

<https://doi.org/10.5232/ricyde2022.06903>

Influencia del core en la producción de potencia en ciclistas

Core influence on the power production in cyclists

Alberto Galindo-Martínez¹; Alejandro López-Valenciano²; Juan Miguel Vallés-González¹,
y José Luis López Elvira¹

1. Universidad Miguel Hernández de Elche. España
2. Universidad Rey Juan Carlos. España

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre la producción de potencia en ciclismo, y variables analíticas de core, como la fuerza, la estabilidad y la cinemática durante el pedaleo. En este estudio participaron 30 ciclistas de tres disciplinas, los cuales realizaron un test de estabilidad sedente, un test de fuerza de extensores y flexores de tronco y un test de potencia en ciclismo, donde se analizó la cinemática del tronco. Se encontró una mayor estabilidad sedente en los ciclistas de mountain bike, una mayor inclinación anterior torácica en ciclistas de carretera y un mayor rango de inclinación lateral en triatletas. Solo se encontraron correlaciones significativas entre la inclinación anterior torácica y la potencia crítica. En conclusión, tanto la fuerza como la estabilidad de tronco tienen una baja influencia en la producción de potencia, aunque sí existen diferencias entre las distintas disciplinas en las dimensiones del core.

Palabras clave: fuerza de Tronco; estabilidad de tronco; rendimiento; umbral de potencia funcional.

Abstract

The purpose of this study was to analyse the relationship between cycling power production and core analytical variables, such as strength, stability, and kinematics during pedalling. 30 cyclists from three disciplines participated in this study, who performed a sitting stability test, a trunk flexor and extensors strength test, and a cycling power test (FTP), where trunk kinematics were analysed. Greater seated stability was found in mountain bike cyclists, a greater anterior thoracic tilt in road cyclists, and a greater range of lateral tilt in triathletes. Only significant correlations were found between thoracic anterior tilt and critical power. In conclusion, both the strength and the stability of the trunk had a low influence on the power production, although there are differences between the different cycling disciplines in the dimensions of the core.

Keywords: core strength; core stability; performance; functional threshold power.

Correspondencia/correspondence: Jose Luis López Elvira.
Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche. España
Email: jose.lopeze@umh.es"

Introducción

El ciclismo es un deporte individual que se compone de diferentes disciplinas, como son el ciclismo de carretera o de montaña, además de otros deportes, como el triatlón, que requieren de la bicicleta. Las variables de rendimiento en cada una de ellas son diferentes (Chidley, MacGregor, Martin, Arthur y Macdonald, 2015; Figueiredo, Marques y Lepers, 2016; Menaspà, Sias, Bates y La Torre, 2017), y por tanto, las adaptaciones que se producen por el entrenamiento de cada disciplina también son diferentes (Zatoń y Dąbrowski, 2013).

Entre la multitud de factores que determinan el rendimiento en el ciclismo (Faria, Parker y Faria, 2005), se encuentran distintas variables fisiológicas, como el VO₂máx o la eficiencia aeróbica (Engelbrecht y Terblanche, 2018; Rønnestad y Hansen, 2018), variables biomecánicas, como la aerodinámica o los ángulos de aplicación de la fuerza durante el pedaleo (Fintelman, Sterling, Hemida y Li, 2014; Korff, Romer, Mayhew y Martin, 2007), y variables neuromusculares como es el aprovechamiento de las fuerzas de propulsión generadas durante el pedaleo (García-López, Díez-Leal, Ogueta-Alday, Larrazabal y Rodríguez-Marroyo, 2016).

Dentro de las variables neuromusculares, la fuerza, resistencia y estabilidad del tronco (*core*) han cobrado especial importancia en el deporte por su relación con la prevención de lesiones o el aumento del rendimiento deportivo (Reed, Ford, Myer y Hewett, 2012). De manera particular, en el ciclismo parecen influir en la producción de potencia durante el pedaleo, y en la reducción del riesgo de lesiones, debido a que la fatiga del tronco puede desalinearse las extremidades inferiores, y con ello predisponer a la aparición de lesiones en el tren inferior (Abt, Smoliga, Brick, Jolly, Lephart y Fu, 2007).

Sin embargo, aunque el entrenamiento de la zona central del tronco por parte de los colectivos ciclistas está aumentando (Asplund y Ross, 2010), y se ha demostrado la eficacia de algunos programas de entrenamiento específicos en la mejora del rendimiento y prevención de lesiones (Nualpech, Chuensiri y Suksom, 2019, y Wiseman, 2013), el conocimiento acerca de la contribución del *core* en la producción de potencia en el ciclismo y la prevención de lesiones es escaso y controvertido (Asplund y Ross, 2010; Meuwisen, 2016; Rannama, Pedak, Bazanov y Port, 2017). Además, los resultados obtenidos hasta la fecha son poco generalizables y no se adaptan a las demandas específicas de cada disciplina del ciclismo, cuando los test de valoración deberían ser específicos de cada disciplina deportiva (Barbado, Lopez-Valenciano, Juan-Recio, Montero-Carretero, Van Dieën y Vera-García, 2016).

Por ejemplo, Park, Kim, Yoo, Kim, Kim y Seo (2019) y Park y Seo (2020) estudiaron la relación entre la fuerza de extensores y flexores de tronco en un dinamómetro isocinético a 30°/s y la potencia producida en un test de 30 s *all out* de ciclismo, aunque solo Park y col. (2019) encontraron relación entre ambas variables. Meuwisen (2016), por su parte, tampoco halló relación entre la potencia de tronco, valorada mediante el test *Frontal Abdominal Power Throw* (FAPT), y la resistencia de flexores de tronco en un *Crunch Test*, con la potencia producida en un test de 30 s y de 3.2 km en ciclismo.

Como se puede comprobar, al bajo número de trabajos que relacionan estas variables, se une la controversia en los resultados de los estudios realizados (Meuwissen, 2016). Además, los trabajos previos han utilizado generalmente test de ciclismo de corta duración para establecer relaciones, por lo que es necesario establecer la asociación entre la fuerza y la estabilidad de tronco con la capacidad de producir potencia en pruebas de mayor duración (Meuwissen, 2016; Wiseman, 2013), como es el umbral de potencia funcional (UPF) (Allen, Coogan y McGregor, 2019). A través del UPF, se puede obtener la potencia crítica (PC) en ciclismo, que es el trabajo máximo que podría sostenerse 'durante mucho tiempo sin fatiga' (Hill, 1993). Dicha potencia crítica es usada como marcador de rendimiento en ciclismo (Allen y col., 2019), puesto que

refleja la capacidad de realizar ejercicio supra-máximo y permite explorar los diferentes componentes metabólicos del ciclismo.

