



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**Requerimientos Fisiológicos y
Batería de Pruebas para Determinar
el Rendimiento en Ciclismo en Pista:
Revisión Sistemática.**

Alumno: Óscar Pastor Pastor

Tutor académico: Alejandro Javaloyes Torres

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Curso académico: 2020 -2021

ÍNDICE

1. CONTEXTUALIZACIÓN	3
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1. Búsqueda de literatura.....	7
2.2. Criterios de elegibilidad.....	7
2.3. Criterios de exclusión	7
2.4. Selección de estudios	7
2.5. Resultado.....	7
3. DESARROLLO	9
4. DISCUSIÓN.....	19
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	22
6. BIBLIOGRAFÍA.....	24



1. CONTEXTUALIZACIÓN

Dentro del ciclismo en pista, la faceta del entrenamiento y rendimiento deportivo se verá condicionada a individualizarse debido a que hay una multitud de pruebas a disputar que difieren en longitud y en dinámica de competición, clasificándose en pruebas de velocidad y pruebas de fondo (Jeukendrup, Craig & Hawley, 2000).

Las pruebas cronometradas de corta longitud como la velocidad por equipos, el kilómetro o los 200 metros tienen un carácter de máximo de esfuerzo (all-out) donde el objetivo principal es cubrir la distancia en el menor tiempo posible (de Koning, Bobbert & Foster, 1999). En la persecución individual, la persecución por equipos y el récord de la hora, se mantendrá ese carácter de máximo esfuerzo, aunque debido a su mayor duración, los corredores adoptaran diferentes estrategias de ritmo, manteniendo el objetivo siempre de hacer el menor tiempo posible (Atkinson, Peacock, Gibson & Tucker, 2007). En cambio, el resto de pruebas fluctuará el esfuerzo implicado según sea el transcurso de la competición, dado que en este caso entra en juego las decisiones tácticas del resto de competidores (Ofoghi, Zeleznikow, Dwyer & Macmahon, 2013). Las dinámicas de cada competición van a venir determinadas por los siguientes aspectos: los esprints puntuables situados durante el transcurso del evento como puede ser en la madison, la puntuación o el tempo; una eliminación del último corredor al paso por la línea de meta como es en la eliminación; el ritmo impuesto por un vehículo motorizado como es en el keirin; el orden de salida obtenido tras un sorteo previo a los enfrentamientos en la velocidad individual; y por la disputa que conlleva poder beneficiarse del rebufo o corrientes de aire generadas por el que lidera (Unión Ciclista Internacional, 2021a).

Debido a estas grandes diferencias entre pruebas, las vías energéticas más predominantes o más determinantes cambiarán en relación con la duración del esfuerzo realizado como por ejemplo en la prueba de 200 metros esprint la contribución energética del sistema aeróbico tanto en varones como en mujeres solo llega a suponer un 5% del total, mientras que en la prueba del récord de hora el aporte energético de dicha vía supone para ambos sexos más del 95% del total durante la prueba (Tabla 1). En la Tabla 2 junto con la Tabla 1 se puede observar como a medida que se aumenta la duración de la prueba, la contribución aeróbica tiene una mayor presencia.

Tabla 1. Contribución de sistemas energéticos en %

Evento	Contribución aláctica	Contribución anaeróbica glucolítica	Contribución aeróbica
200 m M	40	55	5
200 m F	40	55	5
1 km M	10	40	50
500 m F	20	45	35
Persecución I M	1	14	85
Persecución I F	1	24	75
Persecución E M	1	24	75
Récord hora M	<1	4	>95
Récord hora F	<1	4	>95

Nota: E: equipos; F: femenino/a; I: individual; km: kilómetro; M: masculino/a; m: metros.

Fuente: adaptado de Jeukendrup et al. (2000).

Es importante destacar la diferencia que supone ser un ciclista que disputa pruebas más cortas (velocistas) a ciclistas que realizan esfuerzos más largos (fondistas), donde el trabajo de

preparación de los primeros se verá más centrado en el componente anaeróbico, por ejemplo trabajando la fuerza máxima y fuerza explosiva (Stone et al., 2004), mientras que el trabajo de los ciclistas de pruebas de fondo mantendrán una disciplina de entrenamiento basada en el trabajo en carretera, trabajando en mayor medida el componente aeróbico con altos volúmenes, como realizaron las selecciones australiana y británica, referentes a nivel mundial en este deporte, para luego hacer una puesta a punto final específica de alta intensidad, esta vez ya en pista, durante los 8 días previos a la competición de los JJOO de 2000, 2004 y 2008 (Jeukendrup et al., 2000; Laursen, 2010).

