

Variaciones cinemáticas de ascenso en los ciclistas de montaña

Kinematic variations of uphill in mountain bikers

*Esteban Aedo-Muñoz, **Alberto Rötger Guarda, **Ignacio Roa Gamboa, ***Natalia Rodríguez Zárata, **Cristian Rojas Reyes, **Nelson Aedo-Muñoz, ****Diego Valenzuela Pérez, *David Arriagada Tarifeño, ****Rodrigo Argothy, ****James Sepúlveda Salazar, *****Bianca Miarka, *****Ciro José Brito *Universidad de Santiago (Chile), **Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (Chile), ***Universidad Santo Tomás (Colombia), ****Universidad Santo Tomás (Chile), *****Escuela Militar José María Córdova (Colombia), *****Universidad Andrés Bello (Chile), *****Universidad Federal do Rio de Janeiro (Brasil), *****Universidad Federal de Juiz de Fora (Brasil)

Resumen. El propósito de este estudio fue determinar los indicadores cinemáticos relevantes entre categorías Elite y Sub-23 de ciclistas de cross country mountain bike (MTB) en la técnica de ascenso. La muestra fue compuesta por ciclistas Sub-23 (n=5; 18.8±0.5 años) y Elite (n=7; 24.2±2.0 años), todos los participante varones, diestros y ciclistas federados de competiciones de cross country MTB. Los datos fueron registrados desde el plano sagital al ascender por un terreno con una pendiente de 9.5±0.5% con la técnica de videofotogrametría. Los indicadores que presentaron diferencias entre categorías fueron: velocidad angular ciclo pedaleo izquierdo (p=0.04; g=-1.22), tiempo ciclo pedaleo izquierdo (p=0.02; g=1.44), velocidad angular ciclo pedaleo izquierdo de la fase preparatoria (p=0.03; g=-1.37), mientras que para la velocidad articular; velocidad de la cadera izquierda en fase de envión (p=0.029; g=-1.38), velocidad del tobillo izquierdo (p=0.005; g=-1.94) y tobillo derecho (p=0.002; g=-2.17) en fase de recuperación.

Palabras clave: Ciclismo, fenómenos biomecánicos, estilo técnico, características cinemáticas.

Abstract. The purpose of this study was to determine the relevant kinematic indicators between Elite and Under-23 categories of cross country mountain bike (MTB) cyclists in the climbing technique. The sample was made up of Under-23 (n=5; 18.8±0.5 years) and Elite (n=7; 24.2±2.0 years) cyclists, all male and right-handed, federated participants of cross-country MTB competitions. The data were recorded from the sagittal plane to the ascending one through a terrain with a slope of 9.5±0.5% with videophotogrammetry. The indicators that showed differences between categories were: left pedaling cycle angular velocity (p=0.04; g=-1.22), left pedaling cycle time (p=0.02; g=1.44), left pedaling cycle angular velocity of the preparatory phase (p=0.03; g=-1.37), while for joint speed; speed of the left hip in clean and jerk phase (p=0.029; g=-1.38), speed of the left ankle (p=0.005; g=-1.94) and right ankle (p=0.002; g=-2.17) in recovery phase.

Keywords: Cycling, biomechanical phenomena, technical style, kinematic characteristics.

Introducción

El ciclismo se encuentra experimentando múltiples transformaciones, tanto en su expansión mundial y geográfica (Nogueira Mendes, Farias Torbidoni, & Pereira da Silva, 2021), como un hábito de movilidad urbana (Troncoso, Troncoso Robles Dri Manfiolete & Toro-Arévalo, 2019), con mayores aportes y colaboraciones por parte de la ciencia, modificaciones al reglamento y evolución de la tecnología (Algarra & Gorrotxategi, 2012). Siendo un deporte que implica la repetición del gesto de pedaleo, el cual se condiciona en gran medida por la bicicleta que utiliza el deportista (Gómez-Puerto, Da Silva-Grigoletto, Viana-Montaner, Vaamonde, &

Alvero Cruz, 2008). Si bien este implemento representa una considerable ayuda, continúa siendo el elemento básico para la práctica del deporte, resaltando que es un vehículo propulsado por la fuerza humana, por lo que se hace necesario considerar el estilo técnico que utiliza cada deportista al momento de ejecutar el ciclo de pedaleo para mantener la cadencia necesaria durante las competencias, Abbiss et ál. (2013) manifiestan que, en las pruebas de ultra resistencia, una cadencia de entre 70 y 90 revoluciones por minuto (rpm) permite mejorar el rendimiento debido a una mejor economía del ciclista y una menor demanda energética. Un estudio reciente ha investigado acerca del perfil fisiológico de los ciclistas de elite de cross country mountain bike (MTB), recogiendo datos tanto en laboratorio, como durante la participación de estos en competiciones de nivel internacional, demostrando que la cadencia utilizada durante las competencias fue de 68±8

rpm o 83 ± 7 rpm si se excluye el tiempo no utilizado en pedalear (Granier et ál., 2018). Estos datos permiten conocer los valores en competición y no sólo bajo condiciones de laboratorio, lo cual nos aproxima de mejor manera al entendimiento del estilo técnico. Si se considera que las competiciones de MTB, en sus modalidades de cross country olímpico (XCO) y cross country maratón (XCM) tienen una duración igual o superior a los 80 minutos para la categoría elite (Union Cycliste Internationale, 2020), la cantidad de veces que se repite el gesto de pedaleo sería igual o mayor a 5500 veces por competición. En esta línea, Hug et ál.(2013) indican que una hora de pedaleo corresponde a cerca de 4800 ciclos de pedaleo o repeticiones del gesto técnico, por lo que incluso un pequeño incremento en la efectividad del pedaleo podría generar ganancias significativas en el rendimiento.