Por ello, el objetivo de este estudio fue describir la población ciclista en tres de sus disciplinas (ciclismo de carretera, *mountain bike* y triatlón) en variables de fuerza, estabilidad, cinemática del tronco y producción de potencia en un test de UPF, y analizar las diferencias entre ellas. El segundo objetivo fue establecer relaciones entre la fuerza de extensores y flexores de tronco, la estabilidad de tronco, la cinemática de las estructuras raquídeas durante el pedaleo y la producción de potencia en un test de UPF.

Método

Participantes

La muestra se compuso de un total de 30 ciclistas amateurs, 23 hombres y 7 mujeres, de distintas disciplinas y deportes (ciclismo en ruta, ciclismo de montaña-*mountain bike* y triatlón). Los participantes en triatlón solo realizaban pruebas de corta duración (hasta distancia olímpica) y utilizaban únicamente bicicletas de ruta. Los participantes debían cumplir dos criterios para ser incluidos en el estudio: (1) tener al menos 3 años de experiencia en ciclismo, y (2) realizar entrenamientos con bicicleta al menos 2 veces por semana. Como criterios de exclusión se aplicaron: (1) estar operado del raquis o de la cadera y/o (2) haber sufrido dolor lumbar los últimos tres meses (3) llevar a cabo un programa de entrenamiento regular y estructurado de *core*. Los datos descriptivos de la población se muestran en la Tabla 1. Se informó verbalmente a los participantes sobre el procedimiento que se iba a utilizar, así como sobre la finalidad y los riesgos del presente estudio, y se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes, basado en las recomendaciones de la declaración de Helsinki y aprobado por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche (DPS.JLE.01.17). Se les solicitó a todos los participantes que no realizasen actividad física exigente 24 h antes de las pruebas y que no tomaran estimulantes el mismo día.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la muestra de estudio.

	Media \pm DE	Carretera (n=9)	<i>Mountain bike</i> (n=10)	Triatlón (n=11)
Edad (años)	28.3 \pm 8.4	26.1 \pm 8.2	27.8 \pm 6.7	30.9 \pm 10.3
Masa (kg)	69.0 \pm 9.6	75.0 \pm 7.3	65.2 \pm 11	67.1 \pm 7.5
Talla (m)	1.74 \pm 0.09	1.83 \pm 0.06	1.71 \pm 0.1	1.7 \pm 0.05
Años de experiencia	8.1 \pm 5.6	12.2 \pm 6.4	8.0 \pm 4.8	4.1 \pm 1.2
Sesiones de ciclismo por semana	4.3 \pm 1.2	5.2 \pm 1.6	4.8 \pm 1.6	2.7 \pm 1.0
Min/semana práctica	481.1 \pm 255.8	623.3 \pm 328.2	507.0 \pm 188.3	310.0 \pm 129.0

Protocolo

El protocolo para el registro de los datos se realizó en una sola sesión y tuvo una duración aproximada de unas 3 h por participante, divididas en dos fases. En la primera de ellas, se realizaron mediciones antropométricas de la masa, talla y distancia de trocánter a acromion, según los criterios fijados por la *International Society for the Advancement of*

Kinanthropometry (ISAK) (Stewart, Marfell-Jones, Olds y De Ridder, 2011) por un evaluador ISAK nivel 1 (A.L-V), además del registro de los datos personales de cada uno de los ciclistas.

En la segunda fase se llevó a cabo la valoración de las tres pruebas, tras una explicación verbal y física de cada una de ellas por parte del investigador principal, y una pequeña familiarización de las mismas. Primero, se realizaron de manera contrabalanceada una prueba de valoración de la fuerza de extensores y flexores de tronco con un dinamómetro isocinético (García-Vaquero, Barbado, Juan-Recio, López-Valenciano y Vera-García, 2020; Park y col., 2019), y una prueba de control postural sedente de tronco con un asiento inestable (Barbado y col., 2016). Finalmente se realizó el test de umbral de potencia funcional con una duración de 20 min (Allen y col., 2019). Esta prueba se realizó al final, sin ser aleatorizada con las anteriores, debido a la alta exigencia física de la misma. Simultáneamente a la realización del test UPF se registró la cinemática de la pelvis y el tronco con un sistema de captura del movimiento. Entre cada una de las pruebas se descansó 10 min.

La prueba de fuerza de extensores y flexores de tronco se realizó en un dinamómetro isocinético Biodex (Model 2000, System 4 Pro; Biodex Corporation, Shirley, NY, USA). Se estandarizó la posición inicial de los participantes en el dinamómetro siguiendo el protocolo de García-Vaquero y col. (2020). El raquis permaneció erguido en una posición neutra (0°) y a partir de esta posición se colocaba a los participantes en una situación de flexión de tronco. Se fijó el rango de movimiento entre 30° y 60° de flexión (Figura 1), posición aproximada del ciclista durante el pedaleo (Muyor y Zabala, 2015). El rango de movimiento fue de 30° , para así limitar la influencia de la cadera en el movimiento (Grabiner y Jeziorowski, 1991). Además, se colocó una almohadilla en el sacro y un cinturón en la pelvis para limitar la participación de la cadera. El movimiento empezaba desde la posición de máxima flexión (60°). La prueba tuvo un calentamiento de dos series, una de cuatro repeticiones a $90^{\circ}/s$ y otra de tres repeticiones a $60^{\circ}/s$, para familiarizarse con el movimiento y el instrumento de medida. Posteriormente, se realizaron tres series de una repetición de flexo-extensión de tronco a $10^{\circ}/s$ en modalidad concéntrica, tanto en la extensión como en la flexión. Se escogió esta velocidad por su mayor fiabilidad respecto a velocidades altas (Roth y col., 2017). Entre cada una de las series hubo un descanso de 60 s.

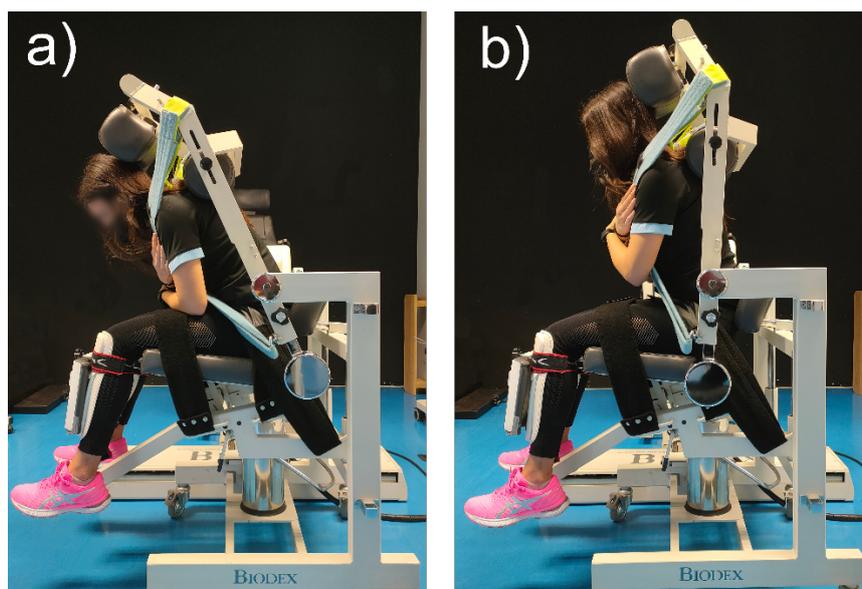


Figura 1. Participante realizando una flexo-extensión de tronco en el dinamómetro isocinético con un rango de movimiento de 30° . A) Posición inicial, máxima flexión de tronco (60°); b) posición final, máxima extensión de tronco (30°).

