



Escuela de Ciencias de la salud
Carrera de Kinesiología.

**DIFERENCIAS CINEMÁTICAS ANGULARES
EXPERIMENTADAS AL PEDALEAR EN POSICION
TRADICIONAL Y POSICION AERODINÁMICA EN
BICICLETAS DE TRIATLÓN.**

Optando al título de:

Licenciado en Kinesiología

Documento preparado por:

Adolfo Alejandro Cisternas Tello

Camila Angélica Rosales López

Profesor guía:

Claudio Montejo Soler

Kinesiólogo, Magister en Medicina Deportiva,

Doctor en curso en alto rendimiento deportivo

Santiago, Chile

2015

**DIFERENCIAS CINEMÁTICAS ANGULARES EXPERIMENTADAS
AL PEDALEAR EN POSICION TRADICIONAL Y POSICION
AERODINÁMICA EN BICICLETAS DE TRIATLÓN**

Claudio Montejo Soler

Kinesiólogo, Magister en Medicina Deportiva,
Doctor en curso en alto rendimiento deportivo

Profesor Guía

Cristian Rivero Mathey

Kinesiólogo

Profesor Corrector

Fernando Meza

Profesor Corrector

Autorización para fines académicos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

FECHA:

FIRMA:

DIRECCION:

TELEFONO – E-MAIL:

Calificaciones

Claudio Montejo Soler _____

Cristian Rivero Mathey _____

Fernando Meza _____

Dedicatorias

El término de este proceso tiene un significado importantísimo para ambos, primero por la investigación realizada que se logró llevar a fin, y segundo por el equipo de trabajo que formamos, por el complemento que se logró cuando estuvimos en momentos difíciles.

Este trabajo está dedicado a nuestros seres queridos, quienes siempre han estado tras nuestro esfuerzo y trabajo no solo en estos años de universidad, sino que en la vida. Estos seres amados quienes nos bancaron hasta morir, con nuestros malos genios por noches en vela, por nuestro poco tiempo a dedicar ya que por una u otra cosa debíamos ausentarnos del hogar para cumplir nuestro deber, deber que lo realizamos con mucha pasión, ya que es lo que escogimos hace 5 años no por obligación, sino por vocación.

¡GRACIAS TOTALES!

Agradecimientos

Al kinesiólogo Claudio Montejo, por ser nuestro profesor guía y por toda la ayuda que nos brindó durante esta investigación.

Al kinesiólogo Cristian Riveros por la ayuda y disposición que siempre brindo frente a las dudas que se presentaron en la investigación.

Y a todos los deportistas que aceptaron ser parte de esta investigación.

Tabla de contenido

Índice de Ilustraciones	9
Índice de tablas.....	10
1. Resumen	11
2. Introducción.....	12
3. Pregunta investigativa	13
4. Objetivos de la investigación.....	13
4.1. Objetivo General.....	13
4.2. Objetivos específicos:.....	13
5. Determinación de las variables	14
5.1. Independientes	14
5.2. Dependientes.....	14
5.3. Definición conceptual de las variables.....	14
5.4. Definición operacional de las variables.....	14
6. Justificación.....	15
7. Diseño de estudio.....	16
8. Material y método.....	17
8.1. Los participantes.....	17
8.2. Recolección de datos.....	17
8.3. Procesamiento de los datos.....	19
8.4. Análisis Estadístico.....	19
9. Marco teórico.....	20
9.1. Triatlón.....	20
9.2. Conformación de la bicicleta de triatlón y su diferencia con la bicicleta de ruta	21
9.3. Diferencias entre las posiciones tradicional vs. La posición aerodinámica	22
8.4.1 Cambios en la fisiología articular de la extremidad inferior producto del cambio de posición en la bicicleta	24
9.4. Cinemática angular.....	28
9.4.1. Unidades de medida en la cinemática angular.....	29
9.4.2. Angulo absoluto.....	31
9.4.3. Angulo relativo	33
9.4.4. Posición angular y desplazamiento	35

9.4.5. Cinética y Cinemática del Pedaleo o Crank	37
9.5. Seguimiento o Tracking	42
9.5.1. Seguimiento basado en el algoritmo de Lukas-Kanade	43
10. Resultados	46
11. Discusión	49
12. Conclusiones.....	52
Bibliografía.....	54
Anexo 1.....	64

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Esquema lateral de la pevis/columna en diferentes posiciones...	25
Ilustración 2. Vista de los tres diseños de sillas y sus dimensiones físicas	26
Ilustración 3. Inclinación lateral de la pelvis sobre el hemicuerpo izquierdo.	28
Ilustración 4. Ejemplos de cada unidad de medida. Rotaciones y revoluciones.	30
Ilustración 5. Ejemplos ángulos absolutos	31
Ilustración 6. Ángulos representados en el plano de coordenadas X e Y.	32
Ilustración 7. Descripción de las coordenadas de los puntos de cadera, rodilla y tobillo y el ángulo relativo de rodilla.	34
Ilustración 8. Desplazamiento angular demostrado en un péndulo.....	37
Ilustración 9. Representación de las cuatro fuerzas en el pedaleo.	39
Ilustración 10. Representación del umbral máximo de fuerzas en el pedaleo.....	37
Ilustración 11. Cambios de inclinación en el pedal.	41

Índice de tablas

Tabla 1: Característica (promedio \pm DS) de la edad, altura, peso, IMC, potencia, tiempo de entrenamiento y kilómetros de entrenamiento de triatletas (N= 10) ..	17
Tabla 2: Comportamiento cinemático de la cadera respecto del ángulo de análisis en posición tradicional y aerodinámica.	46
Tabla 3: Comportamiento cinemático de la rodilla respecto del ángulo de análisis para el pedaleo en posición tradicional y aerodinámica.....	47
Tabla 4: Comportamiento cinemático del tobillo respecto del ángulo de análisis para el pedaleo en posición tradicional y aerodinámico.....	48

1. Resumen

En el triatlón uno de los principales desafíos en la disciplina del ciclismo es la resistencia al paso del aire, para ello el ciclista debe generar diferentes adaptaciones como es el paso de una posición tradicional a una aerodinámica. Sin embargo, esto puede ocasionar modificaciones en la eficacia de la producción de fuerza que ejerce el triatleta, siendo influenciada por los ángulos articulares, las longitudes musculares y los brazos de palancas generados (Raymond, Joseph y Gabriel, 2005). Por lo tanto, el propósito del estudio es analizar si existe diferencia en la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo entre la posición tradicional y la posición aerodinámica durante el pedaleo en bicicletas de triatlón. Diez triatletas fueron evaluados en sus propias bicicletas durante el pedaleo en cada posición, para ello se les posicionaron marcadores reflectantes en los puntos anatómicos de cadera, rodilla y tobillo. Los datos obtenidos fueron procesados bajo el software biomecánico Lucas-Kanade, del cual se obtuvieron los ángulos adoptados en cada articulación por posición. Para el análisis estadístico se realizó una comparación de medias mediante la prueba T de Student para muestras independientes. Las diferencias significativas que se encontraron fueron solo en cadera a los 45° , 90° y 270° del eje del pedal, sin embargo se aprecia una tendencia al cambio en todas las articulaciones analizadas. Este cambio producido por la rotación de cadera al adoptar una posición aerodinámica, se ve reflejado en rodilla y tobillo, pero no logra ser significativo debido a la reorganización muscular que realiza el sistema neuromuscular para evitar que se vea afectado el consumo de energía y la eficacia del pedaleo durante la competencia.

2. Introducción

El triatlón es el único deporte en el cual se combinan diferentes áreas (natación, ciclismo y carrera). En la disciplina de ciclismo, uno de los mayores oponentes a desafiar es la resistencia que ofrece el aire a su velocidad, que en promedio y dependiendo de la velocidad puede significar hasta un 90% de resistencia (Anderson, 1996). Es aquí donde los deportistas han procurado a través del tiempo buscar ventajas frente a ello, generando cambios en la conformación de la bicicleta como en la posición que adopta el cuerpo en su propia bicicleta (Nordeen-Snyder, 1977; Sanderson y Amoroso, 2009),

Una de estos cambios fue adoptar diferentes posiciones en la bicicleta, pasando desde una posición verticalizada, como lo es en el ciclismo de ruta, a una posición aerodinámica, posición adoptada en el ciclismo de triatlón, a pesar de traer consecuencias extras como un aumento de vo_{2max} y frecuencia cardiaca (Candu et al., 1998).

La disputa contra la resistencia que ofrece el aire puede disminuir hasta de un 30-35% cuando se pasa de la posición vertical a la aerodinámica (Coyle, Coggan, Hopper y Walters, 1988; Coyle et al., 1991; Davidson, Robertson y Maughan, 1986).

En 1989, Greg Lemond tras su espectacular tour de Francia, demostró la mayor eficacia tras el efecto aerodinámico del clip en Aero-manillar (Boone & Kreider, 1986).

Es aquí donde esta investigación tiene un direccionamiento especial, ya que la evaluación a realizar va directamente a los cambios de la cinemática angular que pueden presentar ambas posiciones, tradicional y aerodinámica en triatlón siendo mayormente específico, ya que a la fecha dentro de los estudios revisados, normalmente se realizan evaluaciones de deportistas con bicicletas ergométricas y no con la bicicleta propiamente tal con la cual se realiza la competencia (Bailey, Maillardet y Messenger, 2003).

3. Pregunta investigativa

¿Existen diferencia de la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo entre la posición tradicional y la posición aerodinámica durante el pedaleo en bicicletas de triatlón?

4. Objetivos de la investigación

4.1. Objetivo General

- Analizar la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo que se experimentan durante el pedaleo en bicicletas de triatlón en las posiciones tradicional y aerodinámica.

4.2. Objetivos específicos:

- Determinar la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo en la posición tradicional en los ocho puntos en la circunferencia del eje del pedal.
- Determinar la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo en la posición aerodinámica en los ocho puntos circunferencia del eje del pedal.
- Comparar la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo que se experimentan en el pedaleo en bicicletas de triatlón en las posiciones tradicional y aerodinámica.

5. Determinación de las variables

5.1. Independientes

- Posición tradicional en bicicleta de triatlón
- Posición aerodinámica en bicicleta de triatlón

5.2. Dependientes

- Cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo

5.3. Definición conceptual de las variables

- La posición tradicional: se logra con una flexión de tronco con apoyo de manos en la parte superior del manillar de la bicicleta.
- La posición aerodinámica: consiste en aumentar la flexión de tronco, apoyar los codos en las almohadillas del manillar, adoptar una proyección medial de las rodillas y adelantar el sillín, consiguiendo con esto disminuir su proyección del área frontal, y por consiguiente la resistencia al roce del aire.
- Cinemática angular: Corresponde al análisis del movimiento de un cuerpo alrededor de un ángulo fijo.

5.4. Definición operacional de las variables

La medición de las variables dependientes e independientes será efectuada mediante el procesamiento de datos a través del software biomecánico de Lucas y Kanade (método de afinidad por la plantilla).

6. Justificación

Los triatletas en su desafío constante para mejorar sus tiempos y marcas en la competencia, especialmente en el ciclismo, se ven enfrentados contra diferentes obstáculos a vencer. Algunos obstáculos que se encuentran en la carrera normalmente son por ejemplo factores ambientales, velocidad del viento, topografía del lugar, las transiciones entre cada área, la edad y el sexo. Además debemos considerar factores tales como cansancio acumulado, factores psicológicos y algo importante a resaltar, la adaptación del atleta con su bicicleta (Bentley, Millet, Vleck y MacNaughton, 2002; Le Meur et. al., 2009; Atkinson y Brunskill, 2000; de Koning, Bobbert y Foster, 1999; Swain, 1997; Atkinson, Peacock y Law, 2007; Etter et al., 2013; Hamilton, Gonzalez-Alonso, Montain y Coyle, 1991; Lambert, St Clair Gibson y Noakes, 2005).

Bajo los obstáculos mencionados anteriormente, es que el triatleta debe buscar cómo superarlos, por eso debe adoptar diferentes posiciones para contrarrestar la resistencia que ofrece el viento, la cual puede llegar a ser entre un 70 al 90% (Chowdhury, Alam y Mainwaring, 2011) y más aún cuando sabemos que no puede aprovechar el empuje que puede ofrecerle el competidor de adelante (*Drafting*) ya que no está permitido en este tipo de competencias (ITU Competition Rules, 2010).

Los cambios de posiciones van a generar modificaciones en la eficacia de la producción de fuerza que ejerce el triatleta, esta diferencia está dada por los ángulos articulares, las longitudes musculares y los brazos de palancas generados, tales hechos además se pueden ver afectados por la altura del sillín, la posición del tronco y el ritmo del pedaleo (Raymond, Joseph y Gabriel, 2005).

El cambio y elección de posición va dirigido netamente a la ventajosa opción que nos da este gesto funcional, posición tradicional y aerodinámica; es por esto que encontramos de gran importancia conocer las modificaciones y comportamientos que existen a nivel angular de articulaciones claves en el ciclo del pedaleo y así dar pie a una comparación entre ambas posiciones para ver la posibilidad de tanto encontrar diferencias o no entre ellas, logrando con esto promover sugerencias en los hábitos deportivos, especialmente en el tipo de entrenamiento que se pueda programar para el triatleta.

7. Diseño de estudio

El enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo, el diseño de estudio es no experimental de corte transversal, con un alcance exploratorio y descriptivo. La muestra es no probabilística y el análisis de los datos fue de tipo comparativo.