Para el estudio cinemático del ciclo de pedaleo, se utiliza normalmente la posición de la biela como punto de referencia para dividir este ciclo en fases (Juan García-López, 2009). El ciclo de pedaleo ha sido subdividido de diferentes maneras para su análisis, ya sea en fases tomando como referencia parámetros geométricos y/o parámetros funcionales. En este estudio se han definido como referencia los modelos de subdivisión del ciclo de pedaleo en cuatro fases (Bullock et ál., 2009) o cuatro sectores angulares funcionales (Dorel, Drouet, Couturier, Champoux, & Hug, 2009): Fase preparatoria (sector 1) entre 330° y 30° , fase de potencia (sector 2) entre 30° y 150° , fase de envión (sector 3) entre 150° y 210° , fase de recuperación (sector 4) entre 210° a 330° . Desde el punto de vista funcional, los sectores 1 y 3 corresponden a fases intermedias tanto superior como inferior respectivamente, mientras que los sectores 2 y 4 corresponden a fases principales de poder y recuperación respectivamente (Izquierdo, Echeverría, & Morante, 2008; Dorel et ál., 2009). Ver figura 1.

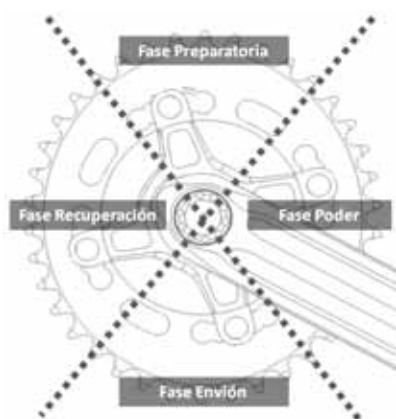


Figura 1. Fases ciclo de pedaleo. Adaptado de Bullock et ál (2009) y por Dorel et ál. (2010).

Bertucci et ál., (2007) señalan que la mayoría de las investigaciones y test de rendimiento en el ciclismo han sido realizados en condiciones de laboratorio, ya sea en cicloergómetros, trotadoras o rodillos, resaltando lo comentado por Fregly et ál. (2000), quien indica que las características mecánicas de un cicloergómetro no son las mismas que en una bicicleta clásica, diferenciándose por la rigidez y amortiguación del implemento. A esto se suma la aplicación de evaluaciones como bikefit, que se desarrollan primordialmente bajo condiciones de laboratorio. Si bien la modalidad de evaluación en laboratorio posibilita desarrollar mediciones más exactas, aislando o controlando una mayor cantidad de variables, no permite una recolección de datos en condiciones similares a las de competición. En relación al MTB, Macdermid & Stannard (2012) indican que el perfil geográfico de los diferentes circuitos varía drásticamente, exigiendo al ciclista demandas de trabajo altamente cambiantes, por lo que se dificulta la aplicación de pruebas de laboratorio que se asemejen el trabajo en terreno.

Hansen & Waldeland (2008) manifiestan que la posición adoptada por el ciclista podría afectar el rendimiento, ya sea al influir en la producción máxima de potencia, en esfuerzos cortos y vigorosos, y/o al afectar respuestas fisiológicas como el consumo de oxígeno, en periodos de menor intensidad. Fonda & Sarabon, (2012) afirman que en el ciclismo los sectores de ascenso son frecuentemente determinantes al momento de definir al ganador de una competición y que la inclinación del terreno al momento de ascender obliga a los ciclistas de montaña a adquirir otra posición, con el fin de tener la suficiente tracción en la rueda trasera y simultáneamente mantener la rueda delantera en el suelo. Para conseguir este objetivo, los ciclistas de esta especialidad tienen que apoyarse en la zona delantera del asiento de la bicicleta, flexionar el tronco e inclinarse hacia adelante.

Por lo anteriormente expuesto, se propuso realizar un estudio en terreno, que describiera las características cinemáticas temporales y espacio-temporales del estilo técnico de ascenso de los ciclistas de montaña, respondiendo a la problemática ¿Cuáles son los indicadores cinemáticos que diferencian grupos en el estilo técnico de ascenso en los ciclistas de montaña?

Material y método

En esta investigación se utilizó una muestra intencionada por las características y viabilidad de la investigación, compuesta por 12 ciclistas federados de montaña varones, participantes de competiciones de cross

country MTB en las categorías Sub 23 (n=5; 18.8±0.5 años) y Elite (n=7; 24.2±2.0 años). Los participantes fueron informados de los procedimientos, objetivos, riesgos y beneficios a través de un consentimiento informado, el cual firmaron voluntariamente. Los criterios de exclusión fueron lesionarse o sufrir alguna caída durante la evaluación, utilizar una bicicleta con platos no circulares y presentar problemas mecánicos en la bicicleta.

Características antropométricas

Se registraron la distancia vertical de la entepierna al suelo (altura de la entepierna) y distancia vertical desde el trocánter mayor al suelo de cada participante, posición de pie, descalzo y en una superficie regular.

Características bicicletas

Las variables de la bicicleta fueron; altura del sillín, retroceso del sillín, distancia sillín-manubrio, diferencia altura sillín-manubrio, altura sillín-suelo, altura manubrio y longitud de biela.