Respecto a los factores que participan en la consecución del resultado pueden ser la biomecánica del movimiento y su rendimiento que se verá afectada según los ajustes en las medidas sobre los 3 puntos de apoyo en la bicicleta (manillar, sillín y pedales), sabiendo que el movimiento de un segmento influye en el movimiento de los demás segmentos de la cadena (Abt et al., 2017; Borghuis, Hof & Lemmink, 2008; Muyor & Zabala, 2016) y la aerodinámica, entendiendo al ciclista y a la bicicleta como un uno, donde a velocidades superiores a 30 km/h representa más del 90% de la resistencia a vencer y yendo a velocidades superiores a 50 km/h se posiciona como el primer factor determinante en el rendimiento (Kyle, 1988); la nutrición, aspecto muy importante debido a las restricciones técnicas de no poder llevar bidones con líquidos en carrera, la alta demanda de carbohidratos como sustento energético debido al alto tiempo situado por encima del umbral individual de lactato (Richard & Koehle, 2019); la estrategia adoptada como puede ser en las pruebas cronometradas sabiendo por ejemplo como en la persecución por equipos, el ciclista que lidera realiza una media de 600 W respecto a las otras 3 posiciones realizando una media de entre 430 W y 390 W a nivel élite mundial (Broker, Kyle & Burke, 1999; Jeukendrup et al., 2000), u optar por hacer relevos más cortos para una mejora en el tiempo final (Sigrist, Maier & Faiss, 2017); aspectos psicológicos como la motivación, que afecta directamente sobre los procesos de la actividad deportiva por ejemplo en la respuesta al ejercicio o en los esfuerzos fuertes de manera voluntaria (Zalikhanova, Kovylin & Sopov, 2015); o aspectos técnicos que posibilitaran un menor gasto energético realizando los relevos con mayor rapidez en la persecución por equipos y dejando espacios más reducidos entre corredores (Craig & Norton, 2001; Faria, 1992; Sigrist, Maier & Faiss, 2017). Por último, el perfil fisiológico del deportista, dado que determinará un mejor desempeño según en el tipo de prueba en que se encuentre, por lo que es necesario evaluar debidamente a la persona para elegir la prueba o deporte que mejor se le ajuste como también adecuar el entrenamiento de cara a trabajar por un objetivo (Maestu & Jurimae, 2000).

Para determinar un perfil fisiológico se necesita evaluar las variables fisiológicas que se deben de tener en cuenta para el rendimiento deportivo como pueden ser en ciclismo el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), el umbral de lactato (LT), la economía de movimiento, eficiencia mecánica bruta en el ciclismo en pista, ciertas cinéticas de consumo de oxígeno y el grado de capilarización del músculo (Atkinson et al., 2007; Jeukendrup et al., 2000). Un aspecto importante es la diferenciación del tipo de fibras dado que a una mayor proporción de fibras tipo 1 hará ser más eficiente beneficiando a los ciclistas de resistencia (Jeukendrup et al., 2000), o una mayor proporción de fibras tipo 2 para generar una mayor fuerza máxima, siendo más beneficioso para los velocistas (Stone et al., 2004). El factor clave en el rendimiento en resistencia es la potencia crítica (CP), siendo la potencia más alta posible mantenida en ciclismo y considerándose un importante parámetro aeróbico para predecir la actuación (Bassett & Howley, 2000; Housh, Housh & Bauge, 1989; Okuno et al., 2011; Pepper, Housh & Johnson, 1992). En cambio, para un velocista nos encontramos la fuerza máxima, la potencia desarrollada y el desarrollo del pico de índice de fuerza como factores más importantes (Stone et al., 2004).

Cuando se realicen pruebas o test a los deportistas, se deben de realizar siempre que vayan a aportar datos de utilidad tanto para la periodización del entrenamiento como para poder estimar o predecir una actuación antes de una competición, por lo que se debe de ser

específico en la elección de la prueba buscando la transferibilidad de los datos (Paton & Hopkins, 2001). Las pruebas de laboratorio, las cuales son la mejor opción para evaluar el rendimiento en jóvenes ciclistas comparándolas con los test en pista (Nimmerichter & Williams, 2015), han sido usadas constantemente por entrenadores y científicos del deporte para dar con los aspectos fisiológicos clave para prescribir e implementar la intensidad de entrenamiento, para monitorizar la efectividad del programa de entrenamiento como también para la identificación de talentos (Jobson, Passfield, Atkinson, Barton & Scarf, 2009; Nimmerichter, Eston, Bachi & Williams, 2011). Un ejemplo de ello es el uso del cicloergómetro Wattbike® por la Federación Británica de Ciclismo para la identificación de jóvenes promesas (Nimmerichter & Williams, 2015). Sobre una bicicleta o un cicloergómetro encontraremos una variedad de pruebas posibles a realizar clasificándose en 6 tipos (Paton & Hopkins, 2001):