El estudio tiene un enfoque cuantitativo ya que se realizó una recolección de datos (cinemática angular de la posición tradicional y aerodinámica) basados en la medición numérica y el análisis estadístico para comprobar el comportamiento de los triatletas en sus bicicletas y así poder responder a la pregunta de investigación.

El diseño de nuestro estudio es no experimental, debido a que no hubo manipulación intencionada de las variables, sino que se observó un fenómeno en su contexto lo más natural posible, para luego analizarlos. La investigación fue de corte trasversal debido a que la recolección de los datos fueron en un único momento.

El alcance de la investigación es de tipo exploratorio debido a que la cinemática angular en bicicletas de triatlón del mismo triatleta más el protocolo realizado y los criterios de inclusión no se han estudiado en conjunto, por lo mismo se realizó una descripción de la cinemática de ambas posiciones para generar una normalización de la cinemática angular experimentada en los triatletas chilenos.

La muestra fue no probabilista debido a que la selección está dirigida de acuerdo a los objetivos de investigación. La última competencia realizada en Chile fue el Ironman Pucón Chile Enero 2015, del total de 1089 triatletas que participaron 779 eran chilenos, de los cuales se pudo obtener contacto con 17 triatletas, donde solo 10 triatletas lograron cumplir con los criterios de selección los cuales son: debían ser triatletas, adultos, con experiencia en competencia mayor a 5 años realizando carreras de larga distancias tipo Ironman y Ironman 70.3 y ninguno de ellos debía tener una lesión o patología reciente neuromusculoesquelética.

Los datos obtenidos fueron analizados de forma comparativa entre la cinemática angular de la posición tradicional y la cinemática angular de la posición aerodinámica.

8. Material y método

8.1. Los participantes

Diez triatletas (9 masculinos y 1 femenina) participaron este estudio, cumpliendo con los siguientes criterios para la selección: debían ser triatletas, adultos, con experiencia en competencia mayor a 5 años realizando carreras de larga distancia tipo Ironman y Ironman 70.3 y ninguno de ellos debía tener una lesión o patología reciente neuromusculoesquelética.

Los ciclistas fueron informados sobre el estudio y firmaron un formulario de consentimiento por escrito para poder participar.

A todos los participantes se les realizaron evaluaciones antropométricas, y que además proporcionaron información relacionada con su historial de entrenamiento en bicicleta (Ver tabla 1).

Tabla 1: Característica (promedio \pm DS) de la edad, altura, peso, IMC, potencia, tiempo de entrenamiento y kilómetros de entrenamiento de triatletas (N= 10)

	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	IMC	Potencia (watts)	Tiempo de entrenamiento (horas)	Distancia de entrenamiento (km)
Triatletas	31 \pm 8	173 \pm 6	71 \pm 8	24 \pm 3	238 \pm 24	7 \pm 2	244 \pm 66

8.2. Recolección de datos

La recolección de datos y evaluaciones fueron realizadas en la sede de deportes de la Universidad Católica Silva Henríquez, ubicada en Carmen #350, Santiago, en el 4º piso, sala E-42, laboratorio de Biomecánica de la carrera de Kinesiología.

Los datos fueron recolectados mediante un protocolo realizado para no tener diferencias entre las muestras y sean evaluadas de igual manera. Para la

evaluación de la cinemática angular se posicionaron en el lado derecho marcadores reflectantes en los puntos de referencia anatómicos de las articulaciones de cadera, rodilla, tobillo, pie y en el eje del pedal, es decir en el trocante mayor, cóndilo femoral lateral y maléolo lateral respectivamente, definidos de acuerdo a diferentes protocolos (anexo 1) (Bini, Hume y Croft, 2012; Bini, Humea, Lanferdini y Vaz, 2012).

Los participantes tenían sus propias bicicletas de triatlón, las cuales fueron montadas en un rodillo entrenador de bicicletas (marca Rodillo Elite Volare Mag Alu), los triatletas adoptaron su posición preferida para un calentamiento de 10 minutos con una cadencia constante de 90 revoluciones por minuto (rpm), después del calentamiento se solicitó adoptar la posición tradicional manteniendo la cadencia de 90 rpm y con la potencia determinada en la última competencia durante 5 minutos con el fin de poder obtener su potencia umbral y así poder unificar el criterio de muestra. Luego de 5 minutos de descanso se le pidió al triatleta que adoptara la posición aerodinámica y que la mantuviera durante 5 minutos igualmente. Se les solicitó pedalear en las distintas posiciones con una cadencia de 90 rpm. y la potencia determinada de la última competencia, ya que de esta forma evitamos que los sujetos realizaran una cadencia y/o potencia mayor a su potencia umbral, simplemente por el hecho de estar siendo evaluados.

Desde el plano sagital del ciclista, se capturó un único video por posición, la cámara que se utilizó para grabar el gesto funcional del triatleta es una GoPro Hero 3 Silver, con pantalla LCD, con una resolución de 11MP Full HD y Video de 120 Hz, posicionada sobre un trípode a una altura de 60 cm y a una distancia de 150 cm de la bicicleta. El procesamiento de los datos se realizó través de software biomecánico (Lucas-Kanade) donde se registraron las imágenes de los ocho puntos del pedaleo cada 45°, en cada posición. Posteriormente a eso se obtuvo el promedio de cada ángulo en siete ciclos del pedaleo.

8.3. Procesamiento de los datos

Para el procesamiento de los datos se precisó grabar una secuencia video fotogramétrica para cada triatleta en cada posición. Se contó con una cámara GoPro 3 Silver a 120 Hz. En seguida el video fue digitalizado a través del software MATLAB 2013^a, usando funciones de Video Reader para su lectura, posteriormente es cuando fue realizado el seguimiento o tracking de las referencias articulares para cada triatleta con la ayuda del algoritmo de Lucas Kanade y la afinidad por la plantilla (L-K Affine Template) el cual estaba configurado en MATLAB. Tras ese procedimiento se obtuvo una matriz de coordenadas X e Y por cada referencia articular seleccionada. Luego se ingresó la matriz a una función de cinemática angular de Angulo Absoluto para cada articulación obteniendo así los ángulos de ellas.

De acuerdo a ello, esos datos se ingresan al análisis estadístico como datos que contemplan el promedio de siete ciclos por triatleta de los ángulos de cadera, rodilla y tobillo para los ocho puntos del eje del pedaleo o Crank cada 45°.

8.4. Análisis Estadístico

Para la comparación de medias mediante la prueba T de Student para muestras independientes, previamente se realizó la prueba de homogeneidad de varianza mediante el test de Levene y la normalidad de los datos fue evaluada mediante el test de Shapiro Willks corroborándose ambos supuestos.

9. Marco teórico

9.1. Triatlón

El triatlón es el único deporte en el cual se combinan diferentes áreas (natación, ciclismo y carrera) en donde cada cual tiene sus propias distancias (Bentley, Millet, Vleck y MacNaughton, 2002). La aparición del deporte fue por los años 1970 donde cabe destacar que su organización ha sido bastante avanzada. La primera competición fue en 1978 en Hawái, donde las distancias por área eran de 3.8 kms. en natación, 180 kms. en bicicleta y 42 kms. en la corrida. Esta primera competencia tuvo una dote de 12 participantes masculinos (Lepers, 2008).

En la actualidad, la clasificación para el campeonato del mundo es hecha a través de las calificaciones que obtienen los triatletas en competencias realizadas en todo el mundo, son más de 1.700 competidores donde aproximadamente el 30% es de sexo femenino (Lepers, 2008).

La aceptación de este deporte como deporte olímpico fue para los juegos olímpicos de Sídney 2000 (<http://www.triathlon.org/olympics/history>).

En la competencia, los triatletas compiten por el mejor tiempo en las clasificaciones generales, incluyendo los cambios cronometrados entre la natación, la bicicleta y la corrida. El tiempo va a depender directamente de las características fisiológicas de los triatletas, la antropometría, el entrenamiento pre-competitivo, la nutrición y las condiciones del medio en el que se realiza la carrera (Knechtle, Knechtle y Rosemann, 2011), siendo estos factores importantes al momento de evitar deshidrataciones prolongadas y excesivas para mantener un rendimiento óptimo durante la triatlón (Jeukendrup, Jentjens y Moseley, 2005).

En el último Ironman fue el Pucón Chile Enero 2015 (www.ironmanpucon.com) en el cual participaron 1089 triatletas, donde 779 eran chilenos.

La relevancia de la investigación y el porqué del querer evaluar específicamente el ciclismo en el triatlón, es que esta disciplina representa el 80% de la prueba total en cuanto a kilómetros recorridos y en tiempo representa 2/3 de la carrera final. Estos datos nos indican que claramente el deportista necesita mayores cambios y adaptaciones a nivel anatófisiológico del cuerpo. Son estos datos los

que nos instan a realizar una investigación en la cual dos posiciones pueden inferir en los resultados de la prueba total, es aquí donde el deportista debe sobresalir para obtener ventajas sobre el resto, es aquí donde el deportista debe buscar las mejores estrategias de competición, es aquí donde el deportista sufre dos transiciones por el cambio de área, nado a bicicleta y bicicleta corrida, por eso esta área del triatlón es la elegida a estudiar, y específicamente como se mencionó con anterioridad, las diferencias existentes entre las posiciones utilizadas en el área, y por lo mismo como se ha realizado en otros estudios, estas mediciones han sido realizadas en bicicletas ergométricas, lo cual indica que el deportista no está en su hábitat deportivo, por eso es que con las posibilidades que contamos y los materiales a disposición podemos realizar una investigación a cabo con las bicicletas exclusivas de cada deportista, haciéndolo parecer que está en competición y así poder constatar las verdaderas diferencias angulares en las posiciones adoptadas.

9.2. Conformación de la bicicleta de triatlón y su diferencia con la bicicleta de ruta

Un factor destacadísimo y no mencionado con anterioridad, es la bicicleta, es decir, la conformación de ella para el deportista, siendo de vital importancia que esté adaptada y diseñada únicamente para su dueño (Burke y Pruitt, 2003). Los deportistas luego de adaptar su bicicleta, ellos deben adaptarse a ella, logrando buscar una total comodidad al pedalear y algo más aun, debe ser confortable para la transición que se realiza desde nadar a pedalear, y pedalear a correr (Nordeen-Snyder, 1977; Sanderson y Amoroso, 2009).

La composición de la bicicleta de triatlón es diferente a la de una bicicleta de ruta. Esto está netamente diferenciado por el objetivo que se busca en cada competición y las ventajas y desventajas que proporciona cada una. La bicicleta de triatlón busca encontrar la posición más aerodinámica posible del deportista diferenciando en sí con los aero-manillares y la angulación del cuadro o marco de la bicicleta. Los Aero manillares hacen adoptar una posición más baja y por

ende, más aerodinámica. El peso corporal es depositado en los codos, lugar que hace contacto con el manubrio de la bicicleta, mostrando ya una posición diferenciada a la bicicleta en ruta donde el peso corporal es soportado en las manos y mostrando una posición más erguida, menos aerodinámica y haciendo trabajar otro tipo de musculatura por mantener esa posición. Es por eso que los Aero-manillares reducen el esfuerzo muscular ahorrando energía para la carrera en general (www.entrenar-triatlon.com; www.triatlonrosario.com).

En paralelo, existe otra diferencia y es la composición del cuadro de la bicicleta, en donde la angulación del tubo vertical posterior es mayor en triatlón que en ruta, ayudando así a la eficacia del pedaleo, ya que al adoptar una posición aerodinámica (más baja), el abdomen desciende acercándose a las rodillas, este aumento del ángulo como consecuencia hace que la rodilla en el pedaleo esté más lejos del abdomen y sea más eficaz el mismo (<http://www.entrenar-triatlon.com>). La eficacia de la posición aerodinámica se ve demostrada en 1989, por Greg Lemond tras su espectacular tour de Francia, demostró la mayor eficacia tras el efecto aerodinámico del clip en Aero-manillar (Boone y Kreider, 1986).

9.3. Diferencias entre las posiciones tradicional vs. La posición aerodinámica

Como hemos mencionado en el triatlón la finalidad de las adaptaciones tanto de la bicicleta y de la postura del triatleta es para lograr una posición aerodinámica, (Moss, Cheryl, McKenzie, Ruby y Heil, 2005), logrando así una reducción del 30-35% de la resistencia al paso del aire. (Capelli, Rosa y Butti, 1993; Kyle, 1989; Kyle, 1986). Al adoptar la posición aerodinámica el triatleta genera cambios fisiológicos, como un mayor consumo de oxígeno, aumentando la frecuencia cardiaca y el intercambio respiratorio, por lo tanto genera un mayor gasto metabólico. (Gnehm, Reichenbach y Altpeter, 1997). Existen investigadores que han indicado que esta posición puede afectar de forma negativa al ciclista, como en la producción de energía, eficacia mecánica, la

ventilación y la fuerza aplicada al pedal. (Dorel et al., 2009; Gnehm et al., 1997; Ashe et al., 2003).

Sumando los efectos aerodinámicos a los efectos biomecánicos que puede presentar la bicicleta de triatlón, pueden ser muy ventajosos para los deportistas, ya que disminuye el tiempo de transición desde el pedaleo a la corrida en aproximadamente 5 minutos de vital importancia en la competencia (Garside y Doran, 2010).