Protocolo de videofotogrametría

Se utilizaron dos cámaras de alta velocidad (Casio Exilim EX-ZR100) con una frecuencia de 240 fps ubicadas de forma perpendicular al desplazamiento del ciclista en una trayectoria de 10 metros, tomando el plano sagital según protocolo 2D con toma bilateral (Zatsiorsky, 1989; Pérez-Gámez, 2004). El inicio del protocolo comenzó con la calibración del sistema de referencia métrico, ubicado perpendicular al plano de filmación, a través de un cubo con dimensiones 1m³ (Aedo-Muñoz & Guzmán-Muñoz, 2018; Rodríguez-Zárate et ál., 2018).

Se realizó la ubicación de marcadores en izquierda y derecha haciendo referencia a la ubicación de marcadores fotosensibles en los participantes según recomendaciones; trocánter mayor, cóndilo lateral del fémur, maléolo lateral y cabeza del 5^{to} metatarsiano (Vicon Motion Systems Limited, 2016; Frigo, Rabuffetti, Kerrigan, Deming, & Pedotti, 1998) y marcadores en la bicicleta; centro rotación pedal y centro rotación biela (R. R. Bini & Carpes, 2014), posteriormente se indicó la zona de filmación, especificando condiciones de inicio y fin, para que después cada participante realizara un calentamiento de forma autónoma.

Los participantes realizaron un tramo de 50 metros en ascenso, con una pendiente de 9.5+0.5%, pedaleando sentado en el sillín, con desarrollo y cadencia libre, ubicada en el Parque Panul de ciudad de Santiago de

Chile. Cada deportista repitió la prueba 3 veces, con descansos de 2 minutos entre cada una, a continuación, se revisaron las filmaciones, para corroborar el registro en cada grabación.

Procesamiento de videofotogrametría

Las capturas se procesaron por medio del software Kinovea® versión 0.8.22, obteniendo variables temporales; tiempo del ciclo de pedaleo y tiempo de cada fase del ciclo de pedaleo, como también variables espacio-temporales; velocidad angular de biela, cadera, rodilla y tobillo de cada una de las fases.

Análisis estadístico

Se aplico una estadística descriptiva, la normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se aplicaron pruebas de comparación T student para muestras independientes (elite vs sub23) para establecer diferencias entre grupos. Mientras que para estimar la magnitud de los efectos de utilizó la estadística de Hedges. Finalmente, se utilizó p<0.05 como nivel de significancia en todos los análisis (SPSS, 20.0)

Resultados

En tabla 1 se describen las características antropométricas y dimensiones de las bicicletas utilizadas por los ciclistas, las cuales demostraron normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk con excepción de altura de manubrio en categoría sub-23 (gl=5; p=0.033) y longitud de bielas en categoría elite (gl=7; p=0.001), sin embargo, todas las variables de características antropométricas y dimensiones de las bicicletas presentaron homocedasticidad con la prueba de Levene.

Tabla 1
Características antropométricas y dimensiones de las bicicletas. Elaboración propia

| | | Sub-23 (n=5) | Elite (n=7) | Total (n=12) |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| | | Media ± D.E. | Media ± D.E. | Media ± D.E. |
| Características antropométricas | Altura entepiernas (cm) | 82.2 ± 2.9 | 77.6 ± 4.0 | 79.5 ± 4.1 |
| | Altura trocánterea (cm) | 91.6 ± 3.8 | 87.7 ± 3.0 | 89.3 ± 3.8 |
| | Altura sillin (cm) | 75.5 ± 2.7 | 72.5 ± 4.1 | 73.5 ± 3.7 |
| Características de bicicleta | Retroceso sillin (cm) | 5.9 ± 1.5 | 5.7 ± 3.6 | 5.8 ± 2.8 |
| | Distancia sillin-manubrio (cm) | 54.6 ± 1.4 | 53.4 ± 3.9 | 53.9 ± 3.1 |
| | Dif. Altura sillin-manubrio (cm) | 4.9 ± 2.0 | 2.1 ± 2.5 | 3.3 ± 2.6 |
| | Altura sillin (suelo) (cm) | 102.1 ± 2.8 | 99.5 ± 4.8 | 100.6 ± 4.2 |
| | Altura manubrio (cm) | 97.2 ± 3.0 ^a | 97.4 ± 3.0 | 97.3 ± 2.8 |
| | Longitud bielas (mm) | 175 ± 0 | 174.3 ± 1.9 ^a | 174.6 ± 1.4 |

Dif: Diferencia - D.E.: Desviación Estándar - a: Shapiro-Wilk p<0.05

En tabla 2, se describen y comparan los resultados del ciclo completo de pedaleo y en cada fase del ciclo de pedaleo. Todas las variables presentaron normalidad y homocedasticidad. En la comparación de grupos, a través de la prueba *T student* un tamaño del efecto con *g de Hedges*, se demostraron diferencias entre grupos elite y sub-23 en las variables; velocidad angular ciclo pedaleo izquierdo en general (F=1.186; p=0.04; g=-1.22), como

también en tiempo ciclo pedaleo izquierdo ($F=0.025$; $p=0.02$; $g=1.44$) y velocidad angular ciclo pedaleo izquierdo de la fase preparatoria ($F=0.097$; $p=0.03$; $g=-1.37$).

