueden verse afectadas como son: cadera, espalda superior, manos y muñecas. El microtraumatismo tisular representa alteraciones en el desempeño del ciclista a nivel deportivo generando dolor crónico durante el pedaleo o incluso en actividades cotidianas del ciclista como caminar, además de que se pueden presentar lesiones permanentes [7].

No obstante, este tipo de lesiones pueden ser prevenidas o reducidas a través de un correcto ajuste a la posición sobre la bicicleta, teniendo en cuenta las medidas físicas del deportista, es por esta razón que varios autores se han enfocado en corregir la postura del sujeto [8], por medio de la adecuación de los componentes en el marco de la bicicleta, haciendo uso de las medidas físicas del ciclista [7], con el fin de utilizar las diferentes tecnologías para su respectiva adecuación [9].

Teniendo en cuenta lo anterior, se encuentran diferentes trabajos que están enfocados a diversos aspectos del estudio del microtraumatismo tisular, entre los que se encuentran enfoques desde el área de la biomecánica [10], electrónica [11], salud [3] o competencia deportiva [12]. En los ámbitos de la biomecánica, la salud y la competencia, los reportes se centran en la activación muscular, buscando encontrar el momento de activación del musculo, fuerza del pedaleo en el que se desea saber la fuerza ejercida sobre el pedal o la fuerza que se requiere al realizar cierto movimiento en la bicicleta [13][14].

Otros de los aspectos evaluados han sido incomodidad, fatiga, dolor, cansancio o asimetría del cuerpo[10][15][16]; además de este tipo de aspectos, en el ámbito electrónico se ha propuesto encontrar los puntos kinematográficos que los ciclistas adoptan en su postura del ejercicio, así mismo la diferencia entre dos modalidades de competencias distintas o de formas de mejorar la postura en relación a la bicicleta [17].

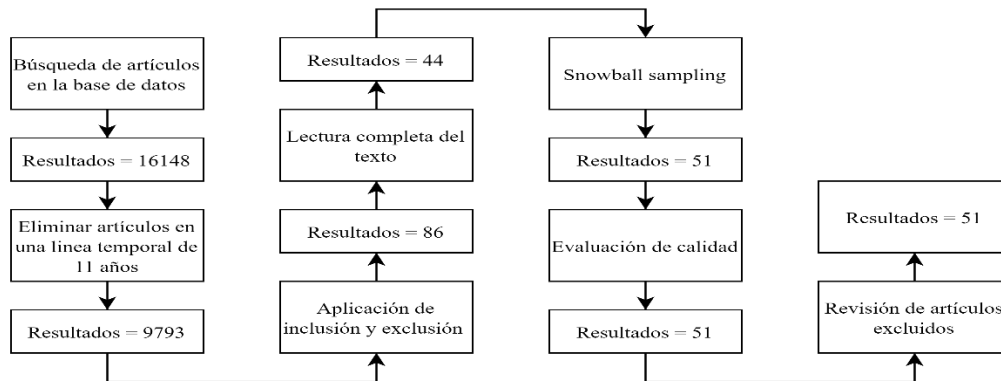
No obstante, si se tienen en cuenta los artículos recopilados en el ámbito del ciclismo, todos se han enfocado en encontrar la simetría correcta del cuerpo, fuerza de pedaleo, activación muscular o electromiografía, donde estudian el cansancio, la fatiga o el dolor causado por un ejercicio controlado o no controlado durante

un periodo de tiempo. Pero ninguno hasta el momento ha estudiado las tecnologías que son usadas para la medición de estos puntos, siendo de esta manera herramientas de apoyo para la investigación clínica, la prevención de lesiones y el desempeño deportivo.

2. MATERIALES Y METODOS

La presente revisión sistemática se basa en la técnica propuesta por Peterson *et al.* [18], la cual consiste en las 7 etapas presentadas en la Figura 1; de cada etapa se obtiene un número de artículos elegibles.

Figura 1 - Proceso de selección de literatura y número de artículos resultantes de cada etapa. Fuente: diseño propio.



i. Búsqueda de artículos en base de datos.

En la primera etapa se estableció la búsqueda en las bases de datos orientadas hacia medicina e ingeniería, en las que se destacan un alto número de publicaciones dedicadas a la captura del movimiento. De esta forma la mayor concentración de artículos se encontraron en: Scielo, IEEEExplorer, ScienceDirect, PubMed y Springer. Una vez identificadas las bases de datos, se procede a clasificarlas según los lugares de encuentro de publicación como médica o de ingeniería Tabla 1.

Tabla 1. Bases de datos consultadas. Fuente: diseño propio.

Base de datos	Médica	Ingeniería
Scielo		X
PubMed	X	
ScienceDirect	X	
IEEEExplorer		X
Springer		X

Una vez clasificados los lugares de encuentro de publicación, con el fin de identificar los tipos de artículos que maneja cada base de datos utilizada, se formulan las siguientes preguntas orientadoras que conllevan a los resultados de la primera etapa.

- ¿Cuáles son las principales causas de un microtraumatismo tisular?
- ¿Cuáles son las tecnologías usadas para la medición de los puntos de flexión de un ciclista?
- ¿Qué cantidad de población se incluye en los artículos?

La selección de artículos se efectuó con base en las cadenas de búsqueda de la Tabla 2.

Tabla 2. Grupos de cadena de búsqueda. Fuente: diseño propio.

Cadena de búsqueda	SciELO	PubMed	IEE Explorer	Science Direct	Springer
“biomechanical” AND “cycling”	9	8948	636	39	161
“biomechanics” AND “cycling”	9	5613	636	39	161
“biomechanical” AND “cycling” AND “injuries”	0	1246	32	28	100
“biomechanics” AND “cycling” AND “measure”	0	2144	174	14	0
“biomechanics” AND “cycling” AND “injuries”	0	1786	32	28	0
“biomechanical” AND “cycling” AND “injuries” AND “traumatic”	0	32	2	13	0
“biomechanical” AND “cycling” AND “injuries” AND “traumatic” AND “measure”	0	22	0	7	0

ii. Eliminar artículos en una línea temporal de 11 años.

De los artículos obtenidos en la etapa anterior, se procedió a eliminar aquellos que fueron publicados antes de 2008, el número de artículos obtenidos por base de datos consultada y cantidad de estos resultados que fueron incluidos en este artículo. Fue consignado en Tabla 3.

