

Variabilidad del pedaleo en ciclistas de diferentes niveles competitivos

Pedalling variability in cyclists of different competitive level

A. Herrero-Molleda¹, P. Floría², J. García-López¹

¹ Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del deporte, Universidad de León, España

² Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportivo, Universidad Pablo de Olavide, España

Accésit Congreso SIBB 2021

Resumen

El principal objetivo del presente trabajo fue analizar la influencia del nivel competitivo y de la intensidad de pedaleo en la variabilidad de las fuerzas aplicadas a las bielas. Setenta y dos ciclistas (Club, Élite y Profesional) pedalearon durante 5 minutos a 200, 250 y 300 W, en un cicloergómetro que registraba el torque o momento de fuerza del pedaleo, realizándose posteriormente un análisis de la variabilidad lineal (Desviación estándar) y no lineal (Entropía) de la cinética del pedaleo. Los principales resultados mostraron un efecto significativo tanto del nivel competitivo como de la intensidad del pedaleo en los valores de variabilidad no lineal, con una interacción, también significativa, entre ambos factores, mientras que la variabilidad lineal únicamente se vio afectada por la intensidad del pedaleo. En conclusión, el efecto de la intensidad de pedaleo en la variabilidad de las fuerzas podría explicarse por la propia mecánica del pedaleo y el “principio de mínima intervención”. Igualmente, los resultados de variabilidad cinética lineal y no lineal durante el pedaleo deben ser interpretados diferencialmente, siendo este último análisis más sensible para discriminar entre niveles de rendimiento en ciclista.

Palabras clave: ciclismo, biomecánica, desviación estándar, entropía

Abstract

The purpose of this study was to analyse the influence of competitive level and pedalling intensity on crank torque variability. Seventy-two cyclists (Club, Elite, Professional) pedalled at 200, 250 and 300 W, on a cycle ergometer that recorded crank torque. Linear (average Standard Deviation) and non-linear (Sample Entropy) variability analyses were applied. Both competitive level and pedalling intensity showed a significant effect on Sample Entropy values of crank torque, with a significant interaction between the two factors, while average Standard Deviation was only affected by pedalling intensity. In conclusion, pedalling intensity effect on crank torque variability could be explained by the changes in the biomechanical constraints of the cycling task and the “minimal intervention principle”, while linear and non-linear variability results must be interpreted in a different way, as non-linear variability has shown a bigger potential for fine discrimination between cyclists' competitive levels.

Keywords: cycling, biomechanics, standard deviation, entropy

Introducción

En el deporte en general y en el ciclismo en particular, la repetición de una tarea motriz facilita el desarrollo de adaptaciones neuromusculares que resultan en una mejor técnica [1], habiéndose demostrado que los ciclistas expertos tienen unas características técnicas de pedaleo (i.e.; cinética y cinemática) diferentes a los novatos [2,3]. Así, la coordinación de las principales articulaciones implicadas en el pedaleo (i.e.; cadera, rodilla y tobillo) es distinta entre ciclistas de diferente nivel. Los ciclistas profesionales presentan una mejor coordinación cadera-tobillo y con una mayor consistencia, lo que pudiera estar relacionado con una mayor adaptación del sistema neuromuscular, así como una progresión hacia un mejor patrón de movimiento [2]. Igualmente, los ciclistas profesionales presentan un mayor rango de movimiento del tobillo [3], así como una mayor activación de la musculatura flexora de la rodilla durante el pedaleo en los ciclistas de mayor nivel, quienes necesitan aplicar menos torque propulsivo para pedalear a la misma potencia que los de menor nivel, lo que fundamentalmente se debe a que el torque resistivo durante el recobro de la pierna es menor. Este modelo técnico podría estar relacionado con la mayor implicación de la musculatura flexora de la rodilla al pedalear, con el doble objetivo de disminuir el pico de fuerza propulsiva aplicada durante el pedaleo, así como retrasar la fatiga durante esfuerzos prolongados en ciclismo [4,5].