En cuanto a la prueba de control postural sobre una superficie inestable, se desarrolló en posición sedente en un asiento de madera colocado sobre una semiesfera (radio: 35 cm; altura: 12 cm) situada encima de una plataforma de fuerzas (Kistler, Switzerland, Model 9286AA) que registraba a 1000 Hz. El ciclista colocaba rodillas y caderas a 90°, atado de muslos y piernas, y con los brazos cruzados en los hombros (Figura 2). La plataforma de fuerzas, situada a una altura de 0.9 m sobre el suelo, era controlada por un software de creación propia que registraba la posición del centro de presiones (CoP) y la mostraba sobre una pantalla en tiempo real junto a una diana objetivo, siguiendo el protocolo utilizado por Barbado y col. (2016).

Primero se realizó un calentamiento, donde el sujeto debía permanecer lo más estable posible durante 30 s en dos condiciones, una en posición estática preferida, sin darle feedback en la pantalla, y otra estática donde se le pedía mantenerse tan estable como fuese posible sobre un punto objetivo que aparecía en la pantalla (Barbado y col., 2016). El test de estabilidad sedente consistió en realizar tres tareas dinámicas en tres direcciones diferentes: una de dirección anteroposterior (AP), otra de dirección mediolateral (ML), y otra con trayectoria puramente circular (CC). La amplitud del desplazamiento del punto objetivo en cada eje fue la correspondiente a una inclinación de 4° desde la posición de reposo del centro de masas del tren superior (cabeza, brazos y tronco) estimada a partir de la longitud entre el trocánter y acromion (Winter, 2009). En las tareas con niveles de variabilidad (AP y ML), al desplazamiento sinusoidal de la diana se le añadieron desviaciones con una amplitud de 1° y una frecuencia aleatoria. Por otra parte, en la tarea CC se mantuvo una trayectoria puramente sinusoidal (trabajo en consistencia). En cada una de las tareas se les dio feedback de la posición de su CoP. Cada intento tuvo una duración de 70 s y el tiempo de descanso entre cada prueba fue de 90 s.

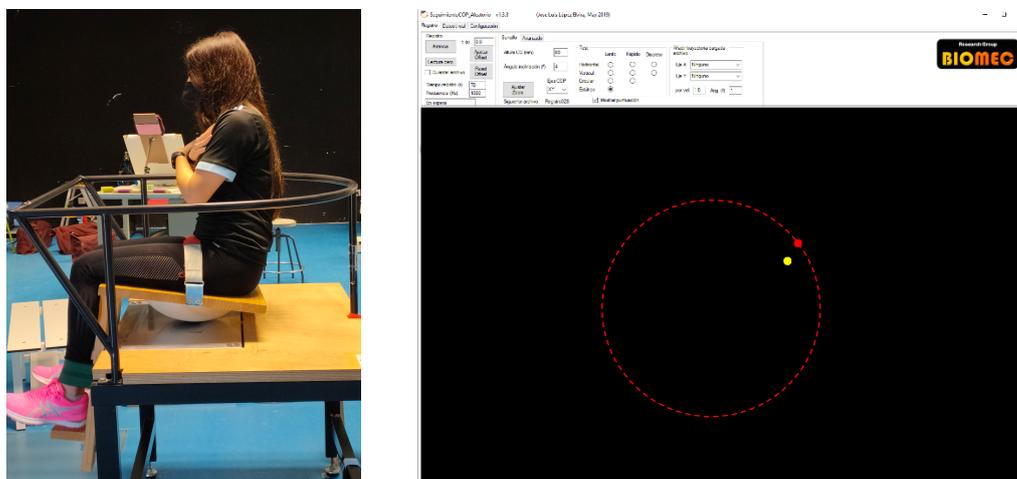


Figura 2. A la izquierda, participante realizando la prueba sobre el asiento inestable. A la derecha, se ve proyectado el centro de presiones en amarillo y el punto objetivo en rojo.

Por último, se valoró el rendimiento en ciclismo mediante un test de UPF de 20 min en un rodillo con potenciómetro Wahoo® KICKR PowerTrainer, validado por Zadow, Fell y Kitic (2016). Primero se realizó un calentamiento de 10 min a 100 W, seguido de cinco escalones de 1 min con aumentos de 25 W entre ellos, hasta alcanzar una intensidad cercana a la esperada en la prueba según los datos de cada participante recogidos previamente al test. El calentamiento se basó en las recomendaciones de Bishop (2003), incluyendo partes de baja y alta intensidad. Tras finalizar el calentamiento, se dejó un descanso de 5 min antes de iniciar el test. Todos los participantes utilizaron sus bicicletas y estaban familiarizados con esta prueba.

Durante este test se registró la cinemática mediante un sistema de captura del movimiento tridimensional compuesto por 7 cámaras T10 y una Vero 2.2 (Vicon MX, Vicon Motion Systems Ltd; Oxford, UK), operando a 200 Hz. Se utilizó un modelo de tronco y pelvis donde se colocaron marcadores reflectantes externos en las vértebras L1, T6 y C7, ambos acromiones, espinas iliacas anterosuperiores y espinas iliacas posterosuperiores. También se colocaron marcadores técnicos en el lateral de la pelvis (Galindo-Martínez, López-Valenciano, Albaladejo-García, Vallés-González y Elvira, 2021). Los marcadores de las espinas iliacas anterosuperiores actuaron como marcadores de calibración para localizar el centro articular de la cadera. Se registraron 15 s en el tramo final de la prueba, mientras los participantes mantenían una frecuencia de pedaleo de 90 rpm. Se descartaron las dos primeras pedaladas y se utilizaron las 10 siguientes para el análisis.

Tratamiento de datos

En la prueba dinamométrica de fuerza de extensores y flexores de tronco, se obtuvo el pico de torque en cada una de las series, acotando el análisis exclusivamente a la ventana de contracción isocinética, eliminando las fases de frenado y aceleración. A posteriori, se escogió el valor máximo de pico de torque encontrado entre las 3 repeticiones realizadas.

Para cuantificar el control postural del tronco en el test de estabilidad sedente, se calculó el error radial medio (ERM) del CoP directo hasta el objetivo y por separado en el eje ML y AP, mediante el error medio cuadrático (RMSE) (Chai y Draxler, 2014). De los 70 s totales, únicamente se analizaron 60 s, eliminando los 10 s primeros para evitar los efectos de la no estacionariedad presente en la puesta en marcha de la prueba (van Dieën, Koppes y Twisk, 2010).