- Pruebas de trabajo constante o contrarrelojes donde el objetivo principal será completar una distancia o un trabajo determinado tan rápido como sea posible.
- Pruebas de duración constante tratándose de realizar una mayor distancia o trabajo en un tiempo determinado.
- Pruebas de potencia constante con el objetivo de mantener una potencia determinada hasta estar exhausto.
- Pruebas incrementales para el pico de potencia o el consumo de oxígeno donde se completa una serie de escalones hasta llegar al máximo esfuerzo.
- Pruebas incrementales para el umbral anaeróbico con el ciclista realizando series de potencia constante incrementándose la intensidad y detectando los cambios en la concentración de lactato.
- Pruebas de potencia crítica con unas determinadas series de potencia y carga o duración constante a diferentes intensidades, consiguiendo obtener la capacidad anaeróbica de trabajo y la potencia aeróbica máxima.

Por lo tanto y dada la importancia de las pruebas de evaluación y de la determinación del perfil fisiológico en ciclismo en pista, el objetivo de este trabajo final de grado es realizar una revisión sistemática para determinar los requerimientos fisiológicos según las características de las competiciones, a la vez que aunar las distintas pruebas que se puedan realizar con ciclistas de pista con el objetivo de evaluar y determinar el rendimiento.

Tabla 2. Pruebas de velocidad y fondo más importantes del ciclismo en pista y récords actuales

Nombre de la prueba	Distancia categoría masculina	Tiempo CM Élite 2020	Récord mundial	Distancia categoría femenina	Tiempo CM Élite 2020	Récord mundial
200 metros lanzados	0,200 km	9"253	9"100	0,200 km	10"364	10"154
Velocidad individual (últimos 200 metros cronometrados)	0,750 km	9"691	-	0,750 km	10"906	-
Velocidad por equipos	0,750 km	41"225	41"225	0,500 km	32"163	32"034
Keirin (últimos 200 metros cronometrados)	0,625 km	9"861	-	0,625 km	11"121	-
1 km / 500 metros	1 km	59"495	56"303	0,500 km	33"121	32"268
Persecución individual	4 km	4'03"871	4'01"934	3 km	3'16"937	3'16"937
Persecución por equipos	4 km	3'44"672	3'44"672	4 km	4'11"235	4'10"236
Scratch	15 km	16'59"000	-	10 km	12'51"000	-
Puntuación	40 km	45'53"000	-	25 km	30'24"000	-
Ómnium	Scratch (10 km) + Tempo (10 km) + Eliminación + Puntuación (25 km) en una jornada	Tiempo no registrado + 10'26"000 + 14'15"000 + 27'29"000	-	Scratch (7,5 km) + Tempo (7,5 km) + Eliminación + Puntuación (20 km) en una jornada	9'18"000 + 8'43"000 + 14'14"000 + 24'41"000	-
Madison	50 km	51'03"000	-	30 km	35'21"000	-
Récord de la hora	Distancia recorrida durante 1 hora de forma individual	-	55,089 km	Distancia recorrida durante 1 hora de forma individual	-	48,007 km

Nota: CM: campeón/a del mundo; km: kilómetros. Fuente: elaboración propia con base en datos en Tissot timing (2020) y Unión Ciclista Internacional (2021b).

2. METODOLOGÍA

2.1. Búsqueda de literatura

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos PubMed, Scopus y SPORTDiscus durante diciembre de 2020 y se monitorizaron los resultados hasta febrero de 2021 con el fin de detectar publicaciones recientes. Estas búsquedas se complementaron con la revisión de las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados y encontrados en las bases de datos con tal de observar si hubiese algún artículo no incluido en la búsqueda inicial. Se siguió la siguiente estrategia de búsqueda, adaptándose a cada base de datos: (cyclist* OR cycling OR bike*) AND (track OR velodrome) AND (test* OR perform*) NOT (patholog* OR injur*), estando presentes los campos de búsqueda de título, resumen y/o palabras claves de los artículos.