La eficacia en la producción de fuerza en el ciclismo se ve afectada por los ángulos articulares, longitudes musculares y los brazos de palanca, lo que puede verse modificado por la altura del asiento, la posición del tronco y el ritmo del pedaleo (Raymond, Joseph y Gabriel, 2005). Y existen diferentes estudios que abalan esto:

Bini, Humea, Lanferdini y Vaz (2012) realizaron una comparación entre las diferentes posiciones del sillín que utilizan los ciclista ya que estos cambios de sillín pueden generar cambios en la compresión de fuerza de la articulación de la rodilla, además también puede generar daño en los tejidos blandos, sin embargo la conclusión de este estudio fue que las posiciones más adelantada o en retroceso del sillín no afecta de forma sustancial la compresión de las articulaciones de rodilla. No solo existe diferencias en las remodelaciones que se le pueden hacer a la bicicleta sino también en la postura que adoptan los ciclistas, como fue demostrado en el estudio de Bini, Hume y Croft (2012) en el cual compararon las posiciones que adoptan los ciclistas recreativos, competitivos y triatletas, las posiciones de miembro inferior fueron analizadas de forma lateral y anteroposterior, obtuvieron que los triatletas adoptan una posición con mayor proyección de su cuerpo hacia adelante que los ciclistas competitivos y también una proyección medial de rodillas apreciado en el plano anterior, en cambio los ciclista recreativos y competitivos adoptan una posición más vertical de su tronco, ambos estudios utilizaron las bicicletas de sus ciclistas para así poder recrear su posición que usualmente adoptan al aire libre. De esta forma la evaluación se hace de una forma más efectiva ya que tanto la bicicleta como el triatletas están adaptados entre sí.

Dorel, Couturier y Hug (2009) realizaron un estudio en triatletas cuyo objetivo era comprobar la hipótesis de que la posición aerodinámica podría generar cambios en la coordinación muscular y por ende en la fuerza de pedaleo. Las

evaluaciones se realizaron en bicicletas estáticas en tres posiciones (erguida, disminución de postura y aerodinámica), comparando el intercambio de gases y la activación muscular. No se encontraron diferencias en el intercambio de gases, pero sí un aumento en el glúteo mayor y vasto medial y una disminución en recto femoral observados en la electromiografía. Además se obtuvo una activación posterior del glúteo mayor, vasto medial, lateral y recto femoral, en la posición aerodinámica en comparación con la erguida. Comprobándose que la diferencia en la posición sí afecta mecánica y muscularmente. Sin embargo aunque este estudio realizó sus pruebas en bicicletas estáticas y aunque le realizaron modificaciones, no son las que el ciclista tiene predeterminada en sus propias bicicletas.

Brown, Kautz y Dairaghu (1996) observaron que las articulaciones y los patrones de activación muscular observada durante el pedaleo cambian con la orientación del cuerpo.

8.4.1 Cambios en la fisiología articular de la extremidad inferior producto del cambio de posición en la bicicleta

Con el fin de superar el roce del viento, el triatleta busca siempre adoptar una posición óptima y confortable para pedalear. Es por eso que los cambios de posiciones en la bicicleta de triatlón parecen ser la solución, pero cuando se pasa de la posición tradicional a la posición aerodinámica, ocurren variedades de cambios ya mencionados en la investigación. El importante acontecimiento que ocurre a nivel de pelvis durante la transición de la posición alta a la baja alcanzando una rotación pélvica anterior óptima se considera sustancialmente influyente en el rendimiento deportivo (Heil, Derrick y Whittlesey, 1997; Mestdagh, 1998). Durante la prueba del ciclismo pueden existir otros movimientos a nivel pélvico, que de por sí, son anormales y que pueden estar referidos a una altura no prudente del sillín (Mestdagh, 1998). Sin embargo, los movimientos normales descritos de la pelvis en el ciclismo pueden ayudar a la transferencia de energía desde la parte alta del cuerpo a la parte baja de él mismo, dando mayor poder al pedaleo (Gregor, Broker y Ryan, 1991; Neptune & Hull, 1995; Van Ingen Schenau, Van Woensel, Boots, Snackers y De Groot,

1990). Algunos estudios avalan que el género es importante en cuanto a las diferencias antropométricas de la pelvis y que influyen de manera directa en la posición y orientación sobre el sillín en la carrera (Neptune y Hull, 1995). Por otra parte, otros autores hablan de que según la flexibilidad muscular, las articulaciones y la posición del ciclista, tradicional o aerodinámica, influyen también en la inclinación ya sea anterior o posterior de la pelvis, la cual en paralelo contribuye a variaciones en la cinemática y en la carga sobre el sillín (Ilustración 1) (Bressel y Larson, 2002).

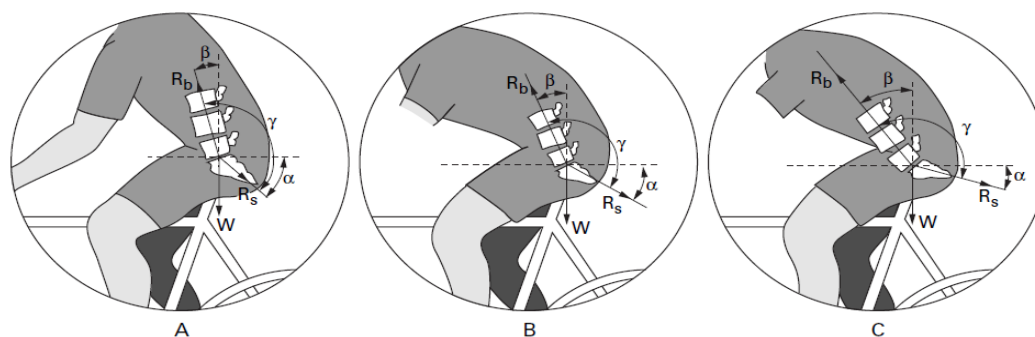


Ilustración 1. Esquema lateral de la pelvis/columna en diferentes posiciones

Esquema lateral de la pelvis/columna extraído de radiografías tomadas mientras el sujeto estaba sentado en varias bicicletas con diferentes posiciones del cuerpo, que muestra los vectores de fuerza relacionados al promontorio. W, peso; R_b , vector lumbar; R_s vector pélvico; α , ángulo entre el suelo y R, vector; β , ángulo entre el peso axial y el vector R_b ; γ , ángulo lumbosacro/pélvico. (A) Bicicleta urbana; (B) Bicicleta de montaña; (C) Bicicleta de carrera. (Bressel y Larson, 2003).

Algunos fabricantes de sillines de bicicletas se han reinventado en cuanto al diseño de ellos, con el fin de dar una mayor cabida a la anatomía femenina y a la comodidad del ciclista en general construyendo asientos con escotaduras en la región antero-medial (Bressel y Larson, 2002) como se observa a continuación en la ilustración 2:

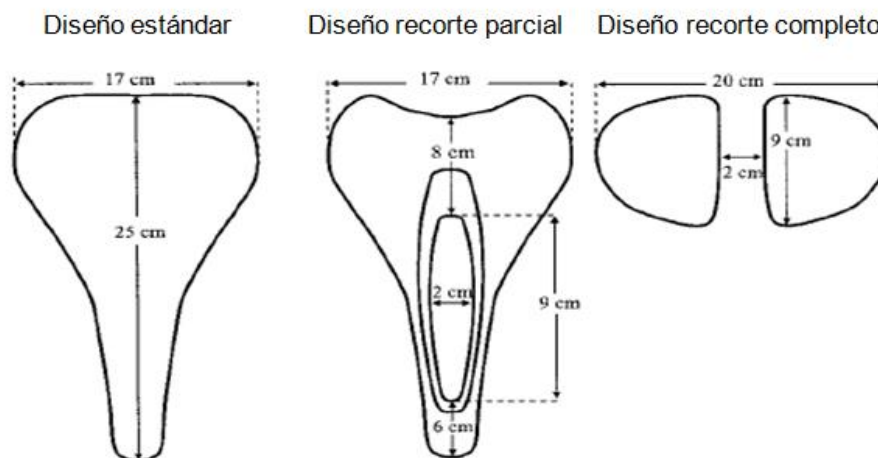


Ilustración 2. Vista de los tres diseños de sillas y sus dimensiones físicas

(Bressel y Larson, 2003).

El propósito principal del rediseño de los sillines era disminuir la presión perineal anterior, evitar áreas dolorosas y traumáticas frecuentes en los ciclistas (Buller, 2001; Bressel y Larson, 2002), lo cual puede influir en la posición y comodidad adoptada por el atleta y modificar su movimiento a nivel pélvico normal, dando quizás mayor anteriorización a la pelvis.

Según los resultados obtenidos en un estudio sobre el diseño del sillín en la bicicleta, indican que los recortes en la zona antero-medial ayudan a una mejora en la anteversión pélvica, independientemente la posición que este cursando el ciclista, Aero o tradicional, e independiente el nivel de expertiz del deportista (Bressel y Larson, 2002).

Investigaciones dicen que los dolores en la zona lumbar en hombres y mujeres están relacionados normalmente a la velocidad que logran alcanzar en la bicicleta y a la posición que el ciclista opte por usar en la competencia. Las mismas investigaciones dicen que para la disminución de los dolores lumbares en el ciclismo pueden disminuir su incidencia con la ayuda de una correcta inclinación anterior de la pelvis, ya que disminuye curvas fisiológicas de la columna, como lo es la lordosis lumbar y el esfuerzo de tracción que sufren los ligamentos longitudinales de la columna lumbar (De Vey Mestdagh, 1998; (Salai, Brosh, Blankstein, Oran y Chechik, 1999). Además, la inclinación hacia delante de la pelvis y el tronco puede lograr ayudar a la distribución del porcentaje de peso corporal que se deposita sobre el manillar, transfiriendo

cargas desde el sillín y vértebras lumbares hacia la extremidad superior (De Vey Mestdagh, 1998).

Salai y colaboradores, utilizaron radiografías para evaluar la influencia del ángulo del sillín en el ángulo pélvico. Como conclusiones dieron que el aumento de la inclinación anterior de la pelvis disminuye la tracción de los ligamentos longitudinales de la columna lumbar. Por esto, decidieron aplicar sus hallazgos a personas que presentaba dolor lumbar. Con un ángulo bajo del sillín, y luego de 6 meses de actividad sobre la bicicleta, el 70% de las personas con dolor lumbar dan a conocer el alivio o disminución del dolor de espalda baja (Salai, Brosh, Blankstein, Oran y Chechik, 1999).

Neptune y Hull, mediante un análisis de video con marcadores reflectantes evaluaron la cinética de la pelvis durante el ciclismo. Los marcadores reflectantes estaban ubicados en la espina iliaca por superior y una triada de marcadores unidos intracortical en la cresta iliaca por lateral. Los resultados no mostraron cambios cinéticos en la angulación de la pelvis para comparar, pero si dan para sugerir que de esta forma pueden interferir o limitar la investigación el tejido blando y el desalineamiento del marcador puede llevar a errores para cálculos futuros (Neptune y Hull, 1995).

En otros estudios, los investigadores evaluaron la antropometría de la extremidad inferior para saber cómo podían inferir en los movimientos de la pelvis sobre la bicicleta. Ellos encontraban que existía una asimetría sobre uno de los hemi-cuerpos del ciclista, comenzaron midiendo el largo de las extremidades inferiores las cuales no tenían inferencia ya que no había significancia sobre ello. Se percataron que sobre el lado izquierdo existía un mayor descenso en comparación con el derecho como se puede ver en la ilustración 3. Además se halló que si existían movimientos más exagerados en el lado izquierdo a nivel de rodilla y tobillo. Los investigadores llegaron a la conclusión que todo lo mencionado y los movimientos anormales de la pelvis estaban relacionados con el desbalance muscular que puede existir en todas las personas por la lateralidad que presentan, lo cual se daba cuenta tanto en el ciclismo como en la marcha. Es decir, la fuerza que ejerce el hemi-cuerpo más débil es diferente al otro hemi-cuerpo en toda fase del pedaleo y que puede ser atribuido también a dolores lumbares en deportistas ciclistas (Saju, Rohan, Ahmad, Zulkarnain y Barry 2006) y así también dará mayores significancias al momento de cambiar posiciones sobre la bicicleta en competiciones de triatlón.

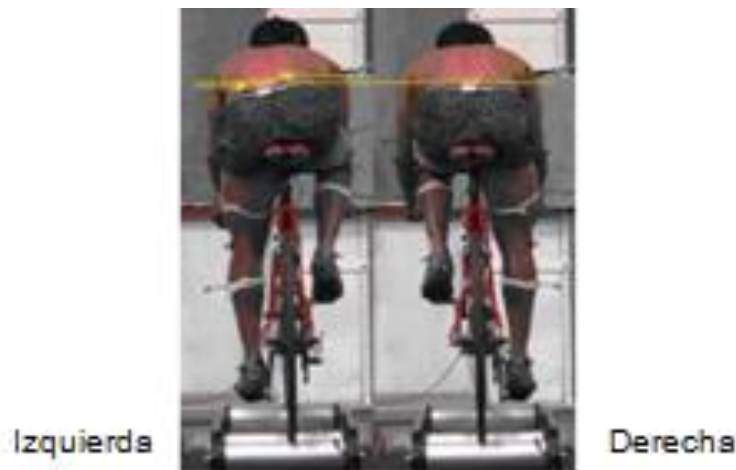


Ilustración 3. Inclinación lateral de la pelvis sobre el hemi-cuerpo izquierdo.