Para el test de UPF se extrajo la potencia media obtenida por el rodillo Wahoo® KICKR PowerTrainer durante todo el test y se multiplicó por 0.95 para calcular la potencia crítica (Allen y col., 2019). Esta PC se normalizó respecto a la masa, ya que este valor es importante como referencia en el rendimiento final en el ciclismo, llamado potencia/kilo (Fornasiero, Savoldelli, Modena, Boccia, Pellegrini y Schena, 2018).

Respecto a la cinemática, se eligieron como variables representativas del *core* la posición media de flexión de la zona lumbar (flexión en signo positivo) y de inclinación AP del segmento tórax (inclinación posterior signo positivo). También se midió el rango de inclinación lateral a derecha e izquierda, tanto del segmento tórax como del segmento pelvis, durante las 10 pedaladas analizadas. No se pudieron tratar los datos de 10 participantes (5 de carretera, 4 de *mountain bike* y 1 de triatlón) ya que fue imposible la reconstrucción del modelo cinemático, principalmente por pérdida de marcadores, lo que disminuyó la muestra analizada en las variables cinemáticas de tronco.

Análisis estadístico

Se comprobó si las variables seguían una distribución normal mediante el test de Shapiro-Wilk, y se describió la muestra a través de su media y desviación estándar. Gran parte de las variables no seguían una distribución normal, por tanto, se decidió realizar una prueba estadística no paramétrica, la H de Kruskal-Wallis, para comparar entre grupos. También se calculó el tamaño del efecto mediante la g de Hedges, que reduce el sesgo por el bajo número de sujetos. El intervalo de confianza al 95% (Nakagawa y Cuthill, 2007) se utilizó como prueba *post hoc* entre pares, determinando como significativamente diferente si el intervalo no cruza el cero. Se utilizó el criterio de categorización del tamaño del efecto de Hopkins, Marshall, Batterham y Hanin (2009): menos de 0.2 pequeño, 0.6 moderado, 1.20 grande, 2.0 muy grande y mayor de 4.0 extremadamente grande.

Para observar la relación entre las variables de rendimiento (PC y PC relativa) con las variables del tronco extraídas de cada test, se realizaron correlaciones bivariadas con el coeficiente de correlación de Spearman. Se fijó el nivel de significación α en 0.05, y se aplicó la corrección de Bonferroni para corregir el riesgo de cometer errores tipo I por las múltiples comparaciones. Se utilizó la siguiente categorización para clasificar el tamaño de la correlación: menos de 0.1 pequeña, 0.3 moderada, 0.5 grande, 0.7 muy grande y mayor de 0.9 extremadamente grande (Hopkins y col., 2009).

Resultados

Los datos descriptivos de las distintas pruebas realizadas, así como sus comparaciones estadísticas entre grupos se presentan en la Tabla 2. En la Figura 3 se muestra el análisis *post hoc* de las comparativas por pares de grupos mediante el tamaño del efecto con sus límites de confianza al 95%. En las comparaciones entre las diferentes disciplinas de ciclismo, se encontraron diferencias significativas en el test de estabilidad sedente CC tanto en el ERM ($p=0.03$), como en el RMSE en el eje AP ($p=0.03$), que corresponde a un mejor rendimiento en el test en el grupo de *mountain bike*. También se muestra una diferencia significativa en la inclinación anterior torácica ($p=0.01$) (mayor inclinación anterior en el grupo de carretera) y en el rango de inclinación lateral torácica ($p=0.04$) (mayor rango en el grupo de triatlón).

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las pruebas realizadas de fuerza de tronco, estabilidad sedente, test de Umbral de Potencia Funcional y la comparación entre grupos mediante la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis.

	Todos (n=30)	Carretera (n=9)	Mountain bike (n=10)	Triatlón (n=11)	H	p
Rendimiento ciclista						
PC absoluta (W)	227.0 ± 53.3	255.0 ± 50.8	214.0 ± 53.1	207.2 ± 46.6	4.73	0.09
PC relativa (W/kg)	3.3 ± 0.7	3.4 ± 0.8	3.3 ± 0.4	3.1 ± 0.8	1.20	0.55
Dinamometría isocinética						
PT extensores (N·m)	225.8 ± 45.8	216.6 ± 48.1	239.3 ± 35.2	221.9 ± 54.4	1.56	0.46
PT flexores (N·m)	134.9 ± 30.2	144 ± 30	128.5 ± 24.3	130.9 ± 36.6	1.65	0.44
Asiento inestable						
CC ERM (mm)	8.5 ± 2.6	9.1 ± 2.6	7.2 ± 1.9	9.3 ± 3.1	7.97	0.03*
RMSE _{AP} (mm)	7.8 ± 2.4	7.9 ± 2.6	5.6 ± 1.4	7.7 ± 2.5	6.97	0.03*
RMSE _{ML} (mm)	6.7 ± 2.3	6.8 ± 2.3	5.9 ± 2.0	7.4 ± 2.5	4.01	0.13
AP ERM (mm)	8.8 ± 2.3	9.1 ± 1.9	7.7 ± 1.3	9.7 ± 3.1	3.46	0.18
RMSE _{AP} (mm)	8.9 ± 2.3	9.3 ± 2.1	7.7 ± 1.4	9.8 ± 2.8	3.46	0.18
ML ERM (mm)	9.2 ± 2.3	9.9 ± 1.3	8.5 ± 1.3	10.0 ± 3.5	3.46	0.18
RMSE _{ML} (mm)	9.1 ± 2.0	9.2 ± 1.6	8.3 ± 1.3	9.7 ± 2.8	1.87	0.39
Cinemática						
Flexión lumbar (°)	19.3 ± 5.4	21.9 ± 5.5	18.0 ± 6.4	19.1 ± 3.9	1.39	0.5
Inclinación AP torácica (°)	-80.5 ± 8.4	-91.5 ± 4.6	-75.8 ± 5.9	-78.7 ± 6.2	9.89	0.01*
Rango inclinación pélvica (°)	8.4 ± 2.2	7.6 ± 2.7	9.0 ± 2.1	8.0 ± 2.0	2.47	0.29
Rango inclinación torácica (°)	13.8 ± 6.1	11.2 ± 5.4	12.3 ± 2.7	17.6 ± 8.2	6.41	0.04*

CC: Circular; AP: Anteroposterior; ML: Mediolateral; PC: Potencia Crítica; PT: Pico de Torque; ERM: Error Radial Medio; RMSE: Raíz Media Cuadrática. *Diferencia significativa $p<0.05$.