Tabla 2
Variables espacio-temporales generales y fases.

| | | Sub-23 (n=5) | Elite (n=7) | Total (n=12) |
|------------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|----------------|
| | | Media ± D.E. | Media ± D.E. | Media ± D.E. |
| Variables Espacio-Temporales Ciclo | Tiempo ciclo pedaleo izquierdo (s) | 0.674 ± 0.066 | 0.740 ± 0.042 | 0.713 ± 0.078 |
| | Tiempo ciclo pedaleo derecho (s) | 0.681 ± 0.057 | 0.708 ± 0.056 | 0.697 ± 0.077 |
| Pedaleo General | Vel. angular ciclo pedaleo izquierdo (°/s) | 539.82 ± 49.8 ^b | 489.97 ± 26.95 ^b | 510.7 ± 54.8 |
| | Vel. angular ciclo pedaleo derecho (°/s) | 534.44 ± 42.73 | 514.22 ± 39.15 | 522.6 ± 54.9 |
| Variables Espacio-Temporales Ciclo | Tiempo ciclo pedaleo izquierdo (s) | 0.096 ± 0.009 ^b | 0.111 ± 0.01 ^b | 0.105 ± 0.015 |
| | Tiempo ciclo pedaleo derecho (s) | 0.112 ± 0.008 | 0.117 ± 0.006 | 0.115 ± 0.012 |
| Pedaleo - Fase Preparatoria | Vel. angular ciclo pedaleo izquierdo (°/s) | 630.76 ± 57.8 ^b | 550.34 ± 52 ^b | 583.85 ± 79.68 |
| | Vel. angular ciclo pedaleo derecho (°/s) | 545.04 ± 38.6 | 517.24 ± 26.46 | 528.83 ± 58.32 |
| Variables Espacio-Temporales Ciclo | Tiempo ciclo pedaleo izquierdo (s) | 0.22 ± 0.036 | 0.250 ± 0.02 | 0.238 ± 0.039 |
| | Tiempo ciclo pedaleo derecho (s) | 0.21 ± 0.028 | 0.230 ± 0.033 | 0.226 ± 0.038 |
| Pedaleo - Fase Potencia | Vel. angular ciclo pedaleo izquierdo (°/s) | 563.56 ± 102.1 | 487.09 ± 34 | 518.9 ± 90.9 |
| | Vel. angular ciclo pedaleo derecho (°/s) | 555.43 ± 72.41 | 539.49 ± 77.17 | 546.1 ± 92.7 |
| Variables Espacio-Temporales Ciclo | Tiempo ciclo pedaleo izquierdo (s) | 0.132 ± 0.018 | 0.131 ± 0.009 | 0.132 ± 0.018 |
| | Tiempo ciclo pedaleo derecho (s) | 0.113 ± 0.011 | 0.120 ± 0.016 | 0.117 ± 0.019 |
| Pedaleo - Fase Envión | Vel. angular ciclo pedaleo izquierdo (°/s) | 463.66 ± 67.8 | 466.57 ± 41.31 | 465.4 ± 70.4 |
| | Vel. angular ciclo pedaleo derecho (°/s) | 537.57 ± 52.37 | 516.45 ± 69.52 | 525.2 ± 77.3 |
| Variables Espacio-Temporales Ciclo | Tiempo ciclo pedaleo izquierdo (s) | 0.226 ± 0.022 | 0.248 ± 0.028 | 0.239 ± 0.034 |
| | Tiempo ciclo pedaleo derecho (s) | 0.235 ± 0.022 | 0.241 ± 0.022 | 0.239 ± 0.032 |
| Pedaleo - Fase Recuperación | Vel. angular ciclo pedaleo izquierdo (°/s) | 540.61 ± 50.92 | 494.54 ± 58.91 | 513.7 ± 79.5 |
| | Vel. angular ciclo pedaleo derecho (°/s) | 521.61 ± 54.17 | 504.58 ± 48.42 | 511.7 ± 71.5 |

D.E.: Desviación Estándar – a: Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk $p<0.05$) – b: Prueba de comparación (Tstudent $p<0.05$)

En tabla 3, se describen y comparan los resultados de la velocidad articular en cada fase del ciclo de pedaleo. La mayoría de las velocidades articulares no presentaron diferencias entre los grupos, exceptuando en la fase de envión la velocidad de la cadera izquierda ($F=0.676$; $p=0.029$; $g=-1.38$), además de la fase de recuperación con la velocidad del tobillo izquierdo ($F=1.063$; $p=0.005$; $g=-1.94$) y tobillo derecho ($F=0.001$; $p=0.002$; $g=-2.17$).

Tabla 3
Velocidades articulares por fases de ciclo de pedaleo.