Tabla 3. Relación cadenas de búsqueda y resultados obtenidos, fuentes: diseño propio.

Base de Datos	Cadena de Búsqueda	Nº de Arts. Base de datos.	Nº de Arts. Afines con la Búsqueda.
IEEE Explorer	Biomechanics and Cycling	606	29
	Biomechanics and Cycling	34	18
ScienceDirect	Biomechanics and Cycling	146	17
	Measure Setting	7	14
PubMed	Biomechanics and Cycling	93	8
SciELO	Biomechanics and Cycling	886	86
Springer/ Libros	Biomechanics and Cycling		
Total			

iii. Aplicación de Inclusión/Exclusión.

En esta etapa se realizó una selección de la documentación anteriormente obtenida, en la que se incluyeron todos los artículos que el título o el resumen contuvieran los términos: ciclismo, lesiones, microtraumatismo, ajuste, biomecánica, medición, ángulos, flexión, articulaciones, dolor o riesgo. De estos artículos se tomaron aquellos que cumplieran con los siguientes criterios: (i) realicen estudios a ciclistas, (ii) incorporen pruebas realizadas con alguna tecnología orientada a prevenir lesiones o a encontrar una mejor postura (iii)

contengan mediciones en áreas delimitadas o cuerpo completo (Tabla 4). Después de aplicar este filtro resultaron 86 artículos para su posterior análisis completo.

iv. Lectura completa del texto.

Una vez obtenidos los artículos que enfatizan el tema principal, se realizó el análisis completo de cada artículo tomando en consideración los criterios presentados en la

Tabla 4. De esta forma se determinó si el contenido estaba o no relacionado con los objetivos. Durante este proceso fueron excluidos 35 de los artículos debido a que no cumplían con los ejes temáticos anteriormente seleccionados. Finalmente, el número de artículos citados e incluidos en esta documentación son 51.

Tabla 4. Criterios de inclusión, fuente: diseño propio.

Criterios de inclusión
El artículo contiene un estudio en el que se utiliza un dispositivo o tecnología, para la obtención de la medición de la postura del ciclista.
El artículo contiene estudios de pruebas realizadas en ciclistas profesionales o amateur.
El artículo aborda micro lesiones tisulares o prevención de estas.
El artículo contiene resultados de las pruebas realizadas con los dispositivos en los deportistas.

v. Bola de nieve de muestreo o muestreo de referencia.

Una vez terminado el análisis de los documentos directamente relacionados, se consideró analizar otros artículos para complementar la literatura de la revisión, dentro de los elementos relacionados se incluye documentación con las siguientes temáticas:

- Microlesiones deportivas en ciclismo y en otros deportes.
- Técnicas de procesamiento usadas en otras modalidades deportivas.
- Artículos que se relacionen con el rendimiento del deportista.

vi. Evaluación de Calidad

Los artículos incluidos en este documento pasaron por evaluación de calidad., En esta evaluación se tomaron en cuenta los criterios de la Tabla 5, con el fin de que la documentación tenga el mismo peso y puedan ser clasificados para un análisis en conjunto y desestimar aquellos que no cumplan con los criterios.

Tabla 5. Criterios de calidad, fuente: diseño propio.

Criterios de calidad
Artículos con propuestas de solución.
Estudios en proceso.
Artículos con evidencia empírica.
Artículos con información limitada.

vii. Revisión de artículos excluidos

En la revisión de artículos se excluyeron aquellos que no cumplían con los criterios principales de inclusión. Sin embargo, se revisaron nuevamente para determinar el posible aporte a la investigación. Debido a la estructurada selección realizada en los pasos anteriores, de los artículos excluidos ninguno se regresó al grupo principal de documentos válidos.

3. RESULTADOS

En esta sección se presenta los resultados obtenidos en la revisión literaria y las respuestas a las preguntas propuestas anteriormente.

3.1 Microtraumatismo Tisular

Las lesiones deportivas se encuentran clasificadas como agudas o crónicas [19][3], cada una de estas depende de los factores que las desencadenan, las lesiones agudas pueden ser traumáticas o no traumáticas [4], siendo las traumáticas el resultado de una caída, choque o por exceder los límites de la fisionomía del cuerpo humano. A diferencia de las anteriores, las lesiones crónicas suelen aparecer por el uso excesivo o sobreuso, apareciendo de forma lenta y aumentando las molestias con el tiempo, se denominan microtraumatismos de repetición o tisulares [3].

Los microtraumatismos tisulares suelen pasar desapercibidos por los deportistas, hasta el punto que estos continúan entrenando o compitiendo agravando los síntomas de las lesiones [5], este tipo de lesión son muy frecuentes en deportes cuya ejecución involucre movimientos repetitivos, por ejemplo el ciclismo [20]. La lesión se agrava con mayor rapidez cuando se adoptan posturas inadecuadas, en el ámbito del ciclismo, estas malas posturas representan una relación incorrecta con la bicicleta. Dichas poses antinaturales generan desequilibrios en los músculos y articulaciones; viéndose agravados con tiempos de entrenamiento prolongados [5].

Las consecuencias de la presencia de microtraumatismo tisular van desde el bajo desempeño deportivo, disminuyendo la posibilidad de disputar competencias, hasta la aparición de dolores después de la carga física o dolores prolongados incluso días después de la carrera. Generalmente si no se corrige la postura, el dolor presenta un empeoramiento progresivo con el tiempo y por último malestares articulares, llegando incluso al debilitamiento de las fibras musculares lo que da origen a lesiones óseo articulares [21].

Por lo anterior, diversas ciencias se han ocupado de desarrollar estrategias para la prevención de los microtraumatismos tisulares, considerando factores como la alimentación, la geometría de la bicicleta, los planes de entrenamiento y la postura del deportista. Las ciencias de la electrónica han contribuido precisamente en la adecuación de la postura, con el desarrollo de dispositivos y técnicas que sirven como apoyo para los profesionales de la salud en su labor de prevenir las lesiones tisulares.