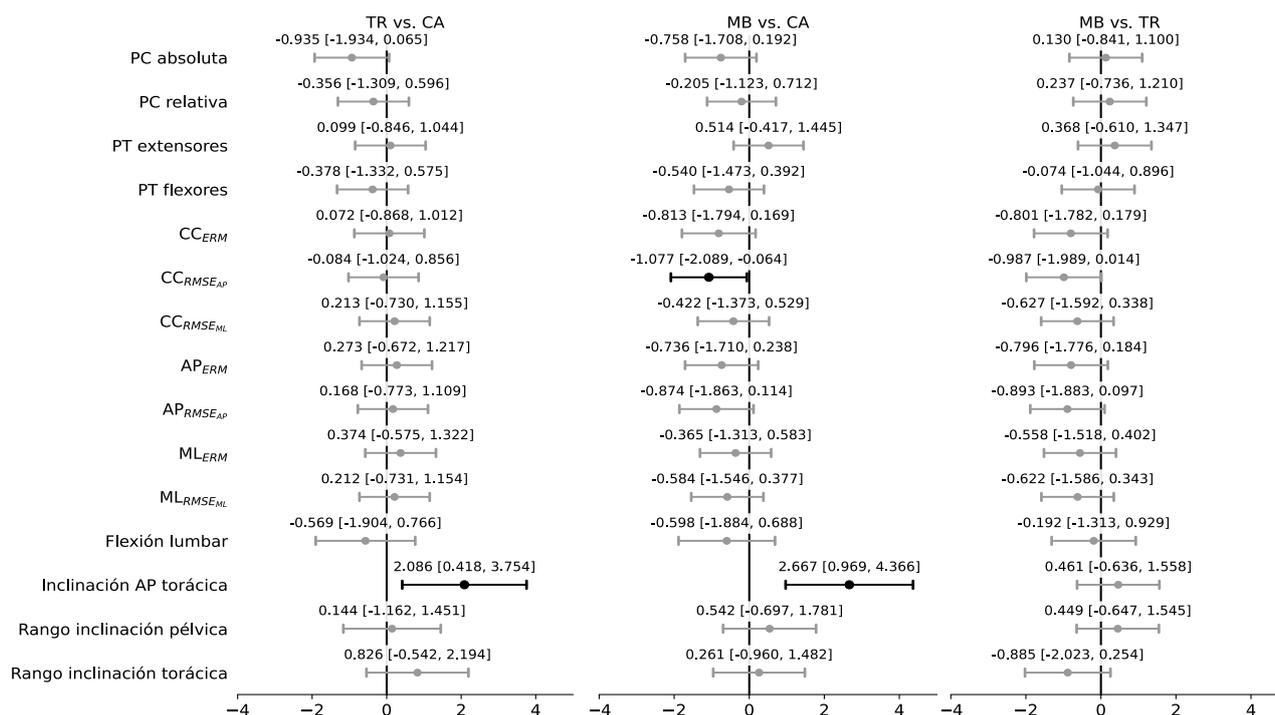


Figura 3. Diagrama de árboles donde se muestra el tamaño del efecto comparando entre las disciplinas ciclistas. CA: Carretera; TR: Triatlón; MB: *Mountain bike*; AP: Anteroposterior; ML: Medio lateral; CC: Circular; ERM: Error radial medio; RMSE: Error medio cuadrático; PC: Potencia Crítica; PT: Pico de Torque.

Respecto al análisis de las correlaciones bivariadas, no se halló ninguna correlación entre los valores de flexo-extensión de tronco y los valores de la prueba UPF (ni en valores absolutos ni relativos) (Tabla 3). La correlación entre la PC y el pico de torque fue pequeña a nivel grupal y analizando por separado cada una de las disciplinas estudiadas.

En cuanto a la relación entre la PC y la cinemática, se hallaron correlaciones significativas entre la PC relativa y la inclinación anterior torácica ($r=-0.59$ $p=0.008$), relacionando una mayor flexión anterior torácica con una mayor producción de PC. Al analizar por disciplinas también se encontraron relaciones significativas entre la inclinación anterior torácica y la PC relativa en *mountain bike* ($r=-0.94$, $p=0.005$). En la disciplina de carretera, se encontró una correlación significativa entre la PC absoluta y la flexión lumbar ($r=1$, $p<0.001$), así como en triatlón se halló una correlación significativa entre la PC absoluta y la flexión lumbar ($r=-0.83$, $p=0.005$) (Tabla 3). Sin embargo, estas últimas correlaciones habría que tomarlas con cautela por el bajo número de participantes, especialmente en los grupos de carretera y *mountain bike*.

Tabla 3. Correlaciones bivariadas en la potencia crítica (absoluta y relativa) con el pico de torque de la musculatura del tronco (flexores y extensores) y con la cinemática de la región raquídea y pélvica.

	Todos (n=20)		Carretera (n=4)		<i>Mountain bike</i> (n=6)		Triatlón (n=10)	
	Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel	Abs	Rel
Potencia Crítica								
Pico de Torque								
Extensión	.06	-.02	-.13	-.10	.50	.25	.43	.28
Flexión	-.03	-.03	.12	-.18	-.24	-.30	.02	-.55
Cinemática								
Rango Inclinación Pélvica	-.15	-.07	-.80	.00	-.09	-.31	.01	.09
Rango Inclinación Torácica	-.28	-.17	.00	-.20	-.48	.37	-.20	.12
Flexión Lumbar	-.21	-.10	.99*	.40	-.14	-.26	-.83*	-.28
Inclinación AP Torácica	-.39	-.59*	-.20	.80	-.60	-.94*	.73	-.27

Abs; Absoluta; Rel: Relativa. *Relación significativa $p < 0.008$.

En la Tabla 4 se muestra la correlación existente entre las variables cinemáticas y las de fuerza y de estabilidad sedente, sin diferenciar entre las tres disciplinas. No se observaron relaciones significativas entre estas variables cinemáticas y la fuerza, ni entre las variables cinemáticas y la estabilidad sedente. Por otro lado, en la Tabla 5 se muestra la correlación entre la PC (absoluta y relativa) y el ERM y el RMSE (en dirección AP y ML), en todas las disciplinas y en cada una de ellas por separado. Tampoco se encontraron relaciones significativas entre la estabilidad sedente y la PC.

Tabla 4. Correlaciones bivariadas en la cinemática de la región raquídea y pélvica con la prueba de estabilidad sedente y con el pico de torque de la musculatura del tronco (flexores y extensores).

Cinemática	Estabilidad Sedente (n=20)			Pico de Torque (n=20)	
	AP _{ERM}	ML _{ERM}	CC _{ERM}	Flexores	Exensores
Rango Inclinación Pélvica	-.48	-.11	-.38	.26	-.31
Rango Inclinación Torácica	-.65	-.33	-.66	-.08	-.34
Flexión Lumbar	-.05	-.28	-.13	.18	-.48
Inclinación AP Torácica	-.13	.08	-.27	.03	-.08

*Relación significativa $p < 0.01$.

Tabla 5. Correlaciones bivariadas entre la prueba de estabilidad sedente y la potencia crítica (absoluta y relativa).