| | | Sub-23 (n=5) | Elite (n=7) | Total (n=12) |
|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| | | Media ± D.E. | Media ± D.E. | Media ± D.E. |
| Velocidad articular Fase Preparatoria | Tobillo izquierdo (°/s) | 63.18 ± 27.05 | 53.1 ± 14.47 | 57.3 ± 38.4 |
| | Tobillo derecho (°/s) | 96.15 ± 36.26 | 68.43 ± 36.34 | 80 ± 56.3 |
| | Rodilla izquierda (°/s) | 116.87 ± 27.35 | 115.63 ± 15.38 | 116.2 ± 31.7 |
| | Rodilla derecha (°/s) | 89.74 ± 43.14 | 106.19 ± 43.7 | 99.3 ± 53.7 |
| | Cadera izquierda (°/s) | 39.93 ± 9.63 | 38.13 ± 17.31 | 38.9 ± 20.8 |
| | Cadera derecha (°/s) | 42.14 ± 11.28 | 35.78 ± 22.66 | 38.4 ± 25.8 |
| Velocidad articular Fase Potencia | Tobillo izquierdo (°/s) | 59.41 ± 31.71 | 80.42 ± 16.94 | 71.7 ± 31.1 |
| | Tobillo derecho (°/s) | 52.42 ± 21.51 | 73.56 ± 17.25 | 64.8 ± 30.4 |
| | Rodilla izquierda (°/s) | 270.96 ± 27.25 | 265.01 ± 23.63 | 267.5 ± 30.6 |
| | Rodilla derecha (°/s) | 261.21 ± 20.48 | 266.69 ± 34.88 | 264.4 ± 34.7 |
| | Cadera izquierda (°/s) | 162.54 ± 12.69 | 159.74 ± 12.93 | 160.9 ± 17.8 |
| | Cadera derecha (°/s) | 155.06 ± 5.9 | 156.38 ± 25.32 | 155.8 ± 22.9 |
| Velocidad articular Fase Envión | Tobillo izquierdo (°/s) | 48.26 ± 13.58 | 28.37 ± 18.82 | 36.7 ± 22.1 |
| | Tobillo derecho (°/s) | 56.28 ± 29.04 | 64.41 ± 56.46 | 61.4 ± 49.2 |
| | Rodilla izquierda (°/s) | 95.33 ± 45.06 | 115.74 ± 44.24 | 107.2 ± 52.2 |
| | Rodilla derecha (°/s) | 104.37 ± 24.79 | 103.5 ± 50.51 | 103.9 ± 52.8 |
| | Cadera izquierda (°/s) | 58.9 ± 20.38 ^b | 33.2 ± 14.8 ^b | 43.9 ± 29.9 |
| | Cadera derecha (°/s) | 36.39 ± 16.82 | 29.78 ± 20.66 | 32.5 ± 23 |
| Velocidad articular Fase Recuperación | Tobillo izquierdo (°/s) | 24.3 ± 7.14 ^b | 61.57 ± 22.14 ^b | 46 ± 28.5 |
| | Tobillo derecho (°/s) | 27.6 ± 14.5 ^b | 61.44 ± 14.31 ^b | 47.3 ± 28.1 |
| | Rodilla izquierda (°/s) | 233.38 ± 19.33 | 246.9 ± 17.43 | 241.3 ± 26.1 |
| | Rodilla derecha (°/s) | 232.13 ± 24.21 | 244.04 ± 27.38 | 239.1 ± 30.9 |
| | Cadera izquierda (°/s) | 132.39 ± 19.5 | 132.33 ± 10.41 | 132.4 ± 19.1 |
| | Cadera derecha (°/s) | 130.03 ± 15.91 | 124.75 ± 12.33 | 126.9 ± 15.5 |

D.E.: Desviación Estándar – a: Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk $p<0.05$) – b: Prueba de comparación (Tstudent $p<0.05$)

Discusión

El rendimiento deportivo en el ciclismo depende fuertemente del nivel de relación deportista-bicicleta

(Gómez-Puerto, Edir Da Silva-Grigoletto, Hernán Viana-Montaner, Vaamonde, & Alvero-Cruz, 2008), mediado principalmente por ajustes que se realizan a la bicicleta y sus dimensiones (R. Bini, 2017), la principal forma de evaluar el beneficio de estos ajustes se realizan a través del nivel de percepción que tienen los deportistas sobre los ajustes realizados (Ayachi, Dorey, & Guastavino, 2015), sin embargo, una cantidad importante de estudios se basan en la aplicación de fuerza sobre los pedales (Soden & Adeyefa, 1979; Hull & Davis, 1981; R. R. Bini, Hume, & Crofta, 2011; Chen, Wu, Chan, Shih, & Shiang, 2016; R. Bini & Hume, 2015), sin establecer la cinemática del ciclista y su aplicación en la bicicleta en condiciones reales, es por esto que describir las características cinemáticas del estilo técnico de ascenso, en deportistas de diferentes niveles es relevante ya que esto afecta la técnica de pedaleo (Candotti et ál., 2007).

Los principales resultados establecen diferencias en el lado izquierdo para la velocidad angular en el ciclo de pedaleo, donde el 11% del grupo elite tiene una velocidad igual o inferior al grupo sub-23, como también la fase preparatoria donde el tiempo de ciclo de pedaleo un 92.5% del grupo elite tiene mayores tiempos que el grupo sub-23, mientras que para la velocidad angular del ciclo de pedaleo en la fase de envión solo un 8.5% del grupo elite presenta velocidades menores a sub-23. Las diferencias en las velocidades del tobillo derecho e izquierdo en la fase de recuperación, establecen en el tobillo izquierdo que solo el 2.6% de los elite tienen velocidades superiores al grupo sub-23, mientras que la velocidad del tobillo derecho solo el 1,5% tiene una velocidad superior al grupo sub-23, estos valores tienen relación teórica con la búsqueda de un eje diagonal en la producción de fuerza efectiva (R. Bini, Hume, Croft, & Kilding, 2013) y la posición que tengan en la bicicleta (Diefenthaler et ál., 2008) las cuales son más estable en deportistas experimentados (Candotti et ál., 2007). La velocidad angular de la cadera izquierda se encuentra asociada con cambios en el desplazamiento angular durante la fase de envión, determinando que los ciclistas menos experimentados buscan mayores amplitudes articulares con el propósito de acumular mayor energía elástica, manifestado a través de

un movimiento de arranque en las fases intermedias (Izquierdo et ál., 2008) para ser aplicado en la fase de principales, además de mencionar que cambios en energía elástica determinan la velocidad angular del pedaleo (Hull, Kautz, & Beard, 1991).