En los últimos años, la variabilidad del movimiento ha sido objeto de estudio de la biomecánica deportiva [6] debido a su posible relación con el rendimiento deportivo y el riesgo de lesión de los deportistas [7]. Específicamente en el ciclismo, estudios previos encontraron relación entre la variabilidad del movimiento durante el pedaleo con el nivel competitivo y la intensidad del pedaleo. Los ciclistas de mayor nivel presentan una menor variabilidad de coordinación que los ciclistas de menor nivel, lo que pudiera deberse a una mayor habilidad adquirida gracias a su

elevado nivel de práctica, o a que esta mayor variabilidad pueda reflejar una exploración de la tarea motriz por parte de los ciclistas de menor nivel con el objetivo de optimizar el rendimiento [2,8]. De igual forma, los ciclistas expertos presentan una disminución de la variabilidad de la acción muscular a medida que la intensidad de pedaleo aumenta [9,10]. Este último hallazgo ha sido justificado porque la variabilidad del sistema perceptivo-motriz no es funcional para el rendimiento en el ciclismo, tratándose el pedaleo de una tarea estable que no necesita de variabilidad [10].

Hasta donde llega nuestro conocimiento, ningún estudio ha analizado la variabilidad de las fuerzas durante el pedaleo, lo cual contrasta con la cantidad de estudios existentes en otros deportes cíclicos de resistencia como la carrera, donde la variabilidad ha sido ampliamente estudiada [11,12,13]. De igual manera, para analizar la variabilidad del movimiento se han planteado multitud de propuestas en la literatura, diferenciando entre métodos lineales y no lineales [6]. Los métodos lineales cuantifican la magnitud de la variabilidad entre ciclos (e.g.; desviación estándar), mientras que los métodos no lineales (e.g.; Sample Entropy) cuantifican aspectos dinámicos y temporales de las series de datos y proporcionan una mayor comprensión de la regularidad y complejidad del control motor subyacente [14]. Sin embargo, a pesar de que ambos métodos son utilizados para evaluar la variabilidad del movimiento, algunos autores indican que su comportamiento pudiera ser diferente, existiendo la probabilidad de que la desviación estándar no analice de manera adecuada las dinámicas del comportamiento [15].

Por lo tanto, los principales objetivos del presente estudio fueron (1) analizar la influencia del nivel competitivo de los ciclistas y la intensidad del pedaleo en la variabilidad intra-individual de las fuerzas aplicadas durante el pedaleo y (2) examinar si puede haber una interpretación diferente cuando se utilizan métodos lineales y no lineales para analizar la variabilidad durante el pedaleo.

Metodología

Participantes

En el presente estudio participaron setenta y dos ciclistas (24.7 ± 5.4 años, 69.0 ± 6.0 kg y 178.7 ± 5.0 cm) que fueron divididos en tres grupos homogéneos ($n = 24$) de niveles competitivos (nivel 1= club; nivel 2= élite; nivel 3= profesional), de acuerdo con el volumen de kilómetros que realizaban por temporada (5000-15000, 15000-30000 y más de 30000 km, respectivamente) [3]. De esta forma, los ciclistas fueron clasificados como nivel 1 o club cuando pedaleaban entre 5.000 y 15.000 km por temporada ($n = 24$); nivel 2 o élite ($n = 24$), cuando pedaleaban entre 15.000 y 30.000 km, y nivel 3 o profesional ($n = 24$), cuando realizaban más de 30.000 km. Todos ellos participaron de manera voluntaria y ninguno presentó problemas de salud durante la realización del estudio. Igualmente, todos los participantes fueron informados de los procedimientos, métodos, beneficios y posibles riesgos relacionados con el estudio, y firmaron un consentimiento por escrito previo al inicio de las pruebas. El estudio cumplía los principios de la Declaración de Helsinki para las investigaciones médicas en seres humanos y su realización fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad.

Procedimiento

Las pruebas se realizaron en sesiones de un día bajo condiciones controladas tanto de temperatura (20-25°) como de humedad (60-65%). Los ciclistas llegaban con sus bicicletas al laboratorio (800 metros de altitud) tras un periodo de 24 h sin realizar entrenamientos exigentes, realizándose en primer lugar la medición de sus características antropométricas y de sus bicicletas. A continuación, estas últimas eran replicadas en un cicloergómetro de freno electromagnético (Lode Excalibur Sport, Lode BV, Groningen, Netherlands) que permitía registrar el torque o momento de fuerza del pedaleo de manera independiente en cada biela cada 2° de rotación [3].