3.2 Herramientas para la prevención del microtraumatismo tisular

Actualmente se cuenta con herramientas que apoyan la minimización de las consecuencias anteriormente analizadas. Muchas de estas herramientas se basan en los principios de la electrónica de manera tal que, consiguen una estimación de la postura durante el acto deportivo o previo a este. A continuación, se clasifican las herramientas para la prevención de microtraumatismo tisular de acuerdo al principio de funcionamiento. Considerando primero los dispositivos basados en el procesamiento de imágenes y luego los dispositivos basados en los sistemas inerciales y de fuerza.

3.2.1 Dispositivos electrónicos basados en procesamiento de imágenes.

El análisis de movimiento bidimensional por medio de dispositivos ópticos es una de las herramientas más usadas a través de los años. Según la revisión, es debido a su precisión y estandarización para el análisis del movimiento humano, como principal desventaja presenta uso restringido a ambientes controlados, donde los factores lumínicos juegan un papel crítico, lo anterior trae además un limitado espacio de trabajo para la

ejecución de los movimientos[22],[23]. El procesamiento de imágenes tiene diferentes campos de aplicación como la animación, automatización, robótica, simulación y el rendimiento deportivo[24][25].

Los sistemas ópticos se basan en la captura de los puntos de interés (POI) del cuerpo humano, normalmente estos POI se ubican en las articulaciones o ejes de rotación del cuerpo, para que esto sea posible el cuerpo del deportista se debe instrumentar con marcadores reflectivos o infrarrojos, que son captados por un sistema de cámaras ubicadas en los planos sagital, superior y frontal del sujeto de interés [26] [27]. En la revisión de la literatura se encuentran dispositivos comerciales diseñados específicamente para el seguimiento de trayectorias de cuerpos y no comerciales, estos últimos, aunque usan elementos comerciales, no fueron originalmente diseñados para el seguimiento de trayectorias.

Entre los comerciales, aplicados al ciclismo, se encuentra extendido el uso del sensor Kinect de Microsoft, concebido inicialmente como un dispositivo para entretenimiento, permitiendo la captura del esqueleto y de articulaciones mediante la proyección y captura de infrarrojos, en combinación con una cámara RGB integrada en un mismo dispositivo, el sistema Kinect logra mejorar la postura del deportista mediante la comprobación de los ángulos de la rodilla, cadera y codo del cuerpo del ciclista, con la ventaja agregada de ser un sistema de bajo costo que no requiere marcadores reflectivos físicos y que le permite a los grupos amateurs de ciclismo hacer uso de esta tecnología. Por otro lado, el uso de Kinect presenta como principal desventaja la oclusión y la profundidad dada por la posición del ciclista respecto a las fuentes de luz[26],[28]. Bajo el mismo principio del Kinect funciona el sistema Krypton 3D, implementando además en su software propietario filtros digitales para disminuir el ruido y la oclusión, logrando de esta manera capturar los datos de posición para identificar el efecto del sillín en la máxima potencia aplicada[29].

En un entorno especializado, herramientas como Kinescan/IBV system desarrollado por el instituto de biomecánica de Valencia, permite la integración de varias cámaras de captura de imagen como la Sony HDR-FX1, logrando capturar con una frecuencia de 50Hz la posición de marcadores reflectivos ubicados en el maléolo lateral, el cóndilo femoral lateral, el trocánter mayor de la extremidad inferior izquierda, el acromion izquierdo y la tuberosidad de olecranon. permitiendo conocer la flexión del tronco y rodilla como insumo para determinar el efecto de la postura en la percepción de confort, fatiga y dolor[27], diferencias de técnicas de pedaleo entre ciclistas de diferentes niveles[30] o el efecto de cambios en la bicicleta sobre la eficiencia y la técnica de pedaleo[31].

Similar al Kinescan está el sistema MacReflex de la empresa Qualisys, que implementa filtro solar y un filtro activo para la captura en exteriores, esto en conjunto con su baja latencia y velocidad de captura de 1400 fotogramas por segundo, permiten su uso en la captura de movimiento en ciclismo en ambientes exteriores, sin embargo, al igual que los demás sistemas ópticos, el sensor de captura debe ubicarse en un punto de referencia fijo respecto al POI, siendo esto una limitante para su uso en ambientes de carrera. El MacReflex ha sido usado como sistema de detección de postura, para determinar el efecto de la altura del manillar en la curvatura de la espina lumbar del ciclista [32], también para establecer una longitud de sillín optima mediante el ajuste de postura y medidas subjetivas[33] e incluso como mecanismo para medir la dinámica del pedaleo proporcionando desde el plano sagital, la orientación del pedal y el ángulo de la biela [34].

De igual manera el sistema Flex 3, desarrollado por la empresa OptiTrack, permite mediante una configuración de seis cámaras de captura óptica de movimiento, seguir el movimiento de ocho marcadores reflectivos ubicados en rodillas, talones, dedos de los pies y pedal en el costado derecho e izquierdo del deportista, con el fin de analizar las trayectorias de la rodilla en el pedaleo para evitar lesiones por sobre uso[35]. El OptiTrack ha sido usado para relacionar la biomecánica del ciclismo con el desempeño del ciclista[36], efectos psicológicos y subjetivos de la distancia medio lateral entre el pie durante el pedaleo[37], el desarrollo de sistemas de monitoreo postural para ciclismo estático o de interiores como soporte para la corrección de posturas perjudiciales[38].

Las cámaras Vicon, desarrolladas por Oxford Metrics, permiten la captura de la posición de marcadores, este sistema ampliamente usado en análisis de movimiento y marcha humana, permite configuraciones multicámara para la captura de los marcadores en los planos sagital, coronal y axial, además de la extracción de variables mecánicas como la posición de las bielas, el momento en el que alcanza el punto muerto superior e inferior[10]. El sistema Vicon es usado también para el análisis de la cinemática de ciclistas profesionales y principiantes durante diversos entrenamientos[39], la comparación entre el ciclismo estacionario y otros deportes estacionarios[40]. Dada la estandarización y eficacia demostrada del sistema Vicon, este es usado para validar otros sistemas que permiten el análisis tridimensional del pedaleo [41].