La duración del ciclo de pedaleo permite determinar la cadencia, es así como en base a la duración del ciclo de pedaleo izquierdo (0.713 ± 0.078 s) y derecha (0.697 ± 0.077 s), se puede establecer una cadencia de pedaleo izquierda de 84.15 rpm y de 86.08 rpm respectivamente. García López et ál. (2009), indica que múltiples autores señalan que los ciclistas generalmente seleccionan cadencias de entre 90 y 100 rpm, mayores a las consideradas como óptimas energéticamente. Ansley & Cangley (2009) reportan que las cadencias seleccionadas preferentemente por los ciclistas (80 a 100 rpm) están por sobre las metabólicamente óptimas (50 a 70 rpm) (Ansley & Cangley, 2009). En el campo específico del MTB, Schmidt (2014) menciona que los ciclistas MTB cross country utilizan una cadencia relativamente baja, menor a 80 rpm, sin embargo, menciona que en el transcurso de una carrera de cross country se alterna entre cadencias cercanas a 80 rpm y momentos donde no se pedalea, estos valores se acercan los resultados obtenidos en este estudio (Schmidt, 2014).

En relación a las fases del ciclo de pedaleo, en el lado izquierdo se aprecia un pico de velocidad angular en la fase preparatoria ($583.85 \pm 79.68^\circ/s$), reduciendo la velocidad en la fase de potencia ($518.95 \pm 90.9^\circ/s$), manteniendo este efecto hacia la fase de envión, en que se observa una considerable merma de la velocidad angular. Sin embargo, durante la fase de recuperación, la velocidad angular aumenta ($513.73 \pm 79.47^\circ/s$). Esto difiere del propósito mecánico indicado por Bullock et ál. (2009) para la fase de envión, en que se busca minimizar la desaceleración en las fases de menor producción de fuerza. Por el contrario, en la fase de recuperación se logra mantener una velocidad angular similar a la desarrollada en la fase de potencia, logrando el propósito mencionado por Bullock et ál. (2009) para esta fase, eliminar la aceleración negativa (Bullock et ál., 2009).

En cuanto al lado derecho, la velocidad angular tiene menores variaciones en el transcurso de ciclo de pedaleo; iniciándose en la fase preparatoria ($528.82 \pm 58.32^\circ/s$), fase de potencia ($546.13 \pm 92.69^\circ/s$) donde llega a su peak, la fase de envión ($525.25 \pm 77.27^\circ/s$) y en la fase de recuperación ($511.67 \pm 71.48^\circ/s$) donde alcanza el valor más bajo. Se observa que tanto en la fase de envión como en la fase de recuperación la velocidad angular

disminuyó gradualmente si se compara con la velocidad de la fase de potencia, lo que no cumple del todo el propósito mecánico propuesto por Bullock et ál (2009) de eliminar la aceleración negativa en estas fases, si minimiza la desaceleración con respecto a lo observado en el lado izquierdo en la fase de envión. Manifestando que el aumento de velocidad en el grupo sub23 se debe principalmente a un aumento de la cadencia específicamente en la fase preparatoria.

En relación al comportamiento de las articulaciones de tobillo esta presentó diferencias entre categorías, pero solo en fase de recuperación, siendo esta fase la que provoca mayor potencia máxima (Dorel et ál., 2010).

La velocidad angular de la rodilla y cadera presentan una disminución en las fases intermedias: preparatoria y envión, en comparación con las fases principales; potencia y recuperación, lo que concuerda por lo descrito por Dorel et ál. (2010), donde menciona que los principales aportes de potencia máxima ocurren en las fases principales que presentan los deportistas durante el ascenso (Dorel et ál., 2010), sin embargo, estas diferencias no son significativas entre las categorías comparadas, la mayoría de las investigaciones comparan los desplazamientos articulares (Yanci Irigoyen, 2015; Aguilar et ál., 2015; J García-López et ál., 2009) pero no realizan comparaciones de las velocidades articulares.

Se deben tener en cuenta que una de las limitaciones corresponde a evaluar sólo indicadores cinemáticos y no incluir indicadores cinéticos, cómo la potencia o fuerza ejercida por el ciclista en cada fase del ciclo de pedaleo, sin embargo, la similitud entre categorías y coordinación de indicadores cinemáticos presentan una alta relación con indicadores cinéticos (R. Bini, Hume, & Croft, 2013; Kautz & Neptune, 2002).

Para futuras investigaciones se recomienda realizar valoraciones cinéticas y cinemáticas de manera simultánea, estableciendo una mayor profundidad en las fases intermedias del ciclo de pedaleo.

Conclusiones

Es posible concluir que se identificaron indicadores cinemáticos diferenciadores del estilo técnico de ascenso en el ciclismo de cross country MTB. Se diseñó un protocolo de evaluación para recolectar datos del ciclo de pedaleo y sus fases, registrando información de indicadores cinemáticos; tiempo empleado, velocidad angular del ciclo de pedaleo y velocidades articulares de tobillo, rodilla y cadera. Los indicadores cinemáticos que presentan diferencias en el ciclo de pedaleo fueron

velocidad angular del ciclo de pedaleo, tiempo del ciclo de pedaleo izquierdo en fase preparatoria y velocidad angular en ciclo de pedaleo en fase preparatoria, mientras que para la velocidad articular; velocidad articular de cadera izquierda en fase de envío, velocidad angular de tobillo izquierdo en fase de recuperación y velocidad angular de tobillo derecho en fase de recuperación entre las categorías elite y sub-23.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación y en especial al Departamento de Educación Física, Deportes y Recreación, representados en la Dra. Elisa Araya Cortéz por facilitar la instrumentación e instalaciones.