(Saju, Rohan, Ahmad, Zulkarnain y Barry 2006).

9.4. Cinemática angular

Es necesario mencionar sobre la cinemática angular, eje principal de nuestra investigación al querer comparar la cinemática angular entre las posiciones. Para comenzar a ahondarnos en el tema comenzaremos con el movimiento angular. El movimiento angular es provocado cuando todas las partes de un cuerpo se mueven en conjunto a través de un mismo Angulo, diferenciándose entre si ya que no todas se someten al mismo desplazamiento lineal. La sub-unidad que estudia la cinemática del movimiento angular es la cinemática angular, la cual lo describe sin tener en cuenta ninguna causa. Para describir lo mencionado con anterioridad, utilizaremos como ejemplo el platillo de la bicicleta con su biela, donde escogeremos cualquier punto más cercano de la biela al centro del platillo y otro cualquier punto más lejano por la biela, en este caso el punto más lejano de la biela, viaja mucho más que el punto que está cerca del platillo. El movimiento que realiza el platillo con la biela es el movimiento angular.

El movimiento angular se produce alrededor de un eje de rotación el cual es una línea perpendicular al plano en el que se produjo la rotación. El platillo con la biela giran alrededor de su eje principal el cual es su eje de rotación, siendo

tal eje perpendicular al plano de rotación descrito por el platillo y la biela (Hamill y Knutzen. 2009).

Casi en un 100% de los movimientos del cuerpo humano implican movimientos rotacionales de sus segmentos corporales. Los segmentos se mueven y giran en torno a los centros que forman su eje de rotación. Por ejemplo cuando la pierna de la extremidad inferior se mueve realizando movimientos de flexo-extensión, gira entorno a su eje el cual es la articulación de la rodilla (Hamill y Knutzen. 2009).

Ahora, la medición para la diferenciación de las posiciones con respecto a la cinemática angular es a través de la medición de los cambios angulares existentes en diferentes puntos anatómicos, para eso sabemos que un Angulo está compuesto por líneas que se intersectan en un punto en común, el conocido punto llamado Vértice. En la investigación, las líneas de intersección son siempre segmentos corporales, ejemplo de esto es cuando comparamos la angulación de rodilla en ambas posiciones, donde los segmentos por donde pasan estas líneas son el muslo y la pierna uniéndose en un punto o vértice el cual es la rodilla (Hamill y Knutzen. 2009).

9.4.1. Unidades de medida en la cinemática angular

El grado, rotaciones y revoluciones y el radián son las tres unidades de medida que se utilizan para cuantificar la cinemática angular. Es de demasiada importancia tener unidades correctas de medida para obtener resultados claros y objetivos para poder comparar los frente a otro estudio, o expresamente comparar los resultados de una posición versus la otra.

El grado es la unidad de preferencia a utilizar. Esta unidad transcribe información de un arco compuesto por 360° , un ángulo de 90° representa 2 líneas perpendiculares entre si y 180° se representa con una línea recta (Ilustración 4.b) (Hamill y Knutzen, 2009).

Las rotaciones y revoluciones se describen entorno a un círculo. Una revolución es una rotación completa al círculo, es decir, 360° . Este tipo de medida es utilizado para análisis de más bien orden cualitativo que cuantitativo, por lo cual

a nuestra investigación quede descartado por su lineamiento (Ilustración 4.a) (Hamill y Knutzen. 2009).

El radian tiene una definición clara y diferente a las 2 mencionadas, es el ángulo que está en el centro de un círculo descrito por un arco igual a la longitud del radio del círculo, es decir:

$$\theta = s/r = 1 \text{ radian}$$

S= arco de longitud, r=radio del círculo, 1 radian= 57.3° (Ilustración 4.c) (Hamill y Knutzen, 2009).

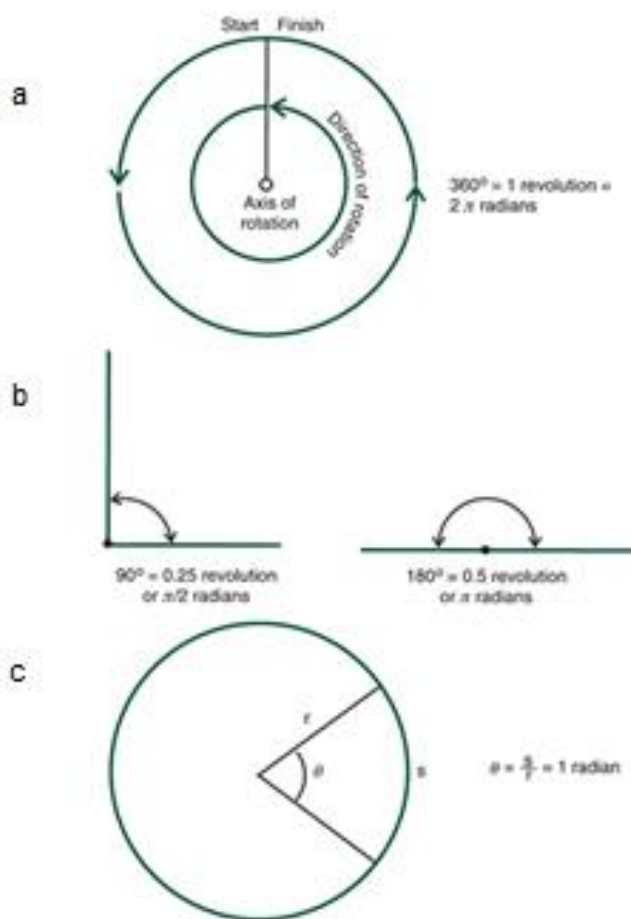


Ilustración 4. Ejemplos de cada unidad de medida. Rotaciones y revoluciones.

Ejemplos de cada unidad de medida. Rotaciones y revoluciones (a), Grados (b) y Radianes (c) (Hamill y Knutzen, 2009).

Para fines metódicos de la investigación, la unidad de medida es el grado, y para tener esa cuantificación debemos contar con los ángulos obtenidos de la

evaluación. Hay dos tipos de ángulos que se encuentran en un análisis biomecánico, y son el ángulo absoluto y el ángulo relativo.

9.4.2. Ángulo absoluto

El ángulo absoluto es un ángulo que se forma por la inclinación de un segmento corporal con alguna referencia fija existente en el medio ambiente, es decir, nos da la referencia de saber la orientación de un segmento en el espacio (Hamill y Knutzen, 2009).

Los ángulos absolutos son calculados con la trigonometría de la tangente, la cual se define en base a los lados de un rectángulo. Esto hace referencia a la relación del lado opuesto del ángulo y el lado adyacente. El segmento pierna y muslo se pueden posicionar y obtener ángulos absolutos de aquella extremidad inferior (Hamill y Knutzen, 2009). En ilustración 5 se representan algunos ángulos absolutos en un corredor a nivel de extremidad superior e inferior.

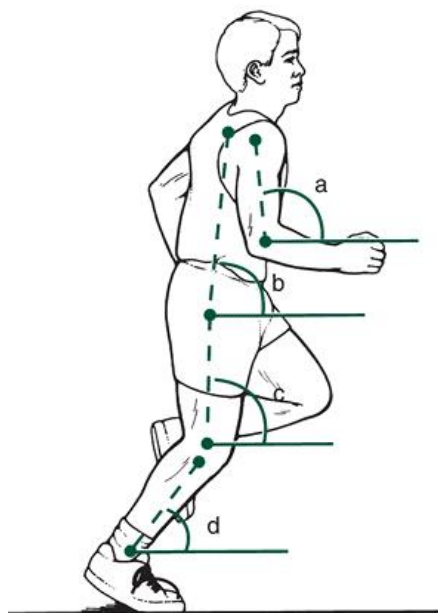


Ilustración 5. Ejemplos ángulos absolutos

Ángulos absolutos en corredor en articulaciones tales como codo (a), cadera (b), rodilla (c) y tobillo (d) (Hamill y Knutzen, 2009).

A continuación en la ilustración 6 se representará el cálculo de los ángulos mostrados en la imagen anterior, específicamente cadera y rodilla en el sistema de coordenadas X e Y.

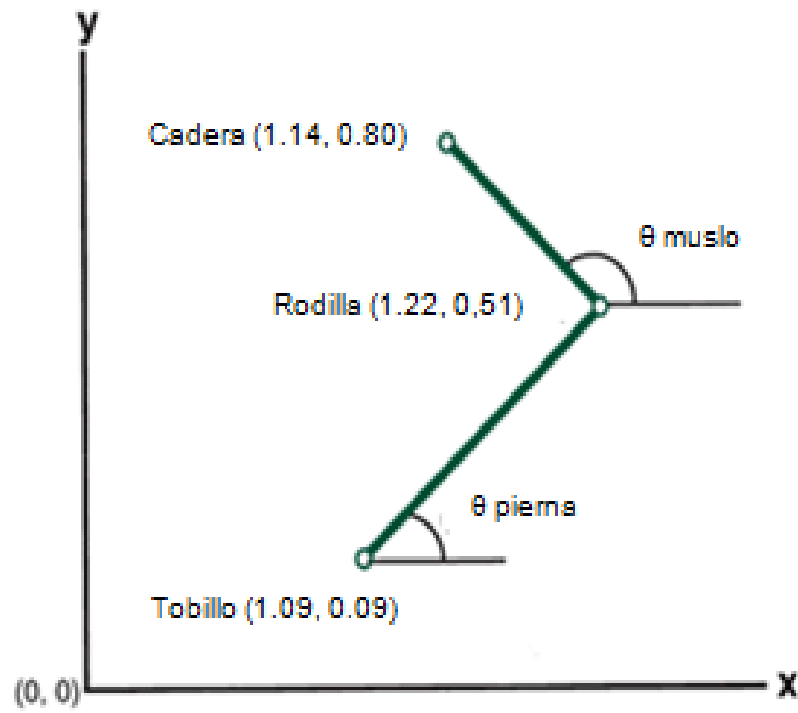


Ilustración 6. Ángulos representados en el plano de coordenadas X e Y.

(Hamill y Knutzen, 2009).

Para la obtención de los ángulos de la extremidad inferior debemos reemplazar los datos en la fórmula que define la tangente y es mostrada a continuación:

$$\tan\theta \text{ pierna} = \frac{y_{distal} - y_{proximal}}{x_{distal} - x_{proximal}}$$

Al reemplazar la fórmula queda así:

$$\begin{aligned} \tan\theta \text{ pierna} &= \frac{y_{rodilla} - y_{tobillo}}{x_{rodilla} - x_{tobillo}} \\ &= \frac{0.51 - 0.09}{1.22 - 1.09} \\ &= \frac{0.42}{0.13} \\ &= 3.23 \end{aligned}$$

Luego de encontrar el ángulo de la tangente debemos determinarlo para poder dar una interpretación a él. Para ello se realiza la búsqueda del inverso de la tangente y se describe en la su fórmula en seguida:

$$\theta \text{ pierna} = \tan^{-1} 3.23$$

$$\theta \text{ pierna} = 72.8^\circ$$

72.8° es el ángulo de la pierna desde la horizontal a la derecha y la interpretación de ello en el plano de coordenadas nos indica que la rodilla se encuentra más lejos del eje Y a diferencia que el tobillo, es decir, la rodilla está a la derecha del tobillo (Hamill y Knutzen, 2009).

9.4.3. Angulo relativo

El otro tipo de ángulo que podemos obtener del análisis biomecánico es el ángulo relativo, el cual se haya entre los ejes longitudinales de dos segmentos, es decir, es el ángulo intersegmental de una articulación. Este tipo de ángulo nos dará datos duros como por ejemplo considerando la articulación de la rodilla donde sus segmentos son la pierna y el muslo, el ángulo nos dará cuanta flexión o extensión hay en la articulación (Hamill y Knutzen, 2009).

A diferencia del absoluto, no nos dará la posición de los segmentos en el espacio, solo el ángulo intersegmental.

Este tipo de ángulos puede ser calculado usando la ley de los cosenos, con el respaldo claro del teorema de Pitágoras, el cual describe la relación de los lados del triángulo cuando no es un ángulo recto (Hamill y Knutzen, 2009).

En la ilustración 7 se muestran dos segmentos en el plano de coordenadas, muslo y pierna, y se dan las longitudes a, b y c para poder calcular el ángulo utilizando el teorema de Pitágoras.

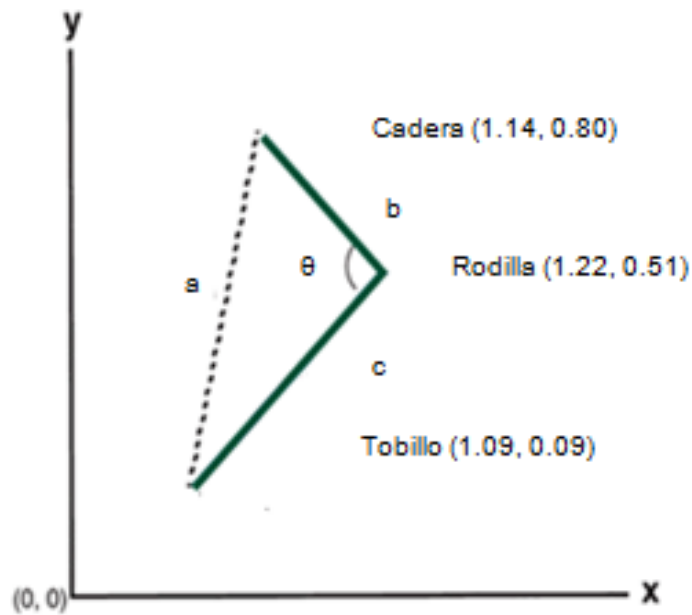


Ilustración 7. Descripción de las coordenadas de los puntos de cadera, rodilla y tobillo y el ángulo relativo de rodilla.