En el entorno de dispositivos no comerciales usados para la captura de movimiento y posición, existen diversas configuraciones basadas en que, prácticamente cualquier dispositivo que capture imágenes a color o en blanco y negro, podría ser usada para determinar la posición de un punto de interés. Lo anterior logrado por algoritmos de procesamiento que permiten por ejemplo el uso de videocámaras, validando con goniómetro, el efecto de la altura del sillín en la cinemática lumbar del deportista[42], realizando monitoreo cuantitativo y cualitativo del movimiento de la rodilla de ciclistas competitivos y aficionados para evitar lesiones por sobre uso[43].

Mediante herramientas de captura de imágenes, es posible determinar la influencia de la altura del sillín en los movimientos sobre el plano sagital, lo cual contribuye al desempeño del deportista[42], También minimizar las ocurrencias de tendinitis rotuliana encontrando indicios de problemas relacionados con el pedaleo[35]. Finalmente, la literatura muestra que con captura de imágenes se pueden implementar sistemas capaces de realizar seguimientos a articulaciones de interés para prevención, desempeño o confort, [26], [27], [29].

3.2.2 Dispositivos electrónicos basados en sistemas inerciales y de fuerza.

Este tipo de dispositivos (IMMS) están compuestos por tres sensores diferentes, el magnetómetro, giroscopio y acelerómetro, cada uno de estos elementos tiene como finalidad medir la posición y orientación de un POI del cuerpo humano. Se suele incluir en la captura de datos el sensor de fuerza construido a partir de una galga extensiométrica, siendo esta configuración de las más comunes en la medición de postura en diferentes áreas incluida el área deportiva. Al igual que los sistemas ópticos, los IMMS pueden ser comerciales diseñados para seguimiento de postura o no comerciales elaborados en investigaciones para el seguimiento de movimiento.

Entre los comerciales se encuentra el BodyGuard, construido a partir de galgas extensiométrica que permiten mediante la medición de la flexión de la galga, conocer el ángulo entre dos puntos de interés, este sistema ha sido validado en laboratorios de análisis de movimiento en entrenamientos sobre cicloergómetros, dando en promedio diferencias de 3 grados en las articulaciones de interés [44]. Esta tecnología es usada por ejemplo, para comparar la cinemática de ciclistas con dolor en la espalda baja contra la cinemática de ciclistas sin síntomas de dolor[44].

Xsens propiedad de MTw Development Kit, B.V. Technologies, cuenta con sistemas IMMS inalámbricos, estos son capaces en ambientes con interferencia magnética limitada hacer seguimiento a los ángulos de la cadera durante la práctica del ciclismo, disminuyendo su precisión a medida que aumenta la cadencia de pedaleo. El sistema al igual que el BodyGuard se valida mediante un sistema óptico de captura de movimiento, específicamente Vicon[45],[46]. El sistema Xsens ha sido usado como herramienta de apoyo para conocer la respuesta biomecánica y psicológica de ciclistas amateurs con bicicletas de pedaleo asistido[47], identificar la adaptación de la fuerza muscular en el tronco superior al realizar un sprint sentado

sobre el sillín[48] y los cambios de la posición del ciclista durante el sprint sentado y la manera en que se debe ajustar la bicicleta en estas condiciones[49],[50].

Los acelerómetros y giroscopios de Motion Sense permite una estimación de la postura del ciclista con el objetivo de obtener información confiable sobre pose del deportista para seguimiento de diagnóstico de desorden clínico y seguimiento de rehabilitación[51]. Es común integrar sistemas ópticos e IMMS, en este caso una cámara monocular en conjunto con dos giroscopios triaxiales ubicados en la bicicleta y el tronco del ciclista, además cuatro giroscopios de tamaño reducido (slimAHRS) son ubicados en los bíceps y antebrazos del deportista, para lograr una integración entre los datos del ciclista y la bicicleta[52]. Todo el sistema fue validado con el sistema de captura de movimiento Vicon[22].

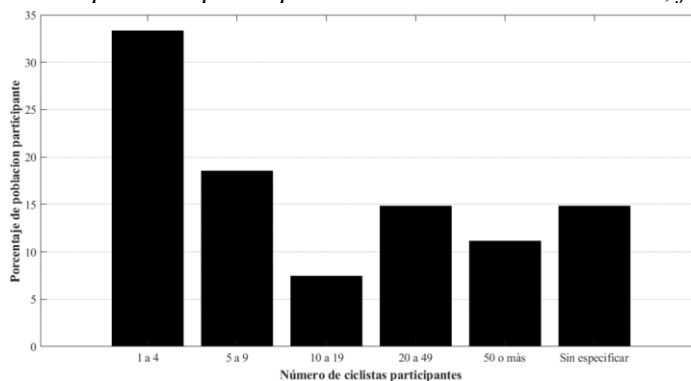
Por otro lado, considerando que los sistemas IMMS están conformados por acelerómetros y giroscopios, existen sistemas no comerciales de seguimiento de trayectorias diseñados para estudios de investigación específicos, teniendo en cuenta además que plataformas como Invensense ofrecen la posibilidad de integrar su kit de desarrollo de software para monitorizar en tiempo real el desempeño del ciclista y ajustar el perfil de pedaleo mediante IMMS y computación móvil donde se integran los IMMS no solo al deportista sino también a los pedales de la bicicleta[53]. Los sistemas no comerciales, tienen un costo menor en comparación a sistemas de seguimiento desarrollado por industrias especializadas, en contraparte al costo, los investigadores deben desarrollar e implementar filtros analógicos que se ajusten a las necesidades de su investigación[54]

3.3 Descripción de poblaciones estudiadas

En la población de deportistas muestreados en estos artículos, se pueden observar pruebas en ciclistas profesionales como no profesionales en las modalidades de ciclismo de ruta y montaña, en los que se establecieron pruebas en ambientes controlados como no controlados. En los que ambientes controlados se presentaron las tomas de datos en laboratorios, estos datos evidenciaron dos formas de recolección, los que fueron recolectados después de una competencia o participación, o un caso en el que recolectaron las mediciones con el dispositivo montado en el cuerpo del deportista y este guardaba los datos en memorias para su reconstrucción posteriormente.

En la Figura 2 se puede observar el conteo de deportistas muestreados en los artículos, de los que el 33,3% de los estudios realizaron sus investigaciones con la participación de 1 a 5 deportistas, siendo este el mayor porcentaje de todos, otra de las evidencias de los textos que se recolectaron fue que el 11,1% de los artículos en el momento de realizar las primeras mediciones, con el tiempo fueron desestimando algunos de los participantes y quedando solo con aquellos que presentaran algún tipo de dolor al nivel de las zonas donde mayor lesión se presente en el ciclismo, indicadas en la Figura 3.