Los participantes realizaron un calentamiento de 10 minutos de duración a una intensidad de pedaleo de 100 W. Las pruebas consistieron en tres series de pedaleo submáximo de 5 minutos de duración (200, 250 y 300 W), a una cadencia constante (~90 rpm), y con descansos de 6 minutos entre series, siendo seleccionadas dichas intensidades de pedaleo porque son representativas del esfuerzo en ciclistas profesionales [16] y pueden ser mantenidas por ciclistas de nivel club durante cortos periodos de tiempo [17].

Durante el transcurso de las pruebas se llevó a cabo un análisis cinético del pedaleo. Igualmente, los ciclistas recibieron feedback sobre su cadencia de manera continuada, debiendo mantener una cadencia de 90 rpm para evitar cualquier posible influencia de esta en las variables mecánicas del pedaleo [18]. La cadencia seleccionada era la representativa de la cadencia de pedaleo sentado durante etapas llanas [19,16]. Por último, la posición de los ciclistas durante las pruebas también se estandarizó, solicitándoles que mantuvieran las manos sobre los frenos.

Medidas antropométricas y de las bicicletas

Para el registro de las medidas antropométricas y de las bicicletas se utilizaron una cinta antropométrica (Holtain Ltd, Crymych, UK) y un antropómetro Harpenden (CMS Instruments, London, UK), realizando todas las mediciones el mismo investigador siguiendo las recomendaciones internacionales para la antropometría [20]. A continuación, se registraron las principales medidas de la bicicleta [3]: altura del sillín, retroceso, longitud de biela, distancia vertical entre la parte superior del sillín y la parte superior del manillar (diferencia de alturas sillín-manillar) y distancia desde la parte delantera del sillín y el centro del manillar (largo del manillar).

Análisis cinético

El análisis cinético se llevó a cabo en un cicloergómetro de freno electromagnético

(Lode Excalibur Sport, Lode BV, Groningen, Netherlands) [21], que permitía registrar el torque ejercido de manera independiente en cada biela cada 2° de rotación [22,23]. Previamente al comienzo del estudio, se realizó una calibración dinámica del cicloergómetro (Calibrator 2000, Lode BV, Groningen, Netherlands). De esta forma, se compararon 60 ensayos entre 25-2000 W de potencia de pedaleo y 40-120 rpm de cadencia de pedaleo (Calibrator 2000 vs Lode Excalibur Sport), obteniendo un coeficiente de variación de $0.96 \pm 1.20\%$ en las medidas de torque (95% de intervalo de confianza entre 0.72% y 1.19%), y un coeficiente de correlación intraclass de 0.999 ($P < 0.001$). Igualmente, antes del inicio de cada sesión se llevó a cabo un ajuste de cero. Se registraron de manera íntegra las tres series de 5 minutos de pedaleo de cada participante (LEM software, Lode BV, Groningen, Netherlands).

Análisis estadístico

Para evaluar la variabilidad lineal para cada ciclista e intensidad de pedaleo, se partió de una serie de datos torque-tiempo que recogía 20 ciclos completos de la pierna derecha (se asumió simetría entre ambas piernas) a partir del minuto 3 de pedaleo. Posteriormente se dividió la serie de datos en ciclos, normalizando cada ciclo a 101 puntos respecto al tiempo total del ciclo. La media y desviación estándar de los 20 ciclos para cada uno de los 101 puntos fueron calculadas. Finalmente, se obtuvo la desviación estándar promedio del ciclo de todos los ciclistas en cada intensidad analizada (*i.e.*; Standard Deviation). Por lo tanto, la variabilidad total de la curva continua se representó como un valor único [24]. Para analizar la estructura temporal de los datos de torque de biela, se calculó la Entropía (*i.e.*; Sample Entropy). La Entropía cuantifica la probabilidad de que secuencias similares de “m” puntos en la serie temporal sigan siendo similares dentro de

un nivel de tolerancia (r) cuando se añade un punto a la secuencia ($m + 1$ secuencias) [6]. Se seleccionaron $m = 2$ y $r = 0.35$, teniendo en cuenta la minimización del máximo error relativo de la entropía [6]. Los valores más bajos de Entropía significan una mayor regularidad del sistema y una menor complejidad, y viceversa.