(Hamill y Knutzen, 2009).

$$\begin{aligned}
 a &= \sqrt{(xcadera - xtobillo)^2 + (ycadera - ytobillo)^2} \\
 &= \sqrt{(1.14 - 1.09)^2 + (0.80 - 0.09)^2} \\
 &= \sqrt{0.0025 + 0.5041} \\
 &= 0.71
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \sqrt{(xcadera - xrodilla)^2 + (ycadera - yrodilla)^2} \\
 &= \sqrt{(1.14 - 1.22)^2 + (0.80 - 0.51)^2} \\
 &= \sqrt{0.0064 + 0.0841} \\
 &= 0.30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \sqrt{(xrodilla - xtobillo)^2 + (yrodilla - ytobillo)^2} \\
 &= \sqrt{(1.22 - 1.09)^2 + (0.51 - 0.09)^2} \\
 &= \sqrt{0.0169 + 0.1764} \\
 &= 0.44
 \end{aligned}$$

El siguiente paso es reemplazar los datos obtenidos en la ecuación de la ley de los cosenos y poder resolver el coseno del ángulo entre el muslo y la pierna.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 * b * c * \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 * b * c}$$

$$\cos \theta = \frac{0.30^2 + 0.44^2 - 0.71^2}{2 * 0.30 * 0.44}$$

$$\cos \theta = -0.833$$

El coseno entre el muslo y la pierna es de -0.833, ahora debemos encontrar el ángulo del coseno obtenido, para eso seguiremos la siguiente ecuación la cual da el inverso del coseno, a diferencia del ángulo relativo que se realiza el inverso de la tangente.

$$\theta = \cos^{-1} - 0.833$$

$$\theta = 146.4^\circ$$

146.4° es el ángulo relativo que se forma entre los segmentos muslo y pierna, es decir, el ángulo de rodilla. Como dato duro nos dice que hay una flexión de rodilla de 146.4° (Hamill y Knutzen. 2009).

9.4.4. Posición angular y desplazamiento

Para profundizar aún más en la cinemática angular, se debe hablar sobre temas importantes para tener un saber en común. Por eso es que debemos saber cómo y dónde se encuentra el objeto a evaluar, es decir, su ubicación con respecto a algún sistema de referencia espacial definido previamente, eso es el posicionamiento angular.

Cuando hablemos de un sistema de 2 dimensiones (2D), la posición angular del objeto se representa en el plano XY, donde en la vertical es mostrado en las coordenadas Y, es decir, en la vertical sube o baja. Cuando representamos las coordenadas de X el objeto podrá estar ubicado hacia anterior o a posterior.

Si se decide agregar un tercer eje al plano XY, hablamos de un sistema de 3 dimensiones (3D) y es representado por el eje Z, el cual nos dará coordenadas en el plano tanto medial como lateral.

En el ámbito médico, es de común y fácil uso utilizar planos para describir la posición angular del cuerpo humano. Un ejemplo claro a usar este tipo de planos es cuando se precisa de evaluar movimientos funcionales que por diversos motivos pueden verse desfavorecidos por lesiones musculo-neuro-esqueléticas y se ven limitados. La posición angular de una extremidad en el plano XY se podría representar si los orígenes del plano se ubican en las articulaciones. La representación gráfica de ello puede darse en la articulación del hombro cuando en el plano XY nos darán los movimientos de flexo-extensión, en el plano YZ nos darán los movimientos de abducción y aducción y en los planos ZX nos mostrará las rotaciones internas y externas de la articulación.

Cuando un objeto se desplaza de un lugar a otro en torno a un eje lo llamamos desplazamiento angular y se obtiene a través de la diferencia que existe entre la posición inicial del objeto frente a la posición final en la que quede ubicado dicho objeto. Como se puede ver en la ilustración 8 hay un péndulo el cual oscila, y su desplazamiento angular es cero ya su posición final es la misma que la inicial. Pero la distancia angular varía y puede llegar a ser cualquier valor. Por eso es necesario designar la dirección de la rotación del objeto. Cuando la rotación del objeto es en contra de las manecillas del reloj se considera una maniobra positiva pero cuando rota a favor de las manecillas es negativo. En un sistema de referencia espacial de 3 dimensiones situándolo en la articulación del hombro nuevamente, la positividad del eje se mostrara hacia arriba, el eje X positivo será hacia anterior o posterior, el eje Z positivo será medial o lateral (Hamill y Knutzen, 2009).

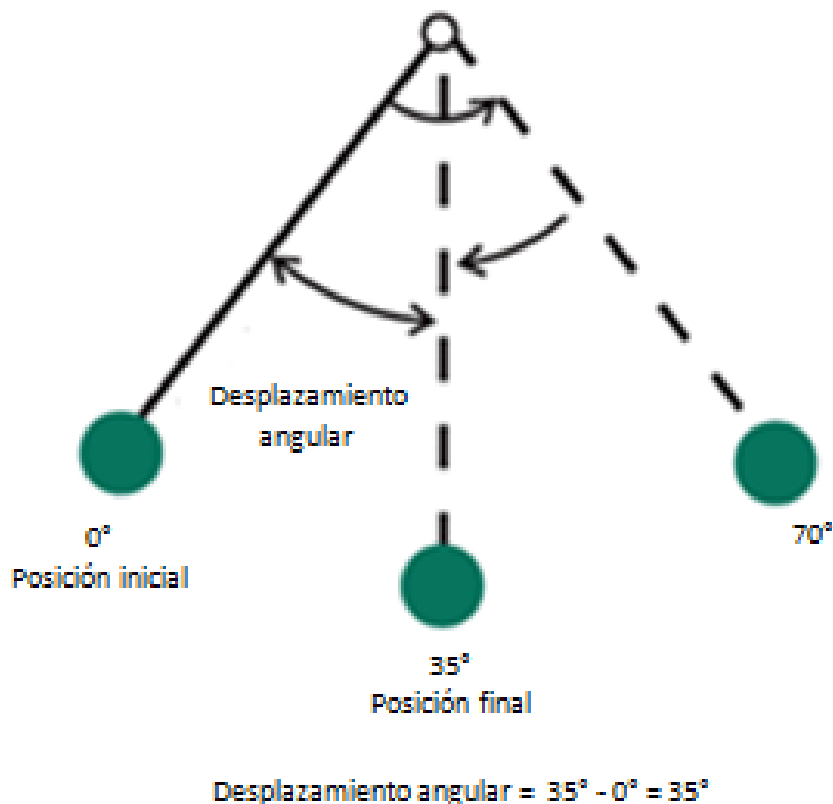


Ilustración 8. Desplazamiento angular demostrado en un péndulo.

(Hamill y Knutzen, 2009)

9.4.5. Cinética y Cinemática del Pedaleo o Crank

El pedaleo o Crank es el recorrido angular que realiza el pedal al provocar una combinación lineal y angular en las extremidades inferiores del cuerpo.

La cadencia es el tiempo en que los atletas cubren un ciclo completo y cuántos de ellos realizan en un minuto, dependiendo totalmente de la carga de trabajo, la fatiga y otros factores a considerar. Los ciclistas de carretera, normalmente, realizan una cadencia de 90 a 100 rpm para minimizar activaciones musculares fuerza muscular por ciclo (Macintosh, Neptune y Horton, 2000; Marsh, Martin y Sanderson, 2000).

Dentro del ciclo, las variaciones existentes en la cadencia oscilan entre los 75 a los 115 rpm generando así un promedio de 90 rpm (Hull, Kautz y Beard, 1991).

Dadas las fuerzas que debe vencer el ciclista las cuales ya fueron mencionadas en párrafos anteriores, en el pedaleo se deben vencer otras fuerzas externas como lo son el arrastre, el peso y la rodadura del pedal en su eje, todo esto se

produce por la transferencia de energía y fuerzas que vienen de los músculos a través del sistema esquelético. Además de las fuerzas que se realizan sobre el sillín y el manubrio de la bicicleta.

Cuando existen cambios en el terreno por donde se realiza la carrera, el peso corporal y la bicicleta suman fuerzas las cuales dan resistencia hacia el avance de la bicicleta y por ende, mayor trabajo en el pedaleo (Fonda y Sarabon, 2012). Es por esto que con el curso de los años, las bicicletas han cambiado su conformación con el fin de reducir el costo energético mediante la disminución de la resistencia al pedaleo (Minetti, Pinkerton y Zampara, 2001).

A mayores niveles de exigencia en el pedaleo, por ejemplo una inclinación sobre el terreno, la fuerza de producción del pedaleo puede aumentar ya que hay transferencia de energía desde musculatura de tronco y extremidades superiores hacia las extremidades inferiores (Stone y Hull, 1995).

En el pedaleo se producen diferentes fuerzas, de las cuales el ciclista conoce y opta por estrategias como por ejemplo la fijación del pie con el pedal para favorecer el pedaleo. Esto ayuda al tema de los componentes de la fuerza normal y la fuerza antero-posterior en conjunto con la fuerza general que se produce en el plano sagital. Además, la fuerza efectiva del pedaleo es perpendicular a la biela y están representadas en la ilustración 9 la cual muestra el direccionamiento de las fuerzas sobre el pedal.

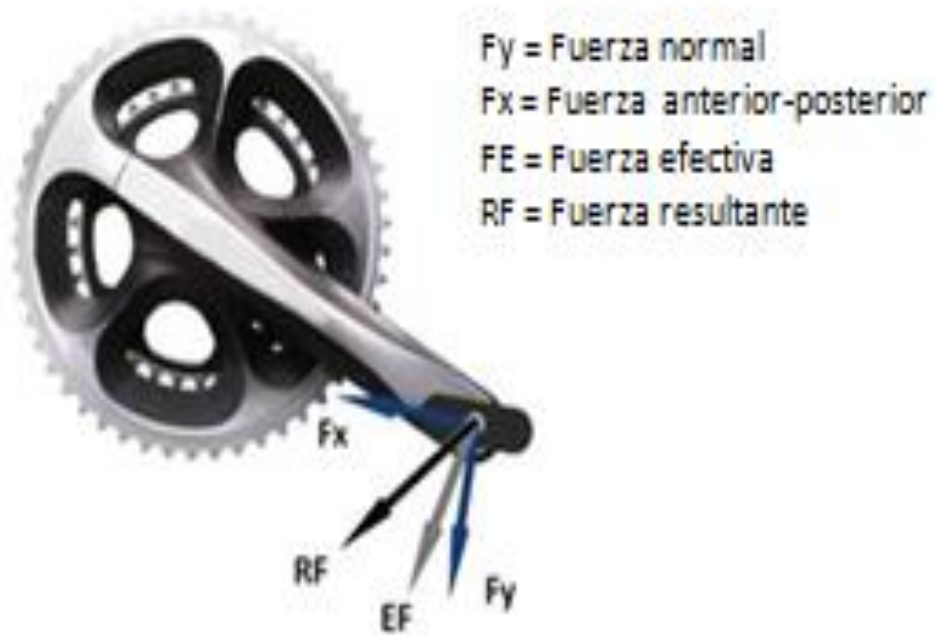


Ilustración 9. Representación de las cuatro fuerzas en el pedaleo.

Se presentan las 4 fuerzas que se producen en el pedaleo, efectiva (FE), normal (F_y), resultante (RF) y antero-posterior (F_x), y donde se ejerce su umbral máximo de acuerdo al ángulo que se encuentre el pedaleo, y lo contrastan realizando pedal izquierdo y derecho. (Bini, Hume, Croft y Kilding, 2013).

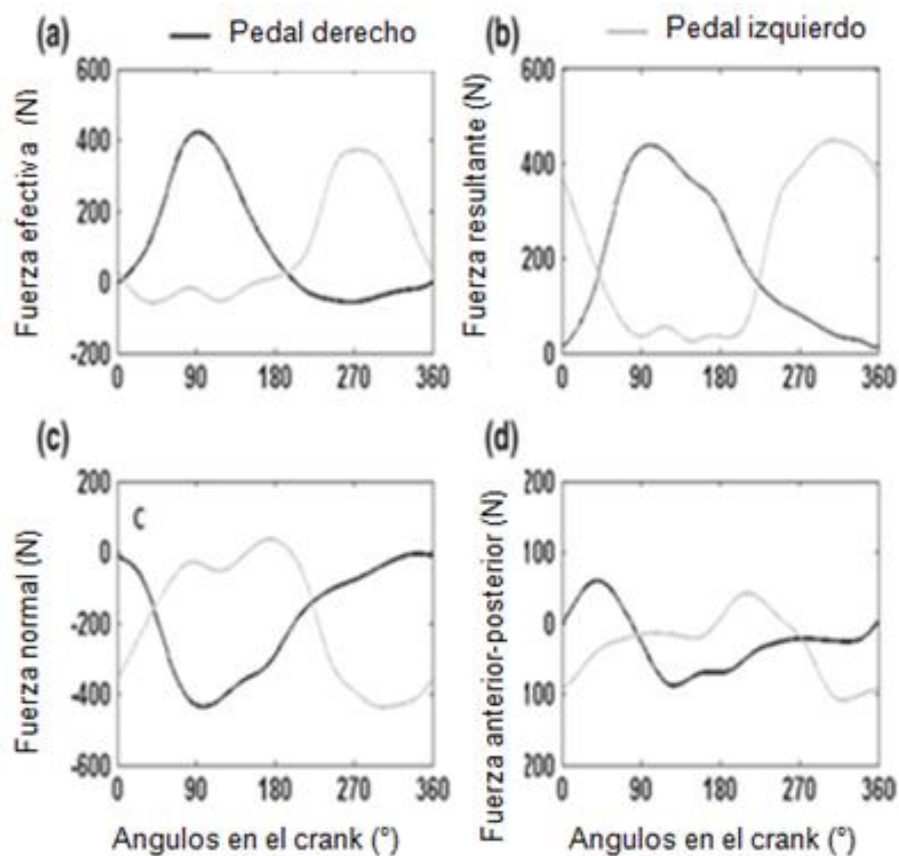


Ilustración 10. Representación del umbral máximo de fuerzas en el pedaleo.