2.2. Criterios de elegibilidad

Para poder ser incluidos, los artículos debían cumplir los siguientes criterios de acuerdo con los PICOS (participantes, intervención, comparación, resultados y diseño del estudio): (a) redactados en inglés o en castellano; (b) publicado entre los años 2010 – 2021; (c) sea longitudinal; (d) población incluida sean ciclistas; (e) traten el ciclismo en pista en general o describa algún aspecto sobre una o varias modalidades del ciclismo en pista; y (f) que valoren/evalúen/describan el rendimiento deportivo en las modalidades de ciclismo en pista validen una prueba para determinar el rendimiento en pista.

2.3. Criterios de exclusión

Los artículos que fueron descartados fueron aquellos que cumplían al menos uno de los siguientes criterios: (a) se realizaron con población con discapacidad, patología o que estuviese en proceso de recuperación de lesión; (b) no estaban enfocados al rendimiento deportivo; (c) trataban con población infante; (d) trataban como aspecto principal “biomecánica”, “estrategias de recuperación”, “estrategias de calentamiento de precompetición”, “antropometría” o “desarrollo de ecuación predictora de actuación temporal”; y (e) la prueba objeto de estudio no se compone de la misma forma en la actualidad.

2.4. Selección de estudios

Para el proceso de filtración de los artículos obtenidos tras la búsqueda inicial en las tres bases de datos, fueron exportados al software de gestión de referencias Mendeley (Nº de versión 1.19.8, Windows, Elsevier), eliminando los artículos duplicados primero mediante el software informático y luego manualmente debido a que todavía restaban artículos que aparecían más de una vez. La evaluación de elegibilidad se realizó siguiendo los criterios de elegibilidad anteriormente planteados, leyendo los títulos y en su necesidad, los resúmenes. Luego se pasó a la lectura de texto completo de los artículos restantes aplicando los criterios de exclusión.

Tras la lectura completa y su posterior inclusión o exclusión, se recopiló la información clave de los artículos incluidos. La información se extrajo siguiendo el acrónimo PICOS.

2.5. Resultado

Tras la búsqueda inicial se obtuvieron 3658 resultados, que tras eliminar los registros duplicados (478) quedaron 3180. Después de leer título y resumen se eliminaron 3059 referencias obteniendo 121 para su lectura a texto completo, 104 fueron excluidos por no cumplir con alguno de los criterios de inclusión establecidos, por lo que 17 artículos fueron seleccionados para esta revisión.