Se realizaron sendos análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para los valores de variabilidad lineal y no lineal con objeto de evaluar el efecto del nivel competitivo (*i.e.*; comparación intergrupos) y de la intensidad del pedaleo (*i.e.*; comparación intragrupos) en la variabilidad. El nivel de significación estadística se estableció en $P < .05$. Cuando se detectaba una interacción entre el nivel competitivo y la intensidad, un análisis *post-hoc* con ajuste de Bonferroni fue aplicado. La estadística inferencial fue completada con el cálculo del tamaño del efecto de las diferencias entre pares (Cohen's d). El valor del tamaño del efecto fue considerado como trivial ($ES < 0.2$), pequeño ($0.2 \leq ES < 0.5$), moderado ($0.5 \leq ES < 0.8$) y grande ($ES \geq 0.8$) [25].

Resultados

Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados de la variabilidad lineal (desviación estándar) en función del nivel competitivo de los ciclistas y de la intensidad de pedaleo, respectivamente.

El análisis de la variabilidad lineal no mostró un efecto significativo del nivel competitivo ($F = 2.08$; $P = .13$), aunque sí mostró un efecto significativo de la intensidad de pedaleo ($F = 18.93$; $P < .05$), sin interacción entre el nivel y la intensidad ($F = 1.57$; $P = .19$) (Tabla 1). Los valores de desviación estándar aumentaron a medida que la intensidad de pedaleo se incrementaba, y el tamaño del efecto de las diferencias osciló entre pequeño (200 vs. 250 W, Cohen's $d = 0.5$; 250 vs. 300 W, Cohen's $d = 0.3$) y moderado (200 vs. 300 W, Cohen's $d = 0.7$).

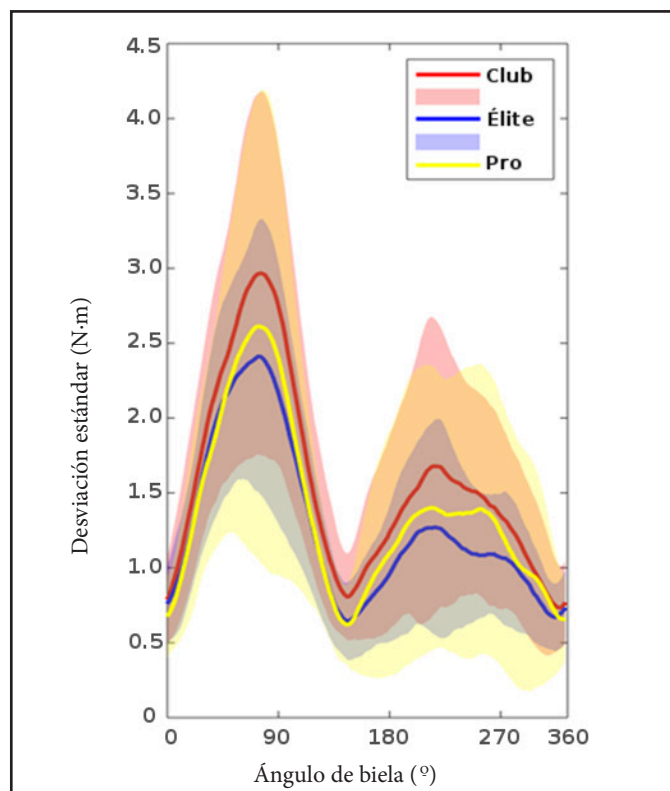


Figura 1. Análisis de la variabilidad lineal (Desviación estándar) en función del nivel competitivo de los ciclistas (Club, Élite, Profesional)