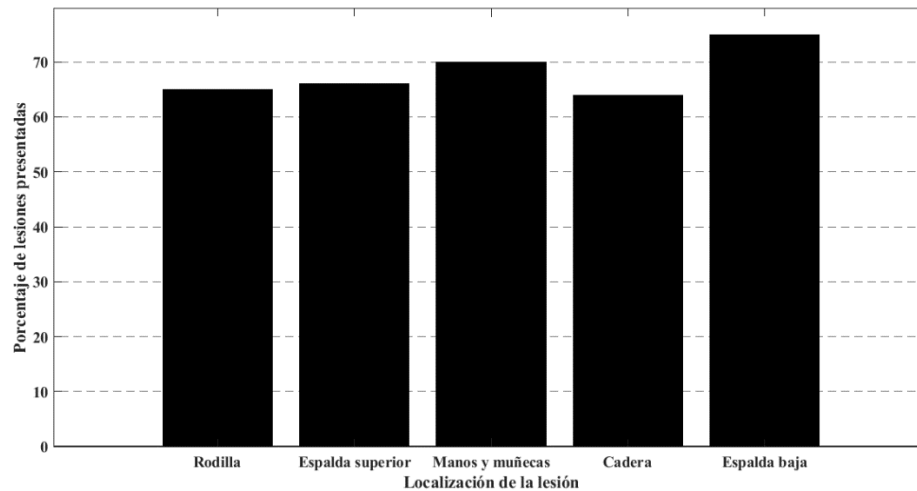
Figura 2 – Cantidad de deportistas participantes en los artículos revisados, fuente: diseño propio.



4. Discusión y conclusiones

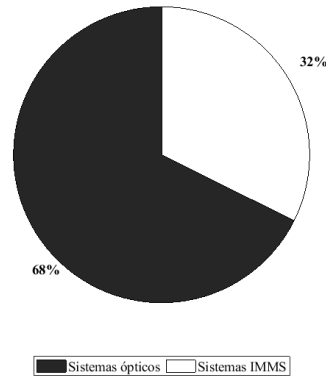
El microtraumatismo tisular en ciclismo se ha estudiado suficientemente bien, a tal punto que se puede prevenir o incluso corregir, de ser detectados a tiempo los causantes del mismo. Considerando que, en el ciclismo los microtraumatismos están principalmente relacionados con la postura sobre la bicicleta, se entiende la necesidad que existe sobre la creación u optimización de métodos para el ajuste de la postura, el seguimiento de la misma y el desarrollo de herramientas de apoyo para los profesionales de la salud y relacionados con el ciclismo. La revisión correspondiente a lesiones se muestra en la Figura 3. De la misma es válido notar que, aunque las lesiones están claramente identificadas en la literatura y a pesar del avance tecnológico que ha tenido el ciclismo a lo largo del tiempo, las lesiones se siguen presentando e incluso logran sacar de competición a deportistas de alto rendimiento en competencias de primer nivel.

Figura 3 - Zonas frecuentes de lesiones por micro trauma y macro trauma, fuente: diseño propio.



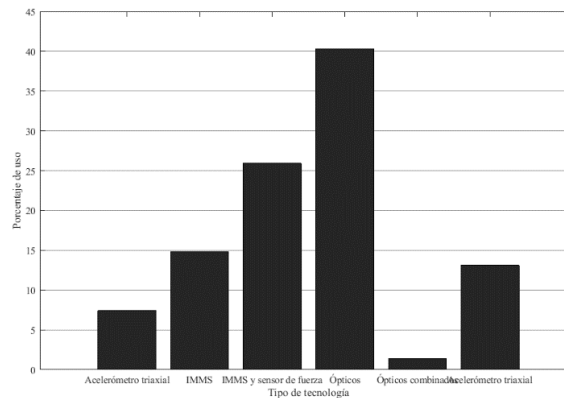
En las tecnologías para la detección de postura en ciclismo, los sistemas ópticos presentan predominio debido a su fiabilidad comprobada a lo largo del tiempo, como lo muestra la Figura 4, son ampliamente usados en ambientes de laboratorio, siendo según los estudios este su más grande limitación, pues el uso de estos sistemas en ambientes de competición es prácticamente nulo por las condiciones no controlables del entorno. Por otro lado, los sistemas inerciales, según las tendencias de publicación, están siendo cada vez más usados en el ámbito deportivo, con la posibilidad de conocer la posición cartesiana de un POI respecto a un punto determinado, estos sistemas IMMS aportan insumos que posterior a un procesamiento determinado, se convierte en información valiosa para personal de la salud y el deporte. Incluso siendo el ciclismo un deporte en el que las fuentes de interferencia electromagnética son variables y abundantes los sistemas IMMS han sido usados en condiciones de competencia para determinar velocidad o la cadencia.

Figura 4 - Temática central de los artículos revisados



Al conducir esta búsqueda estructura de información, se espera que la información sobre los dispositivos usados para el seguimiento de postura, genere bases de conocimiento para que futuras investigaciones partan con la certeza de las principales zonas de lesión y las principales tecnologías existentes, y las más usadas para el seguimiento de postura en ciclismo como lo ilustra la Figura 5. De igual manera, aunque la investigación muestra el predominio de los sistemas ópticos, parece ser que estos han encontrado una barrera insalvable para el seguimiento en ambiente de competición, dando así la posibilidad y necesidad de desarrollar los sistemas IMMS a tal punto que puedan estos ser el siguiente paso en el desarrollo del seguimiento de trayectorias en deportes practicados al aire libre.