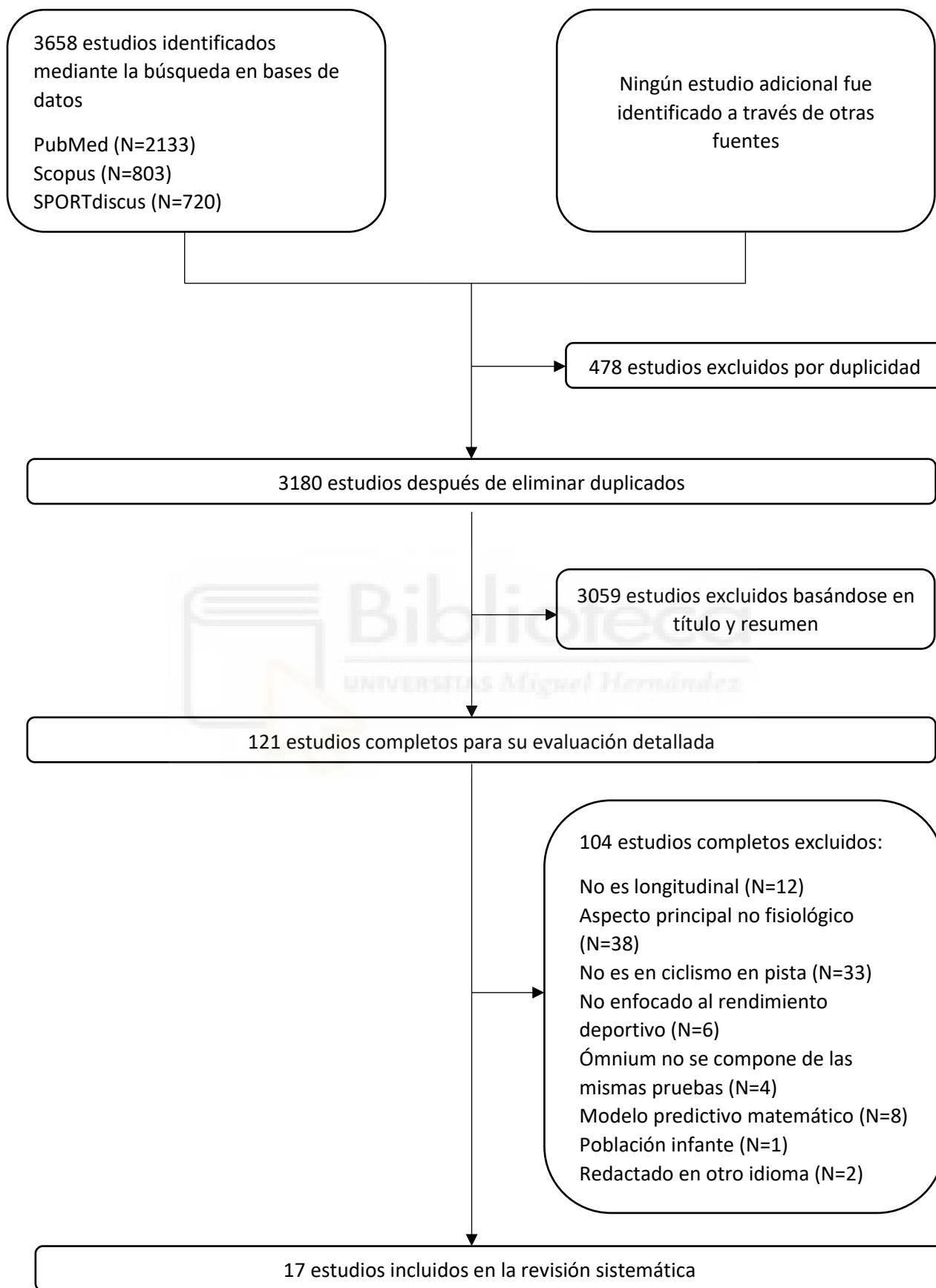


Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de estudios incluidos en la revisión.

3. DESARROLLO

Tabla 3. Características de los estudios incluidos en la revisión

Estudio	Muestra	Duración de la intervención	Método (protocolo)	Variables fisiológicas y de rendimiento	Instrumentos de evaluación	Resultados y conclusiones
Bartram, Thewlis, Martin & Norton (2017)	Ciclistas élite simultáneamente de pista y carretera, miembros de la selección nacional de Australia (N=8 H)	2 jornadas de evaluación en un training camp de 3 sem con el equipo nacional.	<i>1ª evaluación: test de máximo esfuerzo: de 1, 4 y 10 min.</i> <i>2ª evaluación: test de los 3 min all-out; y test de máximo esfuerzo: de 6 y 8 min.</i> Cada test estuvo separado por 75 min.	CP (W) W' (kJ) PC (rpm)	Cicloergómetro Bicicleta propia Potenciómetro	El test de los 3 min all-out sobrestimó la CP e infraestimó la W' en ciclistas profesionales por lo que no se recomienda reemplazar el método tradicional de trabajo-tiempo (eligiendo 3 esfuerzos lineales máximos).
Bartram, Thewlis, Martin & Norton (2018)	Ciclistas élite simultáneamente de pista y carretera, miembros de la selección nacional de Australia (N=4 H)	3 d de entrenamiento interválico distribuidos en 2 sem de training camp con el equipo nacional.	Test de máximo esfuerzo de 1, 4 y 10 min.	CP (W) W' (kJ) W'training (kJ)	Cicloergómetro Bicicleta propia Potenciómetro	El modelo SKIBA 2 parece infraestimar la recuperación del W' en ciclistas profesionales. Si se ajusta el tiempo de recuperación podría ser más apropiado para el uso en ciclistas profesionales.
Brito, Lopes, Conceição, Costa & Louro (2014)	Ciclistas élite de carretera (N=10 H)	2 test de mismo protocolo realizados en laboratorio y en pista con 5-7 d de intervalo.	<i>Prueba en laboratorio y en pista de esfuerzo discontinuo: 150 W + 50 W cada 6 min.</i> Descanso individualizado acorde al VO ₂ en reposo.	VO ₂ (ml/kg/min) HR (bpm) HR _{max} (bpm) MV (L/min) RER P (W)	Cicloergómetro Bicicleta externa Potenciómetro Analizador de gases portátil	Una actuación similar en ambos escenarios con PC y HR significativamente distintos. Posiblemente la PC se vio afectada por los cambios de técnica y la HR