Presenta pick máximo de fuerzas durante ángulos del pedaleo en ciclistas que practican el ciclo a 350W de potencia de salida y una cadencia de 90 rpm (Bini, Hume, Croft y Kilding, 2013).

En la ilustración 10 se puede observar que la mayor fuerza realizada en el pedaleo es al momento de comenzar el periodo, entre los 0° a los 90°, y en la fase de recuperación, entre los 270° y los 360°. Lo anterior refiere que las activaciones musculares son específicamente en esas fases, extensores de cadera entre los 0° y los 90°, y los flexores de cadera desde los 270° (Mornieux, Stapelfeldt, Collhofer y Belli, 2008; Mornieux, Gollhofer y Stapelfeldt, 2010).

En la ilustración 11, se muestra la adopción del pedal en cuanto al ángulo en el que se encuentra la biela en el pedaleo. El ciclo del pedaleo está dividido en 4 partes iguales, o mejor dicho, cada 90°. En el primer cuarto se observa inclinación del pedal tanto al comienzo como en el transcurso del cuarto hasta los 90°. Justo en los 270°, último cuarto, existe otra inclinación del pedal. Si comparamos estos datos frente lo mencionado con la imagen anterior,

concuenda casi exactamente que en estas inclinaciones es donde se logra realizar el umbral de fuerza dada por el ciclista en el pedaleo.

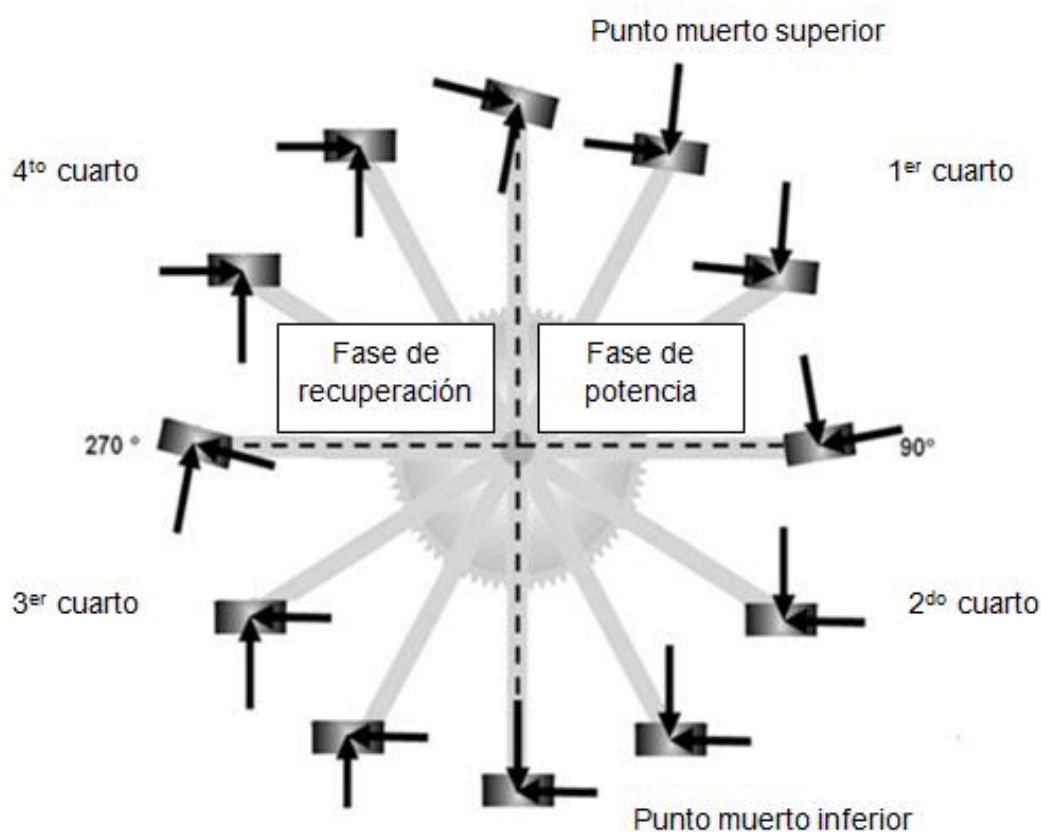


Ilustración 10. Cambios de inclinación en el pedal.

Cambios en la inclinación del pedal durante la fase de potencia y recuperación del pedaleo. (Bini, Hume, Croft y Kilding, 2013).

El pedaleo es más allá de poder desplazar el pedal y la biela a través de su eje y completar un ciclo, eso lo saben los ciclistas y es por esto que adoptan diferentes técnicas para poder producir un pedaleo eficaz. Por eso, investigadores sabiendo lo que ocurre en el pedaleo, cambios de posición del pedal y fuerzas ejercidas en diferentes ángulos, es que han presentado diferentes enfoques matemáticos para poder calcular la eficacia de la fuerza sobre el pedal. Un enfoque está basado entre la relación del impulso de la fuerza eficaz y el impulso de fuerza total (LaFortune y Cavanagh, 1983). Este índice nos permite evaluar las variaciones que se pueden presentar con respecto a la fuerza ejercida al momento de realizar el pedaleo en diferentes momentos de él, por ejemplo al inicio o propulsión del pedaleo como al termino

o recuperación del mismo (Rossato, Bini, Carpes, Diefenthaler y Moro, 2008). Esto deja en evidencia que puede ser utilizado para poder evaluar a ciclistas su técnica de realización del pedaleo y ver la eficacia que tienen dentro del ciclo. Dando así una reinención del entrenamiento o mejora para lograr diferencias eficaces al momento de la competición (Sanderson, 1991).

9.5. Seguimiento o Tracking

El seguimiento o tracking puede ser definido como: la ubicación de un objeto en un cuadro determinado de un video, y luego poder ubicar el objeto en el siguiente cuadro (Schreiber, D. 2007). Gracias a esto es posible calcular el patrón del movimiento y con ello la trayectoria, su velocidad y aceleración del objeto a seguir (Naveros, Ralli y Ros, SF).

El proceso de seguimiento de una objeto puede verse afectado por diversos factores, como la deformación del objeto, la iluminación del lugar, las oclusiones del objetos que pueden ser parciales o completas, entre otras.

Para poder solucionar estos posibles errores se han creado distintas aplicaciones, existen 3 bases matemáticas en las cuales se pueden distribuir los algoritmos: los seguimientos basados en las características, los seguimientos basados en el contorno y los seguimientos basados en la región. Este último tiene una alta robustez y alta precisión, debido a que entrega tanto información espacial como de la apariencia del objeto a seguir (Paragios y Deriche, 2000; Freedman y Zhang, 2004; Mitra et al, 2002; Tissainayagam y Suter, 2005; Nickels y Hutchinson, 2002; Bascle y Deriche, 1995; Jepson et al, 2003).

9.5.1. Seguimiento basado en el algoritmo de Lukas-Kanade

El algoritmo de Lucas-Kanade, iniciado en 1981, es un algoritmo de seguimiento basado en la región y es el método de elección para la alineación de objeto. Mediante este algoritmo es posible realizar el seguimiento de un objeto de forma automática y durante la secuencia de las imágenes. Este algoritmo presenta ventajas y desventajas, como ventaja es el fácil manejo y cálculo rápido comparado con otros métodos, y como desventaja presenta errores en los límites de los objetos en movimiento. (Mariya, 2005).

Existen distintos tipos de algoritmo de Lucas-Kanade, de los cuales destacamos tres principalmente: Lucas-Kanade flujo óptico, Lucas-Kanade piramidal y Lucas-Kanade de afinidad por la plantilla.

Lucas-Kanade flujo óptico se describe como una representación del campo de movimiento en 3D en el plano de la imagen en 2D, básicamente el concepto de flujo óptico se puede entender como que el brillo que tiene una estructura cualquiera se mantiene en las imágenes siguientes. Sin embargo la mayoría de las técnicas para poder calcular el flujo óptico son complejas, necesitan un gran almacenamiento de imágenes y pueden generar valores inexactos (Naveros, Ralli y Ros, SF; Soria, Sarcinelli-Filhob y Carellia ,2013). En cambio el método piramidal consiste en hacer una reducción en escala de una imagen, esta reducción se logra mediante múltiplos de dos en dos, por lo tanto este método es muy útil para el cálculo de dos puntos que se encuentran distantes (Bouquet, 2000).Y el otro método mencionado es el de afinidad por la plantilla, que se describirá a continuación.

El método de afinidad por la plantilla consiste en rastrear un objeto a través de una secuencia de vídeo mediante la extracción de la plantilla en el primer fotograma y luego buscar en los siguientes fotogramas la región que más coincida con la plantilla elegida anteriormente (Baojie Fan, Yingkui Du, Linlin Zhu, Jing Sun y Yandong Tang, 2011).

Bajo este método se basa el algoritmo de el alineamiento de la imagen afín y con ello se han creado variaciones del método de afinidad por la imagen las cuales son: las variación que permite transformaciones paramétricas en la plantilla, por otro lado se permite la variación de la apariencia lineal, y la última es la variación que corresponde al tratamiento de algunos casos especiales

como lo son la oclusión y los píxeles que tienen el fondo de la imagen (Black y Jepson, 1998; Comaniciu, Visvanathan y Meer, 2003; Ishikawa, Matthews y Baker, 2002; Jepson, Fleet, El-Maraghi, 2003).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se han propuesto ciertos modelos de apariencia que no rígidos para el rastreo de la plantilla, por ejemplo se mencionan los modelos de apariencia activa (AAM) (Cootes, Edwards y Taylor, 1998), en el cual se explica que el objeto seguirá siendo el mismo en todo el video ya que la suposición subyacente por atrás del seguimiento de la plantilla muestra la apariencia del objeto.

Una desventaja de la utilización de la plantilla es que con el paso del tiempo ya no será un modelo exacto de nuestro objeto a seguir. Para solucionar este inconveniente es necesario actualizar la plantilla cada cierto fotograma. Claro que esta actualización podría conllevar a dos problemas: el desplazamiento espacial (*spatial drift*) y la característica del desplazamiento (*feature drift*).

El desplazamiento espacial se define como el cambio en el modelo, de esta forma el modelo y el objeto seguirán de forma alineados, y la característica del desplazamiento se define como el cambio de la apariencia del objeto, debido a los cambios producidos en el tiempo.

Es por ello que se propuso un algoritmo de corrección del desplazamiento, en el cual se genera una actualización de la plantilla, pero se sigue conservando la plantilla inicial, para poder alinearla y evitar el desplazamiento del objeto original (Matthews et al., 2004 y Lankton et al., 2008). Para completar la actualización de la plantilla y evitar el desplazamiento es necesario que sea alineada con la primera plantilla, a esto se le denomina algoritmo de corrección pasiva del desplazamiento (*passive drift correction algorithm*).

Otros de los factores que se deben considerar para poder seguir un objeto son la variación de la apariencia del objeto, la oclusión parcial del objeto y la presencia de píxeles en el fondo, para ello se aplica un algoritmo robustos de plantilla, en el cual el seguimiento se basa en mínimos cuadrados ponderados que detectan las regiones ocluidas, los píxeles en el fondo y el brillo en ciertas regiones para luego considerarlas como valores atípicos y suprimirlos (Hager y Belhumeur, 1998; Ishikawa et al, 2002; Baker et al., 2003; Schreiber, 2007).

La matriz de Hesse que es una robusta función de error, la cual posee una función de ponderación que se actualiza en cada interacción y que debe ser pre-calculada (Baojie Fan, Yingkui Du, Linlin Zhu, Jing Sun y Yandong Tang, 2011). En estudios como el de Baker et al. (2003) la matriz Hessiana posee una función de ponderación la cual no puede ser pre-calculada debido a que se debe ir actualizando en cada fotograma, en cambio en el estudio de Ishikawa et al. (2002) la matriz no se debía volver a calcular debido a que la plantilla estaba dividida en algunos bloques, los cuales se daban de forma dependiente como un valor constante.

10. Resultados

Tabla 2: Comportamiento cinemático de la cadera respecto del ángulo de análisis en posición tradicional y aerodinámica.