Figura 5 - Uso frecuente de tecnologías en artículos, Fuente: Diseño propio



Por otro lado, desde las ciencias del deporte y la rehabilitación deportiva, es válido decir que los instrumentos y técnicas revisadas, únicamente generan información de apoyo para determinar posturas incorrectas que generan lesiones o disminución del rendimiento deportivo. Y que son los expertos en salud quienes, con base en esta información, generan planes de rehabilitación o ajustes de postura. Es por lo anterior que se puede concluir que desde el nivel científico, las técnicas por sí solas no influyen, más allá de la exactitud de las mediciones, en una exitosa recuperación o ajuste del rendimiento ya que estos factores dependen principalmente del actor humano compuesto por entrenadores, médicos deportólogos y ciclistas. Sin embargo, con el ánimo de establecer ventajas comparativas que relacionan el tipo de técnica y su uso por el personal de la salud, se puede decir que las técnicas basadas en dispositivos ópticos son usadas comúnmente en los casos de detección de lesiones, ya que cuando los microtraumatismo se deben a una mala postura, los factores externos son indiferentes y se puede realizar las mediciones en ambientes de

laboratorio. Por otra parte, las técnicas basadas en sensores inerciales presentan ventajas cuando las necesidades son entorno al rendimiento deportivo, debido a que en el ajuste de postura para rendimiento deportivo se consideran factores externos que difícilmente pueden ser emulados en los ambientes de laboratorio, por lo cual las técnicas basadas en sensores inerciales se convierten en herramientas clave para la captura de movimiento en entornos de competición.

Finalmente, como conclusión general de este artículo se evidencia que los microtraumatismos tisulares están directamente relacionados con la postura del deportista, lo que ha permitido el desarrollo de dispositivos basados en el procesamiento de imágenes, que permiten hacer seguimiento de la posición del ciclista sobre la bicicleta, aunque con la principal desventaja de solo ser usado en ambientes controlados. De igual manera, aunque en menor medida, sistemas inerciales se están empleando con el mismo fin. Sin embargo, este tipo de sistemas aplicado al ciclismo se encuentra aún en etapa temprana de desarrollo hasta tal punto que se requiere, en la mayoría de los casos, validar e incluso apoyarse en los sistemas ópticos. No obstante, las potenciales ventajas de los sistemas IMMS sobre los sistemas ópticos, terminará permitiéndoles no solo tener un mayor protagonismo, sino ser implementados de forma cotidiana en el ciclismo competitivo tanto para el ajuste de postura, para rendimiento deportivo, como para la prevención de lesiones.

5. Referencias

- [1] M. R. Silberman, "Bicycling injuries," *Curr. Sports Med. Rep.*, vol. 12, no. 5, pp. 337–345, 2013, doi: 10.1249/JSR.0b013e3182a4bab7.
- [2] F. Diefenthaler and M. A. Vaz, "Aspectos relacionados à fadiga durante o ciclismo: Uma abordagem biomecânica," *Rev. Bras. Med. do Esporte*, vol. 14, no. 5, pp. 472–477, 2008, doi: 10.1590/S1517-86922008000500014.
- [3] T. Rodríguez, "Lesiones más frecuentes en el Triatlón, factores de riesgo y medidas de prevención," *Book*, 2016.
- [4] A. L. Entrenamiento and D. E. L. Ciclista, "2. Adaptaciones Fisiológicas Al Entrenamiento Del Ciclista," *BioLaster/Apoyo Científico y Tecnológico para el Deport.*, pp. 2–33, 2008.
- [5] Á. G. de la R. H. Luis Tárrega Tarrero, Begoña Manuz González, "Lesiones deportivas versus accidentes deportivos. Documento de consenso. Grupo de prevención en el deporte de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE)," *Arch. Med. del Deporte. Rev. la Fed. Española Med. del Deporte. y la Confed. Iberoam. Med. del Deporte. ISSN 0212-8799, Vol. 35, N.º. Extra 1, 2018, págs. 6-16*, vol. 35, no. 1, pp. 6–16, 2018.
- [6] T. S. Huang, J. Huang, and Y. C. Huang, "A study on comfort sensation of the road cycling body geometry fitting system," *Proc. 4th IEEE Int. Conf. Appl. Syst. Innov. 2018, ICASI 2018*, pp. 1078–1081, 2018, doi: 10.1109/ICASI.2018.8394465.
- [7] R. R. Bini and F. P. Carpes, *Biomechanics of Cycling*, Ilustrada. Cham: Springer International Publishing, 2014.
- [8] R. Bini, P. A. Hume, and J. L. Croft, "Effects of Bicycle Saddle Height on Knee Injury," *Sport. Med.*, vol. 41, no. 6, pp. 463–476, 2011.
- [9] J. Kleinpaul, L. Mann, F. Diefenthaler, A. Moro, and F. Carpes, "Aspectos determinantes do posicionamento corporal no ciclismo: uma revisão sistemática; Aspects determinants of body positioning for cycling: a systematic review," *Mot. Rev. Educ. Física*, vol. 16, no. 4, pp. 1013–1023, 2010.
- [10] C. Poulouen *et al.*, "Spatiotemporal analysis of 3D kinematic asymmetry in professional cycling during an incremental test to exhaustion," *J. Sports Sci.*, vol. 36, no. 19, pp. 2155–2163, 2018, doi: 10.1080/02640414.2018.1432066.
- [11] E. S. Sazonov, G. Fulk, J. Hill, Y. Schutz, and R. Browning, "Monitoring of posture allocations and activities by a shoe-based wearable sensor," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 58, no. 4, pp. 983–990, 2011, doi: 10.1109/TBME.2010.2046738.