				MAP (W) PC (rpm)		por la aparición del flujo de aire afectando a la termorregulación.
Del Vecchio, Villegas, Borges & Reaburn (2016)	Ciclista master 50 de carretera y pista moderadamente entrenado (N= 1 H)	12 sem de concurrencia de RT con metodologías mezcladas y TC 2 veces y por semana cada uno.	<i>Press de pierna 3 RM:</i> bilateral y unilateral. <i>Press de pecho 3 RM.</i> <i>Press de pierna</i> (potencia-lanzamiento). <i>SJ y CMJ.</i> <i>Test de pico de potencia 10 s:</i> en bicicleta estática de potencia.	RM (%1RM) P _{max} (W) AS (m)	Bicicleta estática de potencia Plataforma de contacto Dinamómetro isocinético	El trabajo concurrente de RT con metodologías mezcladas y TC controlado, puede suponer mejoras en los 200 m lanzados.
Etxebarria, Ingham, Ferguson, Bentley & Pyne (2019)	Ciclistas y triatletas altamente entrenados (N=9 H)	3 sesiones de evaluación en laboratorio. Entre la 2ª y la 3ª al menos 5 d de separación.	1ª: <i>Prueba de esfuerzo:</i> 160 – 180 W + 5 Wx15 s. 30 min de descanso y 30 s all-out de familiarización. 2ª y 3ª: <i>1 h sobre la bicicleta con potencia variable o constante y hacia el final del tiempo, 30 s all-out en ambas ocasiones.</i>	[B _{La}] (mmol·L ⁻¹) [B _{La}] _{max} (mmol·L ⁻¹) VO _{2max} (L·min ⁻¹) VCO ₂ (L·min ⁻¹) V _E (L·min ⁻¹) MAP (W) P _{med} (W) P _{max} (W) HR _{max} (bpm) PC (rpm) PC _{med} (rpm) PC _{max} (rpm) T a la P _{max} (s)	Cicloergómetro Analizador de gases Lactacidómetro	Realizar ciclismo en una carrera con potencia variable durante 1 h disminuye la habilidad para generar una P _{max} en los 30 s finales comparando con mantener la potencia constante durante la hora previa. Se debe de tener en cuenta para elegir la posible estrategia en carrera de cara al esprint final.
Guellich & Seiler (2010)	Ciclistas junior de nivel élite de la selección nacional de Alemania (N=51 H y M)	Evaluación antes y después de un periodo de preparación básica de 15 sem.	<i>Análisis de sangre:</i> del lóbulo de la oreja. <i>Test incremental:</i> con escalones de 3 min aumentando 20 W y comenzando en 100 W.	[B _{La}] (mmol·L ⁻¹) P _{La2} ·BM ⁻¹ (W) P _{La4} ·BM ⁻¹ (W) MAP (W) HR (%HR _{max}) PC (rpm)	Cicloergómetro Lactacidómetro Pulsómetro	En ciclistas junior altamente entrenados, la relación de lactato-potencia tiende a responder positivamente a un alto volumen de

			Distancia (km) RM (%1RM)	entrenamiento por debajo de los 2 mmol·L ⁻¹ de lactato sanguíneo. Volúmenes excesivos de entrenamiento a una intensidad de entre 3 y 6 mmol·L ⁻¹ puede tener un impacto negativo sobre la relación lactato-potencia.	
Hanon et al. (2013)	Ciclistas élite velocistas en pista o en BMX (N=11 H)	2 sesiones separadas de 2 d. 1ª: medición antropométrica, espirometría en reposo (volumen y flujo), test de tq-velocidad de ciclismo y un test incremental hasta estar exhaustos. 2ª: Prueba de esfuerzo a intensidad supramáxima a una intensidad constante hasta estar exhaustos.	<p><i>Espirometría</i> <i>Test de P_{max} y PC_{opt}</i>: 5 s esprint/5 min descanso, después 3 esprints all-out de 5 s con 3 min de descanso entre cada uno con diferentes torques de resistencia. 0, 0.4-0.7, 1-1.5 Nm/kg. <i>Test incremental para determinar la MAP y el VO_{2max}</i>: se comienza a 100 W y luego incrementos de 20 W·min⁻¹ hasta estar exhausto. <i>Prueba de esfuerzo con potencia constante al 130% de MAP.</i></p>	<p>FVC (L) FEV (L) FEV₁ (L·s⁻¹) FEV/FVC FIVC (L) FIV₁ (L·s⁻¹) SaO₂ (%) PaO₂ (mmHg) PaCO₂ (mmHg) P_{ET}O₂ (mmHg) V_E (L/min) RF (tpm) RER [HCO₃⁻] (mmol·L⁻¹) pH [B_{La}] (mmol·L⁻¹) Tq (N·m⁻¹) P_{max} (W) MAP (W) VO_{2max} (L·min⁻¹) VCO₂ (L·min⁻¹) PC_{opt} (rpm)</p>	<p>La disminución del VO₂ en 6 de los 11 sujetos durante un esfuerzo de potencia constante llevando a una ligera acidosis de medio interno, es debida a factores cardiorrespiratorios (volumen de latido) y no a respuestas sanguíneas metabólicas. El sistema pulmonar es un factor determinante de las respuestas fisiológicas antes de parar un ejercicio a intensidad supramáxima.</p>