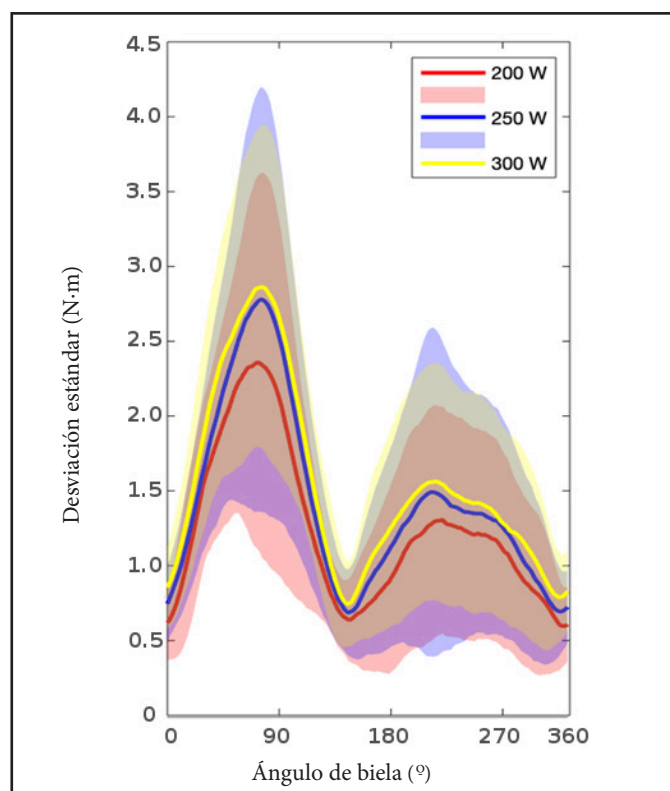


Figura 2. Análisis de la variabilidad lineal (Desviación estándar) en función de la intensidad de pedaleo (200, 250 y 300 W)

Potència	Variabilidad	Nivel competitivo		
		Club	Élite	Profesional
200W	Lineal (N·m)	1.536±0.446*	1.188±0.287*	1.456±0.894*
	No lineal	0.050±0.004*†	0.045±0.004*†	0.046±0.004*†
250W	Lineal (N·m)	1.820±0.717*	1.454±0.393*	1.532±0.838*
	No lineal	0.045±0.004*†	0.043±0.004*†	0.042±0.005*†
300W	Lineal (N·m)	1.887±0.520*	1.649±0.431*	1.620±0.654*
	No lineal	0.043±0.004*†	0.041±0.004*†	0.040±0.005*†

Diferencias significativas (P < .05): *intensidad del pedaleo; †nivel de los ciclistas

Tabla 1. Valores medios y desviación estándar de variabilidad lineal (Desviación Estándar) y no lineal (Entropía) de acuerdo con el nivel competitivo de los ciclistas (Club, Élite, Profesional) y la intensidad de pedaleo (200, 250 y 300 W)

El análisis de la variabilidad no lineal (Tabla 1) mostró un efecto significativo del nivel competitivo ($F = 5.72$; $P < .05$), y la intensidad del pedaleo ($F = 104.09$; $P < .05$), con una interacción entre ambas variables ($F = 2.95$; $P < .05$). Los valores de Entropía disminuyeron a medida que aumentó la intensidad del pedaleo, y el tamaño del efecto de las diferencias osciló entre moderado (250 vs. 300 W, Cohen's $d = 0.7$) y grande (200 vs. 250 W, Cohen's $d = 1.0$; 200 vs. 300 W, Cohen's $d = 1.7$). Los valores de Entropía también disminuyeron a medida que aumentó el nivel competitivo, y el tamaño del efecto de las diferencias osciló entre trivial (Élite vs. Profesional, Cohen's $d < 0.1$) y pequeño (Club vs. Élite, Cohen's $d = 1.0$; Club vs. Profesional, Cohen's $d = 0.4$).

Discusión

El principal resultado del presente trabajo ha sido contrastar que se produce un claro efecto de la intensidad del pedaleo en la varia-

bilidad lineal (*i.e.*; aumentó) y no lineal (*i.e.*; disminuyó) (Tabla 1). La disminución de la variabilidad no lineal a medida que la intensidad de pedaleo aumentaba concuerda con los resultados de estudios previos, donde se observó una menor variabilidad de la activación muscular cuando aumentaba la intensidad de pedaleo [9,10]. De acuerdo con estos autores, estos resultados podrían justificarse porque, a medida que aumenta la intensidad de pedaleo, la biomecánica del pedaleo requiere de una mayor precisión en el patrón de coordinación muscular del movimiento (*i.e.*; el espacio de solución disminuye a medida que la demanda de la tarea aumenta). Consecuentemente, el cuerpo especifica la estrategia de control en estos parámetros del movimiento relevantes para el pedaleo en un modo similar al del “principio de mínima intervención” [9]. Este principio establece que el Sistema Nervioso Central corrige preferentemente las desviaciones en el movimiento que tienen un efecto negativo en el rendimiento (*i.e.*; errores