Referencias

Abbiss, C. R., Ross, M. L. R., Garvican, L. A., Ross, N., Pottgiesser, T., Gregory, J., & Martin, D. T. (2013). The distribution of pace adopted by cyclists during a cross-country mountain bike World Championships. *Journal of Sports Sciences*, 31(7), 787–794. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.751118>

Aedo-Muñoz, E., & Guzmán-Muñoz, E. (2018). La Biomecánica en la Rehabilitación Deportiva. In IRL (Ed.), *Rehabilitación Deportiva Basada en el Trabajo Multidisciplinar* (p. 244). Santiago.

Aguilar, L., Torres, J., Jimenes, C., Cabrera, D., Cárdenas, M., & Urgirles, P. (2015). Analysis of the angles in hip, knee and ankle during the pedaling of a Cross Country Olympic cyclist. *2015 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*. <https://doi.org/10.1109/Chilecon.2015.7400376>

Algarra, J. L., & Gorrotxategi, A. (2012). *El entrenamiento en el Ciclismo de Ruta* (1º). Biocorp Europa S.L.

Ansley, L., & Cangle, P. (2009). Determinants of «optimal» cadence during cycling. *European Journal of Sport Science*, 9(2), 61–85. <https://doi.org/10.1080/17461390802684325>

Ayachi, F. S., Dorey, J., & Guastavino, C. (2015). Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists. *Applied Ergonomics*, 46(Part A), 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.010>

Bertucci, W., Grappe, F., & Gros Lambert, A. (2007). Laboratory versus Outdoor Cycling Conditions: Differences in Pedaling Biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2), 87–92. <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.87>

Bini, R. (2017). The Science of Bike Fit. In S. S. Cheung & M. Zabala (Eds.), *Cycling Science* (1st ed., pp. 75–80). <https://doi.org/10.5040/9781492595373.ch-007>

Bini, R., & Hume, P. (2015). Relationship between pedal force asymmetry and performance in cycling time trial. *The Journal of*

Sports Medicine and Physical Fitness, 55(9), 892–898. Recuperado de <https://www.minervamedica.it/en/journals/sports-med-physical-fitness/article.php?cod=R40Y2015N09A0892>

Bini, R., Hume, P., & Croft, J. (2013). Pedaling Technique Changes with Force Feedback Training in Competitive Cyclists: Preliminary Study. *XXIV Congress of the International Society of Biomechanics*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05539-8_9

Bini, R., Hume, P., Croft, J., & Kilding, A. (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). Introduction to biomechanical analysis for performance enhancement and injury prevention. In *Biomechanics of Cycling* (Vol. 9783319055, pp. 1–11). https://doi.org/10.1007/978-3-319-05539-8_1

Bini, R. R., Hume, P. A., & Croft, J. L. (2011). Effects of saddle height on pedal force effectiveness. *Procedia Engineering*, 13, 51–55. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2011.05.050>

Bullock, G., Cabraloff, D., Hickman, J., Mico, M., Netcher, L., & Ward, D. (2009). A qualitative analysis of the biomechanics of proper pedal stroke.

Candotti, C. T., Ribeiro, J., Soares, D. P., De Oliveira, A. R., Loss, J. F., & Guimaraes, A. C. S. (2007). Effective force and economy of triathletes and cyclists. *Sports Biomechanics*, 6(1), 31–43. <https://doi.org/10.1080/14763140601058490>

Chen, C.-H., Wu, Y.-K., Chan, M.-S., Shih, Y., & Shiang, T.-Y. (2016). The force output of handle and pedal in different bicycle-riding postures. *Research in Sports Medicine (Print)*, 24(1), 54–66. <https://doi.org/10.1080/15438627.2015.1126276>

Diefenthaler, F., Bini, R. R., Nabinger, E., Laitano, O., Carpes, F. P., Mota, C. B., & Guimarães, A. C. S. (2008). Proposta metodológica para a avaliação da técnica da pedalada de ciclistas: estudo de caso. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 14(2), 155–158. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922008000200014>

Dorel, S., Couturier, A., Lacour, J. R., Vandewalle, H., Hautier, C., & Hug, F. (2010). Force-velocity relationship in cycling revisited: Benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(6), 1174–1183. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c91f35>

Dorel, S., Drouet, J.-M., Couturier, A., Champoux, Y., & Hug, F. (2009). Changes of Pedaling Technique and Muscle Coordination during an Exhaustive Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(6).

Fonda, B., & Sarabon, N. (2012). Biomechanics and Energetics of Uphill Cycling: A review. *Kinesiology*, 44, 5–17.