- [12] S. Leirdal and G. Ettema, “The relationship between cadence, pedalling technique and gross efficiency in cycling,” *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 111, no. 12, pp. 2885–2893, 2011, doi: 10.1007/s00421-011-1914-3.
- [13] R. R. Bini, C. P. Hoefelmann, V. P. Costa, and F. Diefenthaler, “Reproducibility of upper leg EMG frequency content during cycling,” *J. Sports Sci.*, vol. 36, no. 5, pp. 485–491, 2018, doi: 10.1080/02640414.2017.1318217.
- [14] R. Verma, E. A. Hansen, M. de Zee, and P. Madeleine, “Effect of seat positions on discomfort, muscle activation, pressure distribution and pedal force during cycling,” *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 27, pp. 78–86, 2016, doi: 10.1016/j.jelekin.2016.02.003.
- [15] J. I. Priego Quesada, Z. Y. Kerr, W. M. Bertucci, and F. P. Carpes, “The association of bike fitting with injury, comfort, and pain during cycling: An international retrospective survey,” *Eur. J. Sport Sci.*, vol. 19, no. 6, pp. 842–849, 2019, doi: 10.1080/17461391.2018.1556738.
- [16] T. C. JACQUES, F. J. LANFERDINI, R. R. BINI, and M. A. VAZ, “Implicações da cadência de pedalada sobre a potência mecânica e o período de contração muscular no ciclismo,” *Rev. Bras. Educ. Física e Esporte*, vol. 28, no. 3, pp. 387–394, 2014, doi: 10.1590/1807-55092014000300387.
- [17] F. Diefenthaler, J. D. O. Berneira, V. L. Moro, and F. P. Carpes, “Influence of saddle height and exercise intensity on pedalling asymmetries in cyclists,” *Brazilian J. Kinanthropometry Hum. Perform.*, vol. 18, no. 4, p. 411, 2016, doi: 10.5007/1980-0037.2016v18n4p411.
- [18] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, pp. 1–18, 2015, doi: 10.1016/j.infsof.2015.03.007.
- [19] R. Doyscher, K. Kraus, B. Finke, and M. Scheibel, “Akutverletzungen und Überlastungsschäden der Schulter im Sport,” *Orthopäde* 43, pp. 1–6, 2014, doi: 10.1007/s00132-013-2141-x.
- [20] M. Alberto, R. Medina, and L. E. Física, “Ergonomics and sport of a cycling with hip dysplasia and shortening of the lower limbs .,” *Rev. Col. Reh.*, vol. 12, pp. 14–21, 2013.
- [21] P. B. Lewis, D. Ruby, and C. A. Bush-Joseph, “Muscle Soreness and Delayed-Onset Muscle Soreness,” *Clin. Sports Med.*, vol. 31, no. 2, pp. 255–262, 2012, doi: 10.1016/j.csm.2011.09.009.
- [22] X. Lu, K. Yu, Y. Zhang, J. Yi, J. Liu, and Q. Zhao, “Whole-Body Pose Estimation in Physical Rider-Bicycle Interactions with a Monocular Camera and Wearable Gyroscopes,” *J. Dyn. Syst. Meas. Control. Trans. ASME*, vol. 139, no. 7, pp. 4124–4129, 2017, doi: 10.1115/1.4035760.
- [23] L. L. Gómez Echeverry, A. M. Jaramillo Henao, M. A. Ruiz Molina, S. M. Velásquez Restrepo, C. A. Páramo Velásquez, and G. J. Silva Bolívar, “Human motion capture and analysis systems: a systematic review/Sistemas de captura y análisis de movimiento cinemático humano: una revisión sistemática,” *Prospectiva*, vol. 16, no. 2, pp. 24–34, Jul. 2018, doi: 10.15665/rp.v16i2.1587.
- [24] R. T. Yunardi, A. A. Firdaus, E. I. Agustin, and Pujiyanto, “Implementation of motion capture system for trajectory planning of leg swing simulator,” *Proc. - 2017 Int. Semin. Sensor, Instrumentation, Meas. Metrol. Innov. Adv. Compet. Nation, ISSIMM 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 11–16, 2017, doi: 10.1109/ISSIMM.2017.8124252.
- [25] M. Lapinski *et al.*, “A wide-range, wireless wearable inertial motion sensing system for capturing fast athletic biomechanics in overhead pitching,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 17, 2019, doi: 10.3390/s19173637.
- [26] A. Carranco, Jorge; Salgado, Francisco; Cando, “Posture Detection, Classifier and Correction System for Cyclists Applying KINECT V2 with Neural Nets and Fuzzy Logic,” *IEEE Signal Process. Med. Biol. Symp.*, 2016.
- [27] J. I. Priego Quesada, P. Pérez-Soriano, A. G. Lucas-Cuevas, R. Salvador Palmer, and R. M. Cibrián Ortiz de Anda, “Effect of bike-fit in the perception of comfort, fatigue and pain,” *J. Sports Sci.*, vol. 35, no. 14, pp. 1459–1465, 2017, doi: 10.1080/02640414.2016.1215496.
- [28] S. M. Malfatti and I. Yepes, “VirtualBike: An Exergame Designed to Cyclists,” in *2014 XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality*, May 2014, pp. 311–314, doi: 10.1109/SVR.2014.12.