relevantes para la tarea). Corregir estas desviaciones requiere energía, por lo que el Sistema Nervioso Central reduce de manera selectiva las variaciones en las variables locales (*e.g.*; dinámica articular) que afectan a los objetivos de la tarea (*e.g.*; dinámica de las extremidades) [26], lo que creemos que podría explicar los resultados previamente mencionados.

Otro resultado destacable consistió en que, a medida que la intensidad del pedaleo aumentaba, se incrementaba la variabilidad lineal (Tabla 1), mientras que la variabilidad no lineal presentaba una tendencia opuesta, lo que concuerda con estudios previos que observaron un efecto diferente de la intensidad del ejercicio en ambas. Por lo tanto, estos dos parámetros de la variabilidad del movimiento deben ser interpretados de distinta manera. El análisis no lineal presentó una mayor sensibilidad que el análisis lineal para detectar el efecto de la intensidad del pedaleo, del nivel de rendimiento y de la interacción entre ambas variables en la variabilidad de las fuerzas (*i.e.*; mayores tamaños del efecto). De acuerdo con los resultados del análisis no lineal (Tabla 1), se observó un pequeño efecto del nivel competitivo en la variabilidad de las fuerzas (*i.e.*; menor en ciclistas de mayor nivel). Esto estaría en la línea de lo observado por estudios previos realizados en marcha atlética, donde se detectó una tendencia a la disminución de la variabilidad no lineal en las fuerzas de reacción anteroposteriores contra el suelo en marchadores de alto nivel en comparación con marchadores de menor nivel [27]. Por lo tanto, pudiera ser que los ciclistas de mayor nivel presenten una adaptación al alto volumen de kilometraje que realizan anualmente, derivando en un menor valor de Entropía.

Sin embargo, en el análisis de la variabilidad lineal no se observó la influencia del nivel competitivo en la variabilidad de las fuerzas (Tabla 1). Esto podría deberse a una menor sensibilidad de este tipo de análisis, al compararlo con el análisis de variabilidad no lineal, para detectar el efecto de la influencia del nivel competitivo. También podría acontecer que la variabilidad en el sistema perceptivo-motriz no sea funcional para el rendimiento en el ciclismo, siendo el pedaleo una tarea que no

requiere de variabilidad [8]. No obstante, el hecho de que la intensidad de pedaleo fuera idéntica para todos los ciclistas (Club, Élite y Profesional) podría respaldar la hipótesis de que el nivel competitivo tuviese un efecto en la variabilidad no lineal, porque los ciclistas de nivel Élite y Profesional pedalearon a una intensidad relativa menor que los ciclistas de nivel Club (*i.e.*; su potencia aeróbica máxima es previsiblemente mayor). A una intensidad relativa similar, las diferencias en los valores de Entropía podrían ser mayores a los obtenidos en el presente trabajo, debido al claro efecto de la intensidad del pedaleo sobre esta variable.

Igualmente, en el análisis de la variabilidad no lineal se observó un efecto combinado de la intensidad de pedaleo y el nivel competitivo, lo que significa que los valores de Entropía disminuyeron más en los ciclistas de nivel Club que en los ciclistas de nivel Élite y Profesional a medida que la intensidad de pedaleo aumentaba (Tabla 1). Esto pudiera justificarse por el aumento homogéneo de la intensidad de pedaleo (*i.e.*; 50 W) en todos los grupos de ciclistas, lo que pudiera implicar un mayor aumento relativo de la intensidad de pedaleo en los ciclistas de menor nivel que en los ciclistas de mayor nivel. Finalmente, el hecho de que no se obtuvieran diferencias entre los ciclistas de nivel Élite y Club (Tabla 1) pudiera deberse a: a) el menor aumento de la intensidad relativa de pedaleo en los ciclistas de nivel Profesional en comparación con los ciclistas de nivel Élite (como ya ha sido explicado previamente); b) el elevado volumen de entrenamiento anual de los ciclistas de nivel Élite y Profesional (> 15.000 km) respecto a los de Club (< 15.000 km); c) el hecho de que algunos de los ciclistas clasificados como nivel Élite perteneciesen a los equipos sub-23 del mismo equipo que algunos de los ciclistas de nivel Profesional (*i.e.*; ciclistas con probabilidades de alcanzar el nivel Profesional).