				HR (bpm) HR _{max} (bpm) CO (L·min ⁻¹) SV (L/S) V _T (L)		
Harden et al. (2020)	Deportistas de potencia-fuerza (weightlifting, rugby, atletismo, gimnasia y de combate) (N=12) AEL (N=6; 1 M y 5 H) TRAD (N=6; 2 M y 4 H) Ciclistas de pista élite velocistas AEL-ATH (N=5; 2 M y 3 H)	Intervención de 7 sem. Sem 1 y 7 como punto de partida y post test respectivamente. Sem 2-5 periodo de entrenamiento. Sem 6 descarga.	<i>Test de fuerza isométrica:</i> de press de pierna con rodilla a 90º. <i>Test de RM tradicional:</i> de sentadilla a 90º. <i>Test de máxima fuerza concéntrica:</i> desde 90º de rodilla. <i>Test de máxima fuerza excéntrica:</i> en una acción excéntrica de 5 s en press de pierna. <i>Test de 3 RM:</i> en sentadilla a completa profundidad.	F (N·kg ⁻¹) RM (kg·BW ⁻¹)	Células de carga 4s con potenciómetros asociados Traje de LEDs	El estímulo excéntrico fue bien tolerado por todos los participantes y tuvo una mayor demanda en comparación con el TRAD. Este tipo de entrenamiento mejora de forma más efectiva las cualidades de la fuerza.
Karsten, Jobson, Hopker, Jimenez & Beedie (2013)	Ciclistas con bajo nivel de entrenamiento (N=14; 2 M y 12 H)	Intervención de 21 d. 1ª sesión de evaluación de VO _{2max} y MAP. A lo largo del resto de los días se realizaron 6 CP test con al menos 24 h de descanso entre cada uno.	<i>Test de VO_{2max} y MAP:</i> comenzaba con 150 W para H y 120 W para M. Incrementos de 20 W·min ⁻¹ . <i>3 CP test en pista:</i> 3, 7 y 12 min all-out saliendo desde parado y realizado en distintos días. <i>3 CP test en laboratorio:</i> máximo tiempo posible al	[B _{l.a}] (mmol·L ⁻¹) MAP (W) VO _{2max} (L·min ⁻¹) CP (W) W' (kJ) HR (bpm) PC (rpm)	Cicloergómetro Analizador de gases Lactacidómetro Potenciómetro Cadenciómetro Pulsómetro Bicicleta externa	Hay una diferencia significativa en la medición de la variable W' entre el test de laboratorio y de campo, aunque sí que haya una relación entre test con la CP.

80%, 100% y 105% de la MAP.						
Lindsay, Petersen, Ferguson, Blackwell & Rickerby (2018)	Ciclistas de pista altamente entrenados (N=24; 11 M y 13 H) Placebo (N=8) 1 vez protocolo/d (N=8) 2 veces protocolo/d (N=8)	1ª vez test de 4000 m. Después, 7 d consecutivos realizando 4 x 5 min oclusión/5 min reperusión de IP (220 mmHg) en cada pierna. Al finalizar este periodo hicieron 1 vez el test y 1 sem después, otra.	<i>Test de 4000 m en cicloergómetro all-out:</i> 3 veces con 1, 2 sem de diferencia respecto a la 1ª vez.	VO _{2max} (ml·min ⁻¹ & L·min ⁻¹) HR (bpm) P _{med} (W) RER RPE IP (mmHg) [B _{La}] (mmol·L ⁻¹ & % de cambio)	Cicloergómetro Analizador de gases Lactacidómetro Pulsómetro Manguito manual inflable	IP no mejoraba la actuación sobre la contrarreloj de 4000 m, independientemente de la dosis.
McDonald, Grote & Shoepe (2014)	Ciclistas de pista con bajo nivel de entrenamiento (N=10; 1 M y 9 H) Ciclistas de carretera moderadamente entrenados (N=15; 4 M y 11 M).	Valoración realizada en 1 d de 1 prueba de esfuerzo.	<i>Prueba de esfuerzo:</i> comenzando en 50W con incrementos de 50 W cada 2 min.	HR (bpm) HR _{max} (bpm) HR _{rec} min1 (bpm) HR _{rec} min2 (bpm) HR _{rec} min 1 (%) HR _{rec} min 2 (%) MAP (W & W·kg ⁻¹) VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) RPE RER	Cicloergómetro Analizador de gases Electrocardiógrafo	La forma de entrenamiento mostró diferencias significativas en los efectos sobre la velocidad de recuperación de HR en ciclistas más altamente entrenados. Hubo una mayor variabilidad en la HR _{rec} al min 2 que al min 1 lo que sugiere que la HR debería ser monitorizada más de 1 min para un mejor análisis post ejercicio

del cambio de sistema autónomo.