Angulo de análisis	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
Media (PT)	32,7	43,4	60,3	74,6	71,8	59,8	44,8	33,7
	a	a	a	a	a	a	a	a
Media (PA)	36,3	46,8	63,1	77,1	74,6	62,9	47,4	36,9
	b	b	a	a	a	b	a	a
Sig.	0,023	0,026	0,114	0,122	0,087	0,048	0,101	0,087

Letras distintas en la columna indica diferencia significativa entre los ángulos de las dos posiciones evaluadas según prueba T de Student para muestras relacionadas ($p \leq 0,05$)

La tabla 2 muestra que se encontraron diferencias significativas en el ángulo adoptado por la articulación entre las posiciones de pedaleo en modalidad tradicional y aerodinámica en el ángulo de pedaleo 45°, 90° 270° particularmente. En relación a los ángulos de pedaleo restantes no se encontraron diferencias significativas, sin embargo se puede apreciar una tendencia a aumentar el ángulo de cadera de 3° en promedio al pasar de una posición de pedaleo tradicional a una aerodinámica.

Tabla 3: Comportamiento cinemático de la rodilla respecto del ángulo de análisis para el pedaleo en posición tradicional y aerodinámica

Angulo de análisis	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
Media (PT)	87,7 a	108 a	134,9 a	130,36 a	149,27 a	102,64 a	74,65 a	80,6 a
Media (PA)	90,3 a	110,8 a	135,2 a	131,6 a	149,68 a	102,77 a	75,84 a	80,97 a
Sig.	0,32	0,367	0,930	0,528	0,903	0,930	0,508	0,817

Letras distintas en la columna indica diferencia significativa entre los ángulos de las dos posiciones evaluadas según prueba T de Student para muestras relacionadas ($p \leq 0,05$).

La tabla 3 muestra que no se encontraron diferencias significativas en el ángulo adoptado por la articulación entre las posiciones de pedaleo en modalidad tradicional y aerodinámica, sin embargo existe una clara tendencia a aumentar en 1° en promedio el ángulo al pasar de una posición de pedaleo tradicional a una aerodinámica.

Tabla 4: Comportamiento cinemático del tobillo respecto del ángulo de análisis para el pedaleo en posición tradicional y aerodinámico.

Angulo de análisis	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
Media (PT)	93,7 a	92 a	100,6 a	114,9 a	112,41 a	109,56 a	103,9 a	97,76 a
Media (PA)	90,5 a	90,41 a	98,09 a	112,25 a	108,86 a	105,48 a	99,16 a	93,92 a
Sig.	0,45	0,616	0,441	0,621	0,465	0,301	0,291	0,305

Letras distintas en la columna indica diferencia significativa entre los ángulos de las dos posiciones evaluadas según prueba T de Student para muestras relacionadas ($p \leq 0,05$)

La tabla 4 muestra que no se encontraron diferencias significativas en el ángulo adoptado por la articulación entre las posiciones de pedaleo en modalidad tradicional y aerodinámica, sin embargo existe una clara tendencia a disminuir 3° en promedio el ángulo al pasar de una posición de pedaleo tradicional a una aerodinámica.

11. Discusión

En Chile el deporte ha tenido un aumento progresivo en los últimos años, en el cual el triatlón no ha sido una excepción, obteniendo más adeptos y por lo mismo se ha hecho la necesidad de generar estudios sobre el triatlón y sus distintas disciplinas. El ciclismo es la categoría que mayor tiempo abarca de la competencia, y es aquí donde el ciclista debe realizar estrategias para obtener una ventaja. Dentro de las estrategias, se encuentran las diferentes posiciones (tradicional y aerodinámica) que se pueden adoptar, es aquí el eje de nuestro estudio, analizar si existen diferencias entre aquellas posiciones.

De los resultados obtenidos se observan cambios angulares de toda la extremidad inferior al pasar de una posición tradicional a una posición aerodinámica, sin embargo estos cambios angulares son solo significativos en cadera, en los ángulos del eje del pedal a los 45° , 90° y 270° . Es importante también mencionar que existen tendencias al cambio en rodilla y tobillo, donde en la rodilla se observa un aumento de flexión y el tobillo una disminución de la dorsiflexión.

El análisis de los datos obtenidos en estudios como esta investigación por la sociedad científica es a través de su software de preferencia y calidad demostrada, Image J (Abràmoff, Magalhães y Ram, 2004; Valenciano, SF), sin embargo en estudios preliminares donde se compara el software Lucas-Kanade con el software Image J se encontró que los resultados obtenidos no tenían gran diferencia, y debido a esto es que para el análisis de nuestro datos nos basamos en el método de afinidad por la plantilla del software Lucas-Kanade, ya que es un programa de libre acceso y gratuito.

Brown, Kautz y Dairaghu (1996) observaron que las articulaciones y los patrones de activación muscular observada durante el pedaleo cambian con la orientación del cuerpo, aquello se puede ver manifestado de igual manera en esta investigación ya que existieron diferencias significativas angulares al momento de pasar de una posición a otra.

De acuerdo a diversos investigadores (Candotti et al., 2007; Patterson, Moreno, 1990) durante la técnica de pedaleo en el ciclismo existen diversos factores que influyen en la eficacia de la fuerza del pedal, uno de esos factores es la posición

que adopta el ciclista en la bicicleta. Según Mornieux, Gollhofer y Stapelfedt (2008 y 2010) en el pedaleo se producen diferentes fuerzas por lo que el ciclista genera estrategias como la fijación del pie con el pedal para favorecer el pedaleo y lograr una mayor fuerza eficaz. En el estudio de Bini, Hume, Crof y Kilding (2013) quedó de manifiesto que el umbral de fuerza máxima durante el pedaleo efectuado por el ciclista es en tres momentos durante el pedaleo, entre los 0° y los 90°, y a los 270° del eje del pedal. Además es específicamente en esos puntos donde se provoca una inclinación involuntaria del pedal. De los resultados obtenidos en nuestro estudio se aprecia que las diferencias con mayor significancia en cadera se dan en estos mismos puntos, pero que no se ve reflejado en rodilla y tobillo (aunque si hay una tendencia, no logra ser significativa). Connick y Li (2013) demostró que el sistema neuromuscular reorganiza el reclutamiento muscular del miembro inferior durante el pedaleo cuando el sillín está posicionado a diferentes alturas, con el fin de sostener el costo de energía. Además Tamborindeguy y Bini (2011) determinaron que las modificaciones de la posición del sillín en vertical y horizontal interfieren en los ángulos de las articulaciones de los miembros inferiores.

A través de lo mencionado anteriormente se puede inferir que es el sistema neuromuscular quien reorganiza el reclutamiento muscular, y que aunque se realicen cambios en cadera, al generar una mayor flexión en la posición aerodinámica, no se vean reflejados en rodilla y tobillo para no alterar la eficacia del pedaleo durante la competencia.

Según Dorel, Couturier y Hug (2009) determinaron que la posición aerodinámica genera cambios en la coordinación muscular y por ende en la fuerza de pedaleo en comparación con la posición erguida y la posición con una disminución de la postura, ya que existe un aumento en la activación de glúteo mayor y vasto medial y una disminución en el recto femoral en la posición aerodinámica. Además se obtuvo una activación posterior del glúteo mayor, vasto medial, lateral y recto femoral, en la posición aerodinámica en comparación con la erguida. Sin embargo este estudio fue realizado en bicicletas ergométricas, como ha sido realizado en diferentes investigaciones (Burke y Pruitt, 2003; Moss, Cheryl, McKenzie, Ruby y Heil, 2005; Bini, Hume y Croft, 2012; Bini, Humea, Lanferdini y Vaz, 2012), pero en esta investigación se realizó en las bicicletas propias de los ciclistas con las cuales compiten, ya que estas poseen las adaptaciones hechas por ellos mismos. Como se mencionó

recién, esta investigación fue realizada en bicicletas de triatlón, en donde solo se encontraron diferencias angulares en cadera y estas diferencias no se ven reflejadas en la activación muscular de acuerdo a estudios preliminares de activaciones musculares en posición tradicional y aerodinámica en bicicletas de triatlón.

Saju, Rohan, Ahmad, Zulkarnain y Barry (2006) encontraron asimetrías en el descenso de cadera entre los hemi-cuerpos del ciclista durante el pedaleo y que esto estaba relacionado por el desbalance muscular que existe debido a la lateralidad de las personas. Este estudio solo evaluó la inclinación pélvica desde el plano frontal, pero como se demostró en esta investigación, las diferentes posiciones afectan la cinemática angular en un plano sagital. En base a esto nuestro estudio podría haber sido más robusto si se hubiera evaluado la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo en ambos hemi-cuerpo, ya que el descenso de la cadera en el plano frontal puede inferir en la cinemática del plano sagital.

De Vey Mestdagh (1998) indicaron que al realizar una inclinación hacia delante de la pelvis y el tronco (posición aerodinámica) se trasmite la fuerza al manillar a través de los codos, transfiriendo cargas desde el sillín y vértebras lumbares hacia la extremidad superior. En cambio en la posición tradicional la carga se hace en el manillar a través de las manos, mostrando una posición más erguida, menos aerodinámica y haciendo trabajar otro tipo de musculatura por mantener esa posición. Por este motivo, es que al tener un contacto codo-manillar ayuda a reducir el esfuerzo muscular ahorrando energía para la carrera en general. De acuerdo a esto, podemos inferir que al adoptar la posición aerodinámica, se puede lograr un mayor rango de movimiento debido a que se disminuye el peso sobre al sillín y por ende a la cadera.

12. Conclusiones

Con la finalización de este proceso, podemos determinar que la investigación realizada contribuye con conocimientos y aprendizajes tanto en el ámbito científico como deportivo, ya que el análisis de la cinemática angular en el ciclismo del triatlón ha sido evaluado de forma diferente a como fue realizado en este estudio, diferenciándose así el protocolo y criterios de inclusión, y más aún, con el innovador uso de la bicicleta del triatleta la cual es utilizada en las competencias.

El análisis de la cinemática angular de cadera, rodilla y tobillo durante el pedaleo en la posición tradicional y aerodinámica demostró que existen diferencias significativas solamente en cadera, específicamente a los 45°, 90° y 270° del eje del pedal. Sin embargo, cabe destacar que en cadera, rodilla y tobillo se aprecian tendencias claras al cambio; en cadera y rodilla aumenta la flexión, y en tobillo disminuye la flexión plantar.

A través de la revisión bibliográfica abarcada, se puede inferir que estos cambios presentados en cadera se dan debido a la mayor libertad de rango de movimiento que se obtiene al adoptar la posición aerodinámica. El pedaleo al ser un ciclo de movimiento continuo que involucra a las tres articulaciones, por lo tanto, el cambio en cadera que se da por la rotación anterior al adoptar la posición aerodinámica, debiese verse reflejado en rodilla y tobillo, el cual si se presenta, pero no logra ser significativo, debido a que el sistema neuromuscular quien se reorganiza de forma constante frente a cualquier cambio adoptado por la persona, este caso no es la excepción ya que realiza ajustes en el reclutamiento muscular para que estos cambios articulares no generen un gasto de energía mayor y se mantenga la eficacia del pedaleo durante la competencia.

También el estudio corrobora que el análisis de la cinemática angular durante el pedaleo debe realizarse en la bicicleta propia del triatleta con la cual compite, ya que se acerca más a la realidad que en los análisis con bicicletas ergométricas.

Esta investigación establece un punto de partida para la realización de otros estudios, contribuyendo así al crecimiento de las investigaciones ya realizadas y

poder valorar de mejor manera las competencias del triatleta considerando el protocolo realizado en este estudio.

Bibliografía

Abràmoff, M. D., Magalhães, P. J., & Ram, S. J. (2004). Image processing with image J. *Biophotonics International*, 11(7), 36–41.

Anderson T. (1996). Biomechanics and running economy. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports Medicine*, 22, 76-89.

Ashe, M. C., Scroop, G. C., Frisken, P. I., Amery, C. A., Wilkins, M. A., & Khan, K. M. (2003). Body position affects performance in untrained cyclists. *British Journal of Sports Medicine*. 37(5), 441-444. doi: 10.1136/bjism.37.5.441

Atkinson G, Brunskill A. (2000). acing strategies during a cycling time trial with simulated headwinds and tailwinds. *Ergonomics*, 43 (10).

Atkinson G, Peacock O, Law M. (2007). Acceptability of power variation during a simulated hilly time trial. *International Journal Sports Medicine*, 28(2).

Bailey, M. P., Maillardet, F. J., & Messenger, N. (2003). Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis. *Journal of Sports Sciences*, 8.

Baker, S., Gross, R., Matthews, I. (2003). Lucas–Kanade 20 Years on: A Unifying Framework: Part 2. *Technical Report CMU-RI-TR-03-01*.

Baojie Fan, Yingkui Du, Linlin Zhu, Jing Sun, Yandong Tang. (2011). A robust template tracking algorithm with weighted active drift correction *Pattern Recognition Letters*, 32, 1317-1327.

Bascle, B., Deriche, R. (1995). Region tracking through image sequences. *In: Proc. IEEE Internat. Conf. on Computer Vision*, pp, 302-307.