La principal limitación del presente trabajo fue utilizar las mismas intensidades de pedaleo absolutas en todos los grupos de ciclistas (*i.e.*; 200, 250 y 300 W), cuestión que estaría justificada para homogeneizar la demanda mecánica del pedaleo, de manera similar a lo realizado en estudios previos [3]. Por lo tan-

to, futuros trabajos deberían comprobar si el nivel competitivo afecta a la variabilidad de las fuerzas durante el pedaleo usando similares intensidades relativas de esfuerzo. En este caso, se recomendaría utilizar un análisis no lineal, que parece más sensible para detectar estos cambios. Asimismo, cabe destacar que el presente trabajo utilizó como variable cinética el torque o momento de fuerza, que es altamente dependiente de la intensidad de pedaleo (*i.e.*; potencia), ya que esta última depende del torque y de la velocidad angular de rotación de las bielas. El torque pudiera presentar una diferente variabilidad que otras variables cinéticas, como la fuerza aplicada a los pedales, lo que podría ser explorado en futuros estudios.

Conclusión

La intensidad de pedaleo afecta a la variabilidad lineal (desviación estándar) y a la variabilidad no lineal (Entropía), lo que podría explicarse por los propios requerimientos biomecánicos del pedaleo y el “principio de mínima intervención”. El análisis no lineal presentó una mayor sensibilidad que el lineal para detectar el efecto de la intensidad del pedaleo y del nivel de rendimiento en la variabilidad cinética del pedaleo. Teniendo en cuenta los resultados de la variabilidad no lineal, parece que esta disminuye a medida que el nivel competitivo aumenta, lo que podría deberse a una adaptación por parte de los ciclistas de más nivel a un mayor volumen de entrenamiento anual. Sin embargo, futuros estudios deberían confirmar esta hipótesis usando similares intensidades de pedaleo relativas a su máxima capacidad de esfuerzo en los diferentes grupos de ciclistas.

Agradecimientos

Los autores quisieran dar las gracias a los ciclistas participantes en el estudio, así como a la Universidad de León por conceder una beca predoctoral (2021–25) y al Consejo Superior de Deportes (CSD) por su apoyo a la Red de Investigación Ciclismo y Mujer–REDICYM–(referencias 29/UPB/19 y 41/UPB/20).

Bibliografía

1. **Hug F, Dorel S.** Electromyographic analysis of pedaling: A review. *J Electromyogr Kinesiol*; 2009;19(2):182-98. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.10.010>
2. **Chapman A, Vicenzino B, Blanch P, Hodges P.** Do differences in muscle recruitment between novice and elite cyclists reflect different movement patterns or less skilled muscle recruitment? *J Sci Med Sport*; 2009;12(1):31-4. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.012>
3. **García-López J, Díez-Leal S, Ogueta-Alday A, Larrazabal J, Rodríguez-Marroyo JA.** Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels. *J Sports Sci*; 2016;34(17):1619-26. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1127987>
4. **Takaishi T, Yamamoto T, Ono, T, Ito, T, Moritani, T.** Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc*; 1998;30(3):442-9. <https://doi.org/10.1097/00005768-199803000-00016>
5. **Theurel J, Crepin M, Foissac M, Temprado JJ.** Effects of different pedalling techniques on muscle fatigue and mechanical efficiency during prolonged cycling. *Scand J Med Sci Sports*; 2012;22(6):714-21. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01313.x>
6. **Preatoni E, Hamill J, Harrison AJ, Hayes K, Van Emmerik REA, Wilson C, et al.** Movement variability and skills monitoring in sports. *Sports Biomech*; 2013;12(2):69-92. <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.738700>
7. **Bartlett R, Wheat J, Robins M.** Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomech*; 2007;6(2):224-43. <https://doi.org/10.1080/14763140701322994>
8. **Sides D, Wilson C.** Intra-limb coordinative adaptations in cycling. *Sports Biomech*; 2012;11(1):1-9. <https://doi.org/10.1080/14763141.2011.637118>
9. **Enders H, Maurer C, Baltich, J, Nigg BM.** Task-oriented control of muscle coordination during cycling. *Med Sci Sports Exerc*; 2013;45(12):2298-305. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31829e49aa>
10. **Enders H, Nigg BM.** Neuromuscular Strategies during Cycling at Different Muscular Demands. *Med Sci Sports Exerc*; 2015;47(7):1450-9. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000564>
11. **Nakayama Y, Kudo K, Ohtsuki T.** Variability and fluctuation in running gait cycle of trained runners and non-runners. *Gait Posture*; 2010;31(3):331-5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.12.003>
12. **Floría P, Sánchez-Sixto A, Ferber R, Harrison AJ.** Effects of running experience on coordination and its variability in runners. *J Sports Sci*; 2018;36(3):272-8. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1300314>
13. **Mo S, Chow DHK.** Differences in lower-limb coor-