Fregly, B., Zajac, F., & Dairaghi, C. (2000). Bicycle Drive System Dynamics: Theory and Experimental Validation. *Journal of Biomechanical Engineering*, 122, 446–452. <https://doi.org/10.1115/1.1286678>

- Frigo, C., Rabuffetti, M., Kerrigan, D. C., Deming, L. C., & Pedotti, A. (1998). Functionally oriented and clinically feasible quantitative gait analysis method. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 36(2), 179–185.
- García-López, J., Díez-Leal, S., Rodríguez-Marroyo, J., Larrazabal, J., Galceano, I., Villa, J., & García-Lopez, J. (2009). Eficiencia mecánica de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo. *Biomecánica*, 17, 9–20.
- García-López, Juan. (2009). Valoración Biomecánica I. En F. Jiménez y cols. (Eds.). «Medicina y Fisiología del Ciclismo. Ed. Federación Española de Medicina del Deporte. Nexus Médica Editores S.L. ISBN: 978-84-92568-03-1. Barcelona, 2009. Págs. 532-631. In Federación Española de Medicina del Deporte (Ed.), *Medicina y Fisiología del Ciclismo* (pp. 532–631). Nexus Médica Editores S.L.
- Gómez-Puerto, J. R., DaSilva-Grigoletto, M., Viana-Montaner, B. H., Vaamonde, D., & Alvero Cruz, J. R. (2008). La importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de las lesiones en el ciclismo: aplicaciones prácticas. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 1, 73–81.
- Gómez-Puerto, J. R., Edir DaSilva-Grigoletto, M., HernánViana-Montaner, B., Vaamonde, D., & Alvero-Cruz, J. R. (2008). La importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de las lesiones en el ciclismo: aplicaciones prácticas. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 1(2), 73–81. Recuperado de <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-la-importancia-los-ajustes-bicicleta-13127530>
- Granier, C., Abbiss, C. R., Aubry, A., Vauchez, Y., Dorel, S., Hausswirth, C., & Meur, Y. Le. (2018). Power Output and Pacing During International Cross-Country Mountain Bike Cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(9), 1243–1249. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0516>
- Hansen, E., & Waldeland, H. (2008). Seated versus standing position for maximization of performance during intense uphill cycling. *Journal of Sports Sciences*, 26, 977–984. <https://doi.org/10.1080/02640410801910277>
- Hug, F., Boumier, F., & Dorel, S. (2013). Altered muscle coordination when pedaling with independent cranks. *Frontiers in Physiology*, 4, 232. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00232>
- Hull, M. L., & Davis, R. R. (1981). Measurement of pedal loading in bicycling: I. Instrumentation. *Journal of Biomechanics*, 14(12), 843–855. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(81\)90012-9](https://doi.org/10.1016/0021-9290(81)90012-9)
- 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. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(91\)90290-4](https://doi.org/10.1016/0021-9290(91)90290-4)
- Izquierdo, M., Echeverría, J. M., & Morante, J. C. (2008). Estructura y análisis del movimiento. In *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte* (Medica Pan, p. 770). Madrid.
- Kautz, S. A., & Neptune, R. R. (2002). Biomechanical determinants of pedaling energetics: internal and external work are not independent. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(4), 159–165. <https://doi.org/10.1097/00003677-200210000-00004>
- Macdermid, P., & Stannard, S. (2012). Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. *Journal of Sports Sciences*, 30, 1491–1501. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.711487>
- Nogueira Mendes, R., Fariás Torbidoni, E., & Pereira da Silva, C. (2021). Eventos de bicicleta de montanha em Portugal/ : características, distribuição temporal e espacial e ocorrência sobre a rede nacional de áreas protegidas e classificadas. *RETOS. Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación*, 2041(39), 216–223. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/78368/50744>
- Pérez-Gámez, C. (2004). Orientaciones para realizar análisis de movimiento con sistema SAM 3.1-3D2K1. *Revista EDU-FISICA*.
- Rodríguez-Zárate, N., Argothy-Bucheli, R., Acero-Jáuregui, J., Gomez-Sálar, L., Menzel, H., & Cohen, D. (2018). *Lineamientos de Política Pública en Ciencias del Deporte en Biomecánica* (COLDEPORTE). Bogotá.
- Schmidt, A. (2014). *Mountain Bike Training*. Recuperado de <https://books.google.cl/books?id=CWEVAgAAQBAJ>
- Soden, P. D., & Adeyefa, B. A. (1979). Forces applied to a bicycle during normal cycling. *Journal of Biomechanics*, 12(7), 527–541. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(79\)90041-1](https://doi.org/10.1016/0021-9290(79)90041-1)
- Troncoso, L., Troncoso Robles Dri Manfioleto, S., & Toro-Arévalo, S. (2019). Procesos educativos vivenciados en la práctica social mecánica de bicicleta (Educational processes experienced in the social mechanical bicycle practice). *Retos*, 38(38), 102–108. <https://doi.org/10.47197/retos.v38i38.74280>
- Union Cycliste Internationale. (2020). UCI Cycling Regulations - Part 4 Mountain Bike.
- Vicon Motion Systems Limited. (2016). *Plug-in Gait Reference Guide*. Recuperado de <https://docs.vicon.com/display/Nexus25/PDF+downloads+for+Vicon+Nexus?preview=/50888706/50889377/Plug-in+Gait+Reference+Guide.pdf>
- Yanci Irigoyen, J. (2015). Análisis cinemático y diferencias bilaterales en la técnica de pedaleo de ciclistas profesionales. *Pensar En Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 13(2), 1–12. <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v13i2.19749>
- Zatsiorsky, V. (1989). *Metrología deportiva: libro de texto* (Planeta; Editorial Pueblo y Educación, Ed.). Recuperado de <https://books.google.cl/books?id=P45WPQAACAAJ>