- Bentley, D.J, Millet G.P., Vleck, V.E., McNaughton, L.R. (2002). Specific Aspects of Contemporary Triathlon: Implications for Physiological Analysis and Performance. *Sports Med*, 32(6), 345-259.
- Bini, R.R., Hume, P.A., Croft, J.. (2012). Cyclist and triathletes have different body positions on the cycle. *European journal of Sport Science*, 14, 109-115.
- Bini, R.R., Hume, P.A., Croft, J., Kilding, A.E. (2013) Pedal force effectiveness in Cycling: a review of constraints and training effects. *Journal of Science and Cycling* 2 (1):11-24.
- Bini, R. R. , Carpes, F. P. . (2014). *Biomechanics of cycling* (Springer Ed.). Suiza.
- Bini, R. R., Hume, P. A., Lanferdini, F. J., Vaz, M. A. (2012). Effects of moving forward or backward on the saddle on knee joint forces during cycling. *Physical Therapy in Sport*, 1-5.
- Black, M., Jepson, A. (1998). Eigen-tracking: Robust matching and tracking of articulated objects using a view-based representation. *International Journal of Computer Vision*, 36(2), 101-130.
- Boone, T., Kreider, R.B. (1986). Bicycle exercise before running: Effect on performance. *Annals of Sports Medicine* 3, 25-29.
- Bouguet, J.Y. 2000. Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker. Intel Corporation.
- Bressel ,E., Larson, B. J. (2002). Bicycle Seat Designs and Their Effect on Pelvic Angle, Trunk Angle, and Comfort. *Medicine & Science in sports*, 34, 327-332.
- Brown, D. A., Kautz, S. A., & Dairaghi, C. A. (1996). Muscle activity patterns altered during pedaling at different body orientations. *Journal of Biomechanics*, 29, 1349-1356.

- Buller, J. C. (2001). Female cyclists and perineal symptoms: an experimental bicycle seat. *Clin. J. Sport Med*(11), 289-290.
- Burke, E. R., & Pruitt, A. L. (2003). Body positioning for cycling. In E. R. Burke (Ed.), *High-tech cycling*(pp. 69-92). Champaign, IL: Human Kinetics
- Candotti, C.T., Loss, J.F., Melo, M.D.O, La Torre, M., Pasini, M., Dutra, L.A., De Oliveira J.L.N., De Oliveira Jr, L.P. (2008) Comparing the lactate and EMG thresholds of recreational cyclists during incremental pedaling exercise. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 86 (5):272-278.
- Candu, R., Belli, A., Millet, G.Y., Georges, D., Barbier B., Rouillon, J.D.(1998). Energy cost and running mechanics during a treadmill run to voluntary exhaustion. *European Journal of Applied Physiology* 77 479-485.
- Capelli C, Rosa G, Butti F, et al. (1993). Energy cost and efficiency of riding aerodynamic bicycles. *European Journal of Applied Physiology*, 67.
- Chowdhury, H., Alam, F., & Mainwaring, D. (2011). A full scale bicycle aerodynamics testing methodology. *Procedia Engineering*, 13, 94-99.
- Comaniciu, D., Visvanathan, R., Meer, P., 2003. Kernel based object tracking. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 25 (5), 564–575.
- Cootes, T.F., Edwards, G.J., Taylor, C.J. (1998). Active appearance models. *European Conference on Computer Vision*, 2, 484-498.
- Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hopper, M.K. and Walters, T.J. (1988). Determinants of endurance in well trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 64, 2622-2630.
- Coyle, E.F., Feltner, M.E., Kautz, S.A., Hamilton, M.T., Montain, S.J., Baylor, A.M., Abraham, L.D. and Petrek, G.W. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(93-107).

- Davidson, R.J.L., Robertson, J.D., Maughan, R.J. (1986). Haematological changes due to triathlon competition. *British Journal of Sports Medicine*, 20, 159-161.
- de Koning J.J., Bobbert, M. F., Foster C. (1999). Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. *J Sci Med Sport*, 2(3).
- De Vey Mestdagh, K. (1998). Personal perspective: in search of an optimum cycling posture. *Appl. Ergon*(29), 325-334.
- Dorel S., Counturier A., Hug F. (2009). Influence of different racing positions on mechanical and electromyographic patterns during pedalling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19, 44-54.
- Entrenar-Triatlón. (2012). Diferencia, pros y contras entre la bicicleta de triatlón y la de carretera. from <http://www.entrenar-triatlon.com/diferencia-pros-y-contras-entre-la-bicicleta-de-triatlon-y-la-de-carretera/>
- Etter, F., Knechtle, B., Bukowski, A., Rüst, C.A., Rosemann, T., Lepers, R. (2013). Age and gender interactions in short distance triathlon performance. *J Sports Sci.*, 31(9).
- Freedman, D., Zhang, T. (2004). Active contours for tracking distributions. *IEEE Trans.Image Process*, 13, 518-526.
- Fonda, B., Sarabon, N. (2012) Biomechanics and energetics of uphill cycling: a review. *International Journal of Fundamental and Applied Kinesiology*. 44 (1):5-17.
- Garside, I., Doran, D.A. (2010). Effects of bicycle frame ergonomics on triathlon 10-km runnin performance. *Sports Sciences*, 18(10), 825-833.
- Gnehm, P, Reichenbach S, Altpeter E, et al. (1997). Influence of different racing positions on metabolic cost in elite cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, 29.

- Gregor, R. J., J. P. Broker, RYAN, M. M. (1991). The biomechanics of cyclin. *Exerc. Sport Sci. Rev*, 19, 127-169.
- Hager, G.D. and Belhumeur, P.N. (1998). Efficient region tracking with parametric models of geometry and illumination. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(10), 1025-1039.
- Hamill, Joseph. Knutzen, Kathleen. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement* (3era ed.).
- Hamilton MT, Gonzalez-Alonso J, Montain SJ, Coyle EF. (1991). Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. *J Appl Physiol*, 71(3).
- Heil D, Derrick T, Whittlesey S. (1997). The relationship between preferred and optimal positioning during submaximal cycle ergometry. *European Journal of Applied Physiology*, 75, 160-165.
- Hull, M.L., Kautz, S., Beard, A. (1991) An angular velocity profile in cycling derived from mechanical energy analysis. *Journal of Biomechanics* 24 (7):577-586. doi:www.jbiomech.com/.
- Ironman 70.3. Pucón. (2010). Ironman 70.3 Pucón Chile. From: <http://www.ironmanpucon.com/>
- Ishikawa, T., Matthews, I., Baker, S. (2002) Efficient Image Alignment with Outlier Rejection. *Technical Report CMU-RI-TR-02-27*.
- Jepson, A., Fleet, D., El-Maraghi, T. (2003). Robust online appearance models for visual tracking. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell*, 25(10), 1296-1311.
- Jeukendrup, A. E., Jentjens, R. L., & Moseley, L. (2005). Nutritional considerations in triathlon. *Sports Medicine*, 32(2), 163-181.

- Mestdagh K. (1998). Personal perspective: in search of an optimum cycling posture. *Appl Erg*, 29, 325-334.
- Knechtle, B., Knechtle, P., & Rosemann, T. (2011). Upper body skinfold thickness is related to race performance in male Ironman triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 32(1), 20-27.
- Kyle, C.R. (1986). Mechanical factors affecting the speed of a cycle. *Science of cycling*, 8.
- Kyle, C.R (1989). The aerodynamic of helmets and handlebars. *Cycling Sci*, 1.
- LaFortune, M.A., Cavanagh, P.R. Effectiveness and efficiency during bicycle riding. In: International Series on Biomechanics, 1983. pp 928-936
- Lambert EV, St Clair Gibson A, Noakes TD. (2005). Complex systems model of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *Br J Sports Med*, 39(1), 52-62.
- Lankton, S., Malcolm, J., Nakhmani, A., Tannenbaum, A. (2008). Tracking through changes in scale. In: *Internat. Conf. on Image Process.*, 241-244.
- Lepers, R. (2008). Analysis of Hawaii ironman performances in elite triathletes from 1981 to 2007. *Med Sci Sports Exercise*, 40.
- Le Meur, Y., Hausswirth, C., Dorel, S., Bignet, F., Brisswalter, J., Bernard, T. (2009). Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *Eur J Appl Physiol*, 106(4), 535-545.
- Macintosh, B.R., Neptune, R.R., Horton, J.F. (2000) Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32 (7):1281-1287
- Marsh, A.P., Martin, P.E., Sanderson, D.J. (2000) Is a joint moment-based cost function associated with preferred cycling cadence. *Journal of Biomechanics*. 33 (2):173-180

- Matthews, I., Ishikawa, T., Baker, S. (2004). The template update problem. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell*, 26(6), 810-815.
- Minetti, A.E., Pinkerton, J., Zamparo, P. (2001) From bipedalism to bicyclism: Evolution in energetics and biomechanics of historic bicycles.
- Mitra, P., Murthy, C., Pal, S. (2002). Unsupervised feature selection using feature similarity. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell*, 24(3), 301-312.
- Mornieux, G., Stapelfeldt, B., Collhofer, A., Belli, A. (2008) Effects of pedal type and pull-up action during cycling. *International Journal of Sports Medicine* 29 (10):817-822. doi:10.1055/s-2008-1038374.
- Mornieux, G., Gollhofer, A., Stapelfeldt, B. (2010) Muscle coordination while pulling up during cycling. *International Journal of Sports Medicine* 31 (12):843-846. doi:10.1055/s-0030-1263140.
- Moss, A., Cheryl, A. J., McKenzie, J. M., Ruby, B. C., Heil, D. P. (2005). Predicting projected frontal area for cycling in women competing at the 2004 Hawaiian Ironman Triathlon. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5).
- Naveros, F., Ralli, J., Ros, E. Flujo óptico variacional en plataformas paralelas GPU.
- Neptune, R. R., Hull, M. L. (1995). Accuracy assessment of methods for determining hip movement in seated cycling. *J. Biomechanics*(28), 423-437.
- Nickels, K., Hutchinson, S. Estimating uncertainty in SSD-based feature tracking. (2002) *Image Vis. Comput*, 20(1), 47-58.
- Nordeen-Snyder, K.S. (1977). The effect of bicycle seat height variation upon oxygen consumption and lower limb kinematics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 9(2), 113-117.

- Paragios, N., Deriche, R. (2000). Geodesic active contours and level set for the detection and tracking of moving objects. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell*, 22(3), 266-280.
- Patterson, R.P., Moreno, M.I. (1990) Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22 (4):512-516.
- Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 268 (1474):1351-1360. doi:10.1098/rspb.2001.1662.
- Raymond C.H., Joseph K.-F., Gabriel Y.F. (2005). Muscle recruitment pattern in cycling: a review. *Physical Therapy in Sport*, 6, 89-96.
- Rossato, M., Bini, R.R., Carpes, F.P., Diefenthaler, F., Moro, A.R.P. (2008) Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 29 (9):746-752. doi:10.1055/s-2008-1038375.
- Saju, J., Rohan, G., Ahmad, P. J., Zulkarnain, S. A., Barry, W. (2006). A functional biomechanical analysis of an elite cyclist. *XXIV ISBS Symposium 2006, Salzburg – Austria*.
- Salai, M., Brosh, T., Blankstein, A., Oran, A., Chechik, A. (1999). Effect of changing the saddle angle on the incidence of low back pain in recreational bicyclists. *Br. J. Sports Med*(33), 398-400.
- Sanderson, D.J. (1991) The influence of cadence and power output on the biomechanics of force application during steady-rate cycling in competitive and recreational cyclists. *Journal of Sports Sciences* 9 (2):191-203.
- Sanderson, D.J., Amoroso, A.T. (2009). The influence of seat height on the mechanical function of the triceps surae muscles during steady-rate cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(6).

- Schreiber, D. (2007). Robust template tracking with drift correction. *Pattern Recognition Lett*, 28(12), 1483-1491.
- Soria, C. M. Sarcinelli-Filhob, M., Carellia, R. (2013). Adición de un Paso de Fusión de Datos al Algoritmo de Mínimos Cuadrados Clásico para Mejorar la Estima del Campo de Flujo Optico, 10(2013), 325–332.
- Stone, C., Hull, M.L. (1995) The effect of rider weight on rider-induced loads during common cycling situations. *Journal of Biomechanics* 28 (4):365-375.
- Swain, D.P. (1997). A model for optimizing cycling performance by varying power on hills and in wind. *Med Sci Sports Exerc*, 29(8), 1104-1108.
- Tamborindeguy, A.C., Bini, R.R. (2011) Does saddle height affect patellofemoral and tibiofemoral forces during bicycling for rehabilitation *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 15 (2):186-191.
- Tissainayagam, P., Suter, D. (2005). Object tracking in image sequences using point feature. *Pattern Recognition*, 38(1), 105-113.
- Triathlon. (2015). History. from www.triathlon.org/olympics/history
- Triatlon-Rosario. (2008). Diferencia entre bicicleta de triatlon y ruta. from <http://www.triatlonrosario.com/2008/11/diferencia-entre-bicicleta-de-triatlon.html>
- Union International Triathlon. (2010). ITU Competition Rules from: www.triathlon.org
- Valenciano, D. S. Análisis del software ImageJ para el análisis científico de imágenes.
- Van Ingen S., Van Woensel, W. W., Boots, P. J., Snackers, R. W., De Groot, G. (1990). Determination and interpretation of mechanical power in human

movement: application to ergometer cycling. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol*(61), 11-19.

Vleck, V.E., Bentley, D.J., Millet, G.P., Burgi, A. (2008). Pacing during an elite Olympic distance triathlon: comparison between male and female competitors. *J Sci Med Sport*, 11(4).

Weiss, B. D. (1994). Clinical syndromes associated with bicycle seats. *Clin. Sports Med*(13), 175-186.

Zhariy, M. 2005. Introduction to Optical Flow, Uttendorf

Anexo 1



Posición tradicional durante el pedaleo en triatlón



Posición aerodinámica durante el pedaleo en triatlón