- dination and coordination variability between novice and experienced runners during a prolonged treadmill run at anaerobic threshold speed. *J Sports Sci*; 2019;37(9):1021-8. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1539294>
14. **Stergiou N, Decker LM.** Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Hum Mov Sci*; 2011;30(5):869-88. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.002>
 15. **Slifkin A B, Newell KM.** Variability and noise in continuous force production. *J Mot Behav*; 2000;32(2):141-50. <https://doi.org/10.1080/00222890009601366>
 16. **Vogt S, Schumacher Y, Roecker K, Dickhuth H, Schoberer U, Schmid A, et al.** Power Output during the Tour de France. *Int J Sports Med*; 2007;28(9):756-61. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964982>
 17. **Pinot J, Grappe F.** The record power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med*; 2011;32:839-44. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1279773>
 18. **Neptune RR, Herzog W.** The association between negative muscle work and pedaling rate. *J Biomech*; 1999;32(10):1021-6. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(99\)00100-1](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(99)00100-1)
 19. **Rodríguez-Marroyo JA, García-López J, Villa JG, Córdova A.** Adaptation of pedaling rate of professional cyclist in mountain passes. *Eur J Appl Physiol*; 2008;103(5):515-22. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0745-3>
 20. **Olds T, Stewart A, Carter L, Marfell-Jones M.** International standards for anthropometric assessment. Potchefstroom: International Society for the Advancement of Kinanthropometry; 2006.
 21. **Reiser M, Meyer T, Kindermann W, Daugs R.** Transferability of workload measurements between three different types of ergometer. *Eur J Appl Physiol*; 2000;82(3):245-9. <https://doi.org/10.1007/s004210050678>
 22. **Dorel S, Couturier A, Hug F.** Influence of different racing positions on mechanical and electromyographic patterns during pedalling. *Scand J Med Sci Sports*; 2008;19(1):44-54. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00765.x>
 23. **Hansen EA, Rønnestad BR, Vegge G, Raastad T.** Cyclists' Improvement of Pedaling Efficacy and Performance After Heavy Strength Training. *Int J Sports Physiol Perform*; 2012;7(4):313-21. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.7.4.313>
 24. **James CR.** Considerations of movement variability in biomechanics research. En: Stergiou N, editor. *Innovative analyses of human movement. Human Kinetics*; 2004. 223-58.
 25. **Cohen J.** *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 2nd ed. Lawrence Erlbaum Associates; 1988. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-10517-x>
 26. **Selgrade BP, Chang, YH.** Locomotor control of limb force switches from minimal intervention principle in early adaptation to noise reduction in late adaptation. *J Neurophysiol*; 2015;113(5):1451-61. <https://doi.org/10.1152/jn.00246.2014>
 27. **Preatoni E, Ferrario M, Donà G, Hamill J, Rodano R.** Motor variability in sports: a non-linear analysis of race walking. *J Sports Sci*; 2010;28(12):1327-36. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.507250>