	Todos (n=30)			Carretera (n=9)			<i>Mountain bike</i> (n=10)			Triatlón (n=11)		
	AP	ML	CC	AP	ML	CC	AP	ML	CC	AP	ML	CC
RMSE ML												
PC _{Abs}	.10	.35	.18	.25	-.20	-.07	-.32	.30	-.27	.45	.54	.51
PC _{Rel}	-.15	.08	-.13	-.07	-.33	-.45	-.32	.12	-.25	.26	.27	.33
RMSE AP												
PC _{Abs}	.10	.17	.26	-.13	.20	.15	-.20	.22	-.27	.41	.50	.41
PC _{Rel}	-.23	.13	-.05	-.48	.08	-.03	-.13	.22	-.27	-.07	.51	.16
ERM												
PC _{Abs}	.13	.35	.32	-.03	-.17	.02	-.17	.25	-.17	.44	.71	.43
PC _{Rel}	-.20	.13	-.03	-.40	-.28	-.27	-.15	.12	-.17	-.03	.45	-.05

PC_{Abs}: Potencia Crítica absoluta; PC_{Rel}: Potencia Crítica relativa; AP: Anteroposterior; CC: Circular; ML: Mediolateral; RMSE: Error Medio Cuadrático; ERM: Error Radial Medio. *Relación significativa p<0.008

Discusión

El primer objetivo de este trabajo fue describir a diferentes disciplinas ciclistas en relación a diferentes variables de tronco. El principal hallazgo en este sentido es que se muestran diferentes adaptaciones según la disciplina ciclista practicada. Así, los ciclistas de *mountain bike* mostraron un mejor rendimiento en el test de estabilidad sedente circular con respecto a los otros dos grupos. Así mismo, los ciclistas de carretera manifestaron un menor rango de inclinación lateral y mayor inclinación anterior para el grupo de carretera, confirmando que la cinemática del tronco puede ser diferente según la disciplina ciclista (Muyor y Zabala, 2015).

En la prueba circular del asiento inestable, los ciclistas de *mountain bike* mostraron mejores resultados que el resto de las disciplinas estudiadas, concretamente con valores menores de ERM y RMSE en el eje AP. Esto puede deberse a las características propias de la disciplina, que implica un mayor número de perturbaciones impredecibles debidas a las irregularidades del terreno producidas durante la práctica del *mountain bike* (Macdermid, Fink y Stannard, 2015), lo que hace que las estructuras del tren superior y tronco estén mejor adaptadas para la estabilización en situaciones de inestabilidad. En otros estudios también coinciden en que el test circular parece ser el más discriminante según el nivel de rendimiento deportivo (Juan-Recio, Barbado, López-Valenciano, López-Plaza, Montero-Carretero y Vera-García, 2013). En las variables de fuerza del tronco no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tres grupos estudiados.

El segundo objetivo de este estudio fue analizar la relación entre la estabilidad de tronco, la fuerza de extensores y flexores de tronco, el movimiento de las estructuras raquídeas durante el pedaleo y la producción de potencia en un test de UPF de 20 min. En este caso, no se encontraron correlaciones significativas entre las variables de fuerza y la potencia crítica, lo que está en consonancia con estudios previos (Meuwissen, 2016; Park y Seo, 2020), ni entre la estabilidad sedente y la PC.

En el análisis de correlaciones entre las variables analíticas de tronco (fuerza y estabilidad), y la cinemática durante el pedaleo, no se encontraron relaciones significativas. Sin embargo, sí que se halló una correlación significativa entre la PC relativa y la inclinación anterior torácica ($r=-0.59$), que indica que aquellos ciclistas con mayor rendimiento relativo al peso en el test de UPF mantenían una mayor inclinación anterior. Así mismo, los grupos de ciclismo de carretera y triatlón mostraron una correlación significativa entre la flexión lumbar y la PC absoluta ($r=0.99$; $r=-0.83$, respectivamente). Por otro lado, el grupo de *mountain bike* reveló una correlación entre la inclinación anterior torácica y la PC relativa ($r=-0.94$). Todas estas relaciones indican que aquellos ciclistas de mayor rendimiento tienden a producir unas adaptaciones a nivel raquídeo (lumbar y torácico) y pélvico que les permita adaptarse a las demandas de entrenamiento y competición para optimizar el rendimiento (Muyor, López-Miñarro y Alacid, 2011). Se podría sugerir que los ciclistas de carretera o triatlón tienden a adoptar posiciones específicas con mayor o menor flexión lumbar para desarrollar más potencia o mejorar el coeficiente aerodinámico (Ferrer-Roca, 2015), a diferencia de los deportistas de *mountain bike* en los que no es tan relevante la posición. En cualquier caso, estos resultados intragrupo hay que tomarlos con cautela debido al bajo número de participantes con datos cinemáticos, especialmente en los grupos de carretera y *mountain bike*.

Tampoco se hallaron correlaciones significativas entre los valores de torque máximo, tanto en extensores como en flexores, y la PC. Por su parte, Meuwissen (2016) encontró una correlación moderada ($r=0.441$), pero no significativa, entre la potencia media en un test de Wingate y la potencia de flexores de tronco en el test FAPT, al igual que entre el test de 3.2 km en ciclismo y el test FAPT ($r=-0.505$). Así mismo, la correlación entre la resistencia de tronco valorada mediante el ACSM *crunch* test y el test Wingate fue pequeña ($r=-0.209$), así como con el test de 3.2 km ($r=0.073$). Por otro lado, Park y Seo (2020) tampoco encontraron relación entre aquellos ciclistas que producían más potencia en un test de Wingate y la fuerza en flexores y extensores de tronco. Por el contrario, Park y col. (2019) sí encontraron una relación entre el rendimiento ciclista, valorado con el test de Wingate, y la fuerza en extensores y flexores de tronco.

Por tanto, la musculatura del tronco muestra poca aportación en la producción de potencia en ciclismo en test de media-larga duración, y parece que este papel a la hora de producir potencia lo tiene principalmente la musculatura del tren inferior, especialmente la musculatura de las articulaciones de cadera y rodilla (Martin y Brown, 2009; Rannama y col., 2013). Así, la función de la musculatura del tronco quedaría destinada a estabilizar tanto el tronco como el tren inferior, más que a producir potencia sobre los pedales (Abt y col., 2007). Sin embargo, la duración del test específico de ciclismo puede ser un factor a tener también en cuenta cuando se relacionan variables de fuerza máxima o potencia con el rendimiento ciclista. Por ejemplo, Meuwissen (2016) observó cómo tras fatigar la musculatura del tronco mediante una sesión focalizada en esta musculatura, los ciclistas reducían la potencia ejercida en un test de 30 s máximo, sin embargo, no disminuía en un test de 3.2 km. Abt y col. (2007) tampoco hallaron diferencias de potencia en un test incremental tras fatigar la musculatura del tronco. Por ello, se podría remarcar que el tronco sí tiene cierta influencia en la producción de potencia en test de corta duración y no en media-larga duración, siendo necesarios otros test más específicos de resistencia del tronco para conocer el comportamiento en disciplinas ciclistas de larga duración (Meuwissen, 2016; Wiseman, 2013).