- [29] J. Vrints, E. Koninckx, M. Van Leemputte, and I. Jonkers, “The effect of saddle position on maximal power output and moment generating capacity of lower limb muscles during isokinetic cycling,” *J. Appl. Biomech.*, vol. 27, no. 1, pp. 1–7, 2011, doi: 10.1123/jab.27.1.1.
- [30] J. García-López, S. Díez-Leal, A. Ogueta-Alday, J. Larrazabal, and J. A. Rodríguez-Marroyo, “Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels,” *J. Sports Sci.*, vol. 34, no. 17, pp. 1619–1626, Sep. 2016, doi: 10.1080/02640414.2015.1127987.
- [31] V. Ferrer-Roca, R. Bescos, A. Roig, P. Galilea, O. Valero, and J. García-López, “Acute effects of small changes in bicycle saddle height on gross efficiency and lower limb kinematics,” *J. Strength Cond. Res.*, vol. 28, no. 3, pp. 784–791, 2014, doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a1f1a9.
- [32] Y. L. Chen and K. C. He, “Changes in human cervical and lumbar spine curves while bicycling with different handlebar heights,” *Work*, vol. 41, no. SUPPL.1, pp. 5826–5827, 2012, doi: 10.3233/WOR-2012-0964-5826.
- [33] Y. L. Chen and Y. N. Liu, “Optimal protruding node length of bicycle seats determined using cycling postures and subjective ratings,” *Appl. Ergon.*, vol. 45, no. 4, pp. 1181–1186, 2014, doi: 10.1016/j.apergo.2014.02.006.
- [34] S. Leirdal and G. Ettema, “The relationship between cadence, pedalling technique and gross efficiency in cycling,” *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 111, no. 12, pp. 2885–2893, 2011, doi: 10.1007/s00421-011-1914-3.
- [35] O. Kaplan *et al.*, “Towards Situated Knee Trajectory Visualization for Self Analysis in Cycling,” *25th IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VR 2018 - Proc.*, pp. 595–596, 2018, doi: 10.1109/VR.2018.8446212.
- [36] N. A. Turpin and B. Watier, “Cycling Biomechanics and Its Relationship to Performance,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 12, p. 4112, Jun. 2020, doi: 10.3390/app10124112.
- [37] G. Millour, S. Duc, F. Puel, and W. Bertucci, “Physiological, biomechanical, and subjective effects of medio-lateral distance between the feet during pedalling for cyclists of different morphologies,” *J. Sports Sci.*, pp. 1–9, Nov. 2020, doi: 10.1080/02640414.2020.1845440.
- [38] G. Aldana; I. Rodas; I. Hernández; G. Friendrich; M. Perez; A. «Secure Dynamics: Sistema de monitoreo postural e inalámbrico para indoor cycling.», *Sport. Tech. Uniandes*, 2019.
- [39] R. R. Bini, F. Dagnese, E. Rocha, M. C. Silveira, F. P. Carpes, and C. B. Mota, “Three-dimensional kinematics of competitive and recreational cyclists across different workloads during cycling,” *Eur. J. Sport Sci.*, vol. 16, no. 5, pp. 553–559, Jul. 2016, doi: 10.1080/17461391.2015.1135984.
- [40] L. A. Prosser, C. J. Stanley, T. L. Norman, H. S. Park, and D. L. Damiano, “Comparison of elliptical training, stationary cycling, treadmill walking and overground walking. Electromyographic patterns,” *Gait Posture*, vol. 33, no. 2, pp. 244–250, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.11.013.
- [41] A. Bouillod, A. Costes, G. Soto-Romero, E. Brunet, and F. Grappe, “Validity and Reliability of the 3D Motion Analyzer in Comparison with the Vicon Device for Biomechanical Pedalling Analysis,” in *Proceedings of the 4th International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support*, 2016, pp. 63–66, doi: 10.5220/0006088200630066.
- [42] J. F. Kleinpaul, L. Mann, D. C. Dos Reis, F. P. Carpes, and A. R. P. Moro, “Efeito da altura do selim na cinemática da lombar de ciclistas,” *Motriz. Rev. Educ. Fis.*, vol. 18, no. 4, pp. 783–794, 2012, doi: 10.1590/s1980-65742012000400016.
- [43] O. Kaplan, G. Yamamoto, T. Taketomi, A. Plopski, and H. Kato, “Video-based Visualization of Knee Movement in Cycling for Quantitative and Qualitative Monitoring,” *Proc. 2019 12th Asia Pacific Work. Mix. Augment. Reality, APMAR 2019*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/APMAR.2019.8709267.
- [44] W. Van Hoof, K. Volkaerts, K. O’Sullivan, S. Verschueren, and W. Dankaerts, “Comparing lower lumbar kinematics in cyclists with low back pain (flexion pattern) versus asymptomatic controls - field study using a wireless posture monitoring system,” *Man. Ther.*, vol. 17, no. 4, pp. 312–317,

- 2012, doi: 10.1016/j.math.2012.02.012.
- [45] J. Cockcroft, J. H. Muller, and C. Scheffer, “A complementary filter for tracking bicycle crank angles using inertial sensors, kinematic constraints, and vertical acceleration updates,” *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 8, pp. 4218–4225, 2015, doi: 10.1109/JSEN.2015.2409314.
- [46] J. Cockcroft, J. H. Muller, and C. Scheffer, “A novel complimentary filter for tracking hip angles during cycling using wireless inertial sensors and dynamic acceleration estimation,” *IEEE Sens. J.*, vol. 14, no. 8, pp. 2864–2871, 2014, doi: 10.1109/JSEN.2014.2318897.
- [47] R. Bini, D. Wundersitz, and M. Kingsley, “Biomechanical and physiological responses to electrically assisted cycling during simulated mail delivery,” *Appl. Ergon.*, vol. 75, pp. 243–249, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.apergo.2018.11.004.
- [48] R. R. Bini, L. Daly, and M. Kingsley, “Muscle force adaptation to changes in upper body position during seated sprint cycling,” *J. Sports Sci.*, vol. 37, no. 19, pp. 2270–2278, Oct. 2019, doi: 10.1080/02640414.2019.1627983.
- [49] R. Bini, L. Daly, and M. Kingsley, “Changes in body position on the bike during seated sprint cycling: Applications to bike fitting,” *Eur. J. Sport Sci.*, vol. 20, no. 1, pp. 35–42, Jan. 2020, doi: 10.1080/17461391.2019.1610075.
- [50] S. Cordillet, N. Bideau, B. Bideau, and G. Nicolas, “Estimation of 3D knee joint angles during cycling using inertial sensors: Accuracy of a novel sensor-to-segment calibration procedure based on pedaling motion,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 11, 2019, doi: 10.3390/s19112474.
- [51] Y. Zhang, K. Chen, J. Yi, T. Liu, and Q. Pan, “Whole-Body Pose Estimation in Human Bicycle Riding Using a Small Set of Wearable Sensors,” *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 21, no. 1, pp. 163–174, 2016, doi: 10.1109/TMECH.2015.2490118.
- [52] X. Lu, Y. Zhang, K. Yu, J. Yi, and J. Liu, “Body-Segment Orientation Estimation in Rider-Bicycle Interactions With an Un-Calibrated Monocular Camera and Wearable Gyroscopes,” in *Volume 2: Control, Monitoring, and Energy Harvesting of Vibratory Systems; Cooperative and Networked Control; Delay Systems; Dynamical Modeling and Diagnostics in Biomedical Systems; Estimation and Id of Energy Systems; Fault Detection; Flow and Thermal S*, Oct. 2013, pp. 1–10, doi: 10.1115/DSCC2013-3839.
- [53] J. Y. Xu, X. Nan, V. Ebken, Y. Wang, G. J. Pottie, and W. J. Kaiser, “Integrated inertial sensors and mobile computing for real-time cycling performance guidance via pedaling profile classification,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 19, no. 2, pp. 440–445, 2015, doi: 10.1109/JBHI.2014.2322871.
- [54] K. Chen, Y. Zhang, and J. Yi, “Modeling of rider-bicycle interactions with learned dynamics on constrained embedding manifolds,” *IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics Mechatronics Hum. Wellbeing, AIM 2013*, pp. 442–447, 2013, doi: 10.1109/AIM.2013.6584131.