Respecto a las correlaciones de la estabilidad de tronco y potencia no se detectaron asociaciones significativas. Se podía esperar una correlación entre ambas variables, ya que un tronco más estable debería transferir la energía de manera más eficiente (Asplund y Ross, 2010), sin embargo, no se ha demostrado en este estudio, quizá porque el *core* no tenga tanta importancia

en un test que se realiza sentado sobre el sillín, mientras que pedalear de pie a una intensidad máxima si ha demostrado un aumento de la activación de la musculatura estabilizadora del tronco en el ciclismo (Juker, McGill y Kropf, 1998). En este sentido, diferentes estudios han intentado explicar o establecer relaciones entre estabilidad y rendimiento en el ciclismo. Nualpech y col. (2019) observaron que una mejora en la estabilidad del tronco, tras una intervención de fuerza máxima al 75% del RM focalizada en el tronco, producía una mejora en la producción de potencia. Rannama y col. (2017) observaron cómo el test *Functional Movement Screen*, que describe en gran parte la estabilidad del *core*, tenía una buena relación con la oscilación producida en la bicicleta. Así mismo, Abt y col. (2007) observaron cómo un aumento en la fatiga de la musculatura del tronco podía aumentar la inestabilidad, como consecuencia de desalineaciones en el tren inferior, lo cual podría llevar a una reducción en la eficiencia del pedaleo. Quizá en el ciclismo sea menos importante el papel estabilizador del tronco que en otras disciplinas deportivas, ya que en ciclismo se cuenta con tres puntos de apoyo (manillar, sillín y pedales) y las perturbaciones recibidas pueden ser absorbidas por otras estructuras. Por ello, es necesario crear test específicos para valorar el rendimiento y su influencia en las distintas disciplinas deportivas (Barbado y col., 2016).

Entre las limitaciones de este estudio cabe destacar la heterogeneidad de la muestra dentro de cada disciplina, ya que, a pesar de mostrar una normalidad estadística en cuanto a la PC, los ciclistas tenían niveles de rendimiento diferentes. Además, dentro de la misma disciplina de carretera existen muchos tipos de corredor (escalador, contrarrelojista, esprintero), lo cual podría influir en los resultados. Por otro lado, a pesar del elevado número de variables analizadas y ciclistas valorados, subdividir la muestra por disciplinas ha reducido el número de ciclistas de manera considerable, especialmente en las variables relacionadas con la cinemática. Por último, los test de laboratorio utilizados son poco funcionales para que un entrenador evalúe en el día a día a sus ciclistas y deberían ser más específicos de la disciplina que se está evaluando, es decir, se necesitan más test de campo válidos y fiables que nos permitan establecer este tipo de relaciones (Barbado y col., 2016; Nikolenko, Brown, Coburn, Spiering y Tran, 2011). En este sentido, la realización de una prueba en rodillo puede presentar algunas limitaciones de ecología, puesto que en el ciclismo siempre existirán fases del pedaleo sin aplicación de fuerza efectiva o exigen de cierto equilibrio dinámico que están exentos en el rodillo.

A pesar de ello, es importante recalcar que este estudio es el primero hasta la fecha que analiza y correlaciona tantas variables de tronco con el rendimiento ciclista, y que los resultados obtenidos dan información muy valiosa para realizar una prescripción de ejercicio físico adaptada a las necesidades y demandas de cada disciplina deportiva.

Conclusiones

Los ciclistas de *mountain bike* presentan mejores niveles de estabilidad sedente que el resto de las disciplinas, los ciclistas de carretera muestran una mayor flexión anterior torácica y los triatletas un mayor rango de inclinación lateral torácica. Por otro lado, no se encontraron relaciones entre la fuerza de tronco y la estabilidad sedente con la capacidad de producir potencia en un test de UPF en ciclistas amateurs, aunque sí una mayor inclinación anterior torácica en aquellos de mayor producción de potencia. Por tanto, es necesario un mayor número de estudios que aporten más información sobre las variables o pruebas relacionadas con el *core* y el rendimiento.

A nivel práctico, este estudio nos permite establecer unas pautas de entrenamiento complementario específicas por disciplina o deporte. Así, los ciclistas de montaña deberían centrar su entrenamiento en la mejora del *core stability*, es decir, deben estar preparados a responder adecuadamente ante perturbaciones inesperadas, aspecto que se puede conseguir con un entrenamiento con elementos desestabilizadores del equilibrio del tronco. Por su parte, los ciclistas de carretera deberían focalizar su entrenamiento en mejorar su inclinación anterior torácica, ya que esta es una diferencia en la cinemática respecto a las otras disciplinas. En este caso, se puede conseguir tanto con trabajo de movilidad como con trabajo de resistencia y fuerza del tronco. Sin embargo, esto no quiere decir que el resto de las habilidades de *core* no deban entrenarse, si no que deberían tener un peso menor en el proceso de entrenamiento, siempre y cuando no se detecten alteraciones o déficits específicos.

Referencias

- Abt, J. P.; Smoliga, J. M.; Brick, M. J.; Jolly, J. T.; Lephart, S. M., & Fu, F. (2007). Relationship between cycling mechanics and core stability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1300–1304. <https://doi.org/10.1519/R-21846.1>
- Allen, H.; Coogan, A., & McGregor, S. (2019). *Training and Racing with a Power Meter* (Third edition). USA: Velopress.
- Asplund, C., & Ross, M. (2010). Core stability and bicycling. *Current Sports Medicine Reports*, 9(3), 155–160. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181de0f91>
- Barbado, D.; Lopez-Valenciano, A.; Juan-Recio, C.; Montero-Carretero, C.; Van Dieën, J. H., & Vera-Garcia, F. J. (2016). Trunk stability, trunk strength and sport performance level in judo. *PLoS ONE*, 11(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156267>
- Bishop, D. (2003). Warm up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33(7), 483–498.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250.
- Chidley, J. B.; MacGregor, A. L.; Martin, C.; Arthur, C. A., & Macdonald, J. H. (2015). Characteristics explaining performance in downhill mountain biking. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(2), 183–190. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0135>
- Engelbrecht, L., & Terblanche, E. (2018). Physiological performance predictors in mountain bike multi-stage races. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(7–8), 951–956. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07139-0>
- Faria, E. W.; Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). Factors Affecting Performance – Part 2. *Sports Medicine*, 35(4), 313–337.
- Ferrer Roca, B. (2015). *Comparación de diferentes métodos de ajuste de la bicicleta en ciclistas entrenados: influencia de factores biomecánicos y energéticos*. Universidad de León.
- Figueiredo, P.; Marques, E. A., & Lepers, R. (2016). Changes in contributions of swimming, cycling, and running performances on overall triathlon performance over a 26-year 118 period. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2406–2415. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001335>

- Fintelman, D. M.; Sterling, M.; Hemida, H., & Li, F. (2014). Optimal cycling time trial position models: Aerodynamics versus power output and metabolic energy. *Journal of Biomechanics*, 47(8), 1894–1898. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.02.029>
- Fornasiero, A.; Savoldelli, A.; Modena, R.; Boccia, G.; Pellegrini, B., & Schena, F. (2018). Physiological and anthropometric characteristics of top-level youth cross-country cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 36(8), 901–906. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1346271>
- Galindo-Martínez, A.; López-Valenciano, A.; Albaladejo-García, C.; Vallés-González, J. M., & Elvira, J. L. L. (2021). Changes in the trunk and lower extremity kinematics due to fatigue can predispose to chronic injuries in cycling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph18073719>
- García-López, J.; Díez-Leal, S.; Ogueta-Alday, A.; Larrazabal, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2016). Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels. *Journal of Sports Sciences*, 34(17), 1619–1626. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1127987>
- García-Vaquero, M. P.; Barbado, D.; Juan-Recio, C.; López-Valenciano, A., & Vera-García, F. J. (2020). Isokinetic trunk flexion–extension protocol to assess trunk muscle strength and endurance: Reliability, learning effect, and sex differences. *Journal of Sport and Health Science*, 9(6), 692–701. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.08.011>
- Grabiner, M. D., & Jeziorowski, J. J. (1991). Isokinetic trunk extension and flexion strength–endurance relationships. *Clinical Biomechanics*, 6(2), 118–122. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(91\)90009-F](https://doi.org/10.1016/0268-0033(91)90009-F)
- Hill, D. W. (1993). The critical power concept. *Sports Medicine*, 16(4), 237-254.
- Hopkins, W.; Marshall, S.; Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3.
- Juan-Recio, C.; Barbado, D.; López-Valenciano, A.; López-Plaza, D.; Montero-Carretero, C., & Vera-García, F. J. (2013). Condición muscular y estabilidad del tronco en judocas de nivel nacional e internacional. *Revista de Artes Marciales Asiáticas*, 8(2).
- Juker, D.; McGill, S., & Kropf, P. (1998). Activity of Lumbar Portions of Psoas and the Abdominal Wall During Cycling. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 428–438.
- Korff, T.; Romer, L. M.; Mayhew, I., & Martin, J. C. (2007). Effect of pedaling technique on mechanical effectiveness and efficiency in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(6), 991–995. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318043a235>
- Martin, J. C., & Brown, N. A. T. (2009). Joint-specific power production and fatigue during maximal cycling. *Journal of Biomechanics*, 42(4), 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.11.015>
- Macdermid, P. W.; Fink, P. W., & Stannard, S. R. (2015). The Effects of Vibrations Experienced during Road vsOff-road Cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 36(10), 783–788. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398534>
- Menaspà, P.; Sias, M.; Bates, G., & La Torre, A. (2017). Demands of world cup competitions in elite women’s road cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1293–1296.

- Meuwissen, T. (2016). *The Abdominal Musculature and Cycling Performance* [Ithaca College, Ithaca, NY]. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000487120.85128.40>
- Muyor, J. M., & Zabala, M. (2015). Road Cycling and Mountain Biking Produces Adaptations on the Spine and Hamstring Extensibility. *International Journal of Sports Medicine*, 37(1), 43–49. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555861>
- Muyor, J. M.; López-Miñarro, P. A., & Alacid, F. (2011). Spinal posture of thoracic and lumbar spine and pelvic tilt in highly trained cyclists. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(2), 355.
- Nakagawa, S., & Cuthill, I. C. (2007). Effect size, confidence interval and statistical significance: A practical guide for biologists. *Biological Reviews*, 82(4), 591–605. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00027.x>
- Nikolenko, M.; Brown, L. E.; Coburn, J. W.; Spiering, B. A., & Tran, T. T. (2011). Relationship between core power and measures of sport performance. *Kinesiology*, 43(2), 163–168.
- Nualpech, W.; Chuensiri, N., & Suksom, D. (2019). Effects of additional core muscle training on cycling. *Journal of Sports Science and Health*, 20(3), 53–67.
- Park, J. H.; Kim, J. E.; Yoo, J. I.; Kim, Y. P.; Kim, E. H., & Seo, T. B. (2019). Comparison of maximum muscle strength and isokinetic knee and core muscle functions according to pedaling power difference of racing cyclist candidates. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(3), 401–406. <https://doi.org/10.12965/jer.1938180.090>
- Park, J. H., & Seo, T. B. (2020). Study on physical fitness factors affecting race-class of Korea racing cyclists. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 16(1), 96–100. <https://doi.org/10.12965/jer.1938738.369>
- Rannama, I.; Pedak, K.; Bazanov, B., & Port, K. (2017). Cycling specific postural stability during incremental exercise. The relationship with cyclists functional movement screen score. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(1), 83–95. <https://doi.org/10.14198/jhse.2017.121.07>
- Reed, C. A.; Ford, K. R.; Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2012). The effects of isolated and integrated “core stability” training on athletic performance measures: A systematic review. *Sports Medicine*, 42(8), 697–706. <https://doi.org/10.2165/11633450-000000000-00000>
- Rønnestad, B. R., & Hansen, J. (2018). A scientific approach to improve physiological capacity of an elite cyclist. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 390–393. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0228>
- Roth, R.; Donath, L.; Kurz, E.; Zahner, L., & Faude, O. (2017). Absolute and relative reliability of isokinetic and isometric trunk strength testing using the IsoMed-2000 dynamometer. *Physical Therapy in Sport*, 24, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.11.005>
- Stewart, A.; Marfell-Jones, M.; Olds, T., & De Ridder, J. (2011). *International Standards for Anthropometric Assessment*. In Potchefstroom, South Africa, ISAK.
- van Dieën, J. H.; Koppes, L. L. J., & Twisk, J. W. R. (2010). Low back pain history and postural sway in unstable sitting. *Spine*, 35(7), 812–817.
- Winter, D. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). USA: Wiley & Sons.

Wiseman, K. (2013). *An investigation into the effectiveness of core muscle strengthening on cycling performance in asymptomatic cyclists*. Masters' Degree in Technology, Chiropractic Durban University of Technology.

Zadow, E.; Fell, J., & Kitic, C. (2016). The reliability of a laboratory-based 4 km cycle time trial on a Wahoo KICKR power trainer. *Journal of Science and Cycling*, 5(3), 23–27.

Zatoń, M., & Dąbrowski, D. (2013). Differences in the direction of effort adaptation between mountain bikers and road cyclists. *Human Movement*, 14(2), 154–160. <https://doi.org/10.2478/humo-2013-0018>