Mostaert et al. (2020)	Ciclistas altamente entrenados y ciclistas élite, siendo ciclistas de la academia nacional de ciclismo, miembros de la selección nacional de Bélgica y ciclistas élite (N=63)	Evaluación de los ciclistas de varias modalidades siguiendo una misma batería de 4 test antropométricos, 5 test físicos, 3 test de coordinación motora y 2 test de ciclismo específicos.	<p><i>Test SBJ</i>: 2 intentos. Test de resistencia en plancha: máximo T posible en la posición de plancha. Test de SAR. <i>Test de 30 m esprint</i>: cronometrando a los 5 m, 10 m, 20 m y a los 30 m. 2 intentos. <i>Test 20 m ESHR</i> 3 test de coordinación motora KTK <i>Test de agilidad y habilidad</i>: sobre una bicicleta BMX realizar un circuito en forma de "8", lo más rápido posible. <i>Test de PC_{max}</i>: 10 s all-out sobre cicloergómetro.</p>	PC _{max} (rpm) T (s) AS (cm)	Fotocélulas de cronómetro Cicloergómetro Bicicleta BMX	Los perfiles como ciclistas aparecen a una edad adulta temprana con diferencias evidentes en los planos contemplados en el presente estudio. Los ciclistas de pista destacaron por su explosividad, además de en la coordinación motora.
Nimmerichter & Williams (2015)	Ciclistas adolescentes altamente entrenados miembros de la selección nacional	2 sesiones de evaluación separadas por 48 h. En cada sesión los test fueron separados por al menos 30 min.	<p><i>Prueba de esfuerzo</i>: para H comenzaban con 40 W y para M con 30 W. Incremento de 20 y 15 W ·min⁻¹ respectivamente. <i>Test de 10 s</i>: en laboratorio y en pista.</p>	HR _{max} (bpm) [B _{La}] (mmol·L ⁻¹) P _{max} (W) P _{med} (W) MAP (W) VO _{2max} (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹) VT (W)	Cicloergómetro Potenciómetro Analizador de gases Lactacidómetro Pulsómetro Bicicleta de pista	P _{max} , P _{med} y la [B _{La}] medidas fueron significativamente mayores en los test realizados sobre el cicloergómetro que sobre la bicicleta en pista.

	(N=14; 5 M y 9 H)		Test de 1 min y 3 min: en laboratorio y en pista.	RCP (W) V _E /VO ₂ V _E /VCO ₂ V _E (L·min ⁻¹) PC _{opt} (rpm) PC _{med} (rpm) PC _{max} (rpm) Tq _{max} (N·m ⁻¹)		
Sarkar et al. (2020)	Ciclistas de pista junior con bajo nivel de entrenamiento (N=15 H)	4 sem de entrenamiento excéntrico mediante ejercicios de pliometría y trabajo excéntrico en cicloergómetro. Valoraciones realizadas sin bicicleta.	Test 20 m ESHR Test RAST: 6 esprints consecutivos all-out con 10 s de recuperación. 3 test de habilidad motora: 6x10 m con cambios de dirección, 30 m con salida lanzada y salto vertical. Medida de Hb: análisis sanguíneo.	Aceleración (s) VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) Hb (mg/dl) Flexibilidad (cm) Fuerza explosiva (cm) Agilidad (s) R _{absolute} (W) R _{relative} (W/kg) HGS-R & L (kg) HR (bpm) RPE	Cicloergómetro Pulsómetro Cronómetro Dinamómetro	Mejoraron de forma general en hipertrofia, capacidad enzimática glicolítica y oxidativa con una adecuada coordinación neuromuscular que permite pedalear más rápido realizando una mayor P durante más T.
Tofari, Cormack, Ebert, Gardner & Kemp (2017)	Ciclistas de pista velocistas junior altamente entrenados miembros del programa de identificación de talentos y desarrollo de Australia (N=10 H)	Intervención de 3 meses de entrenamiento con 2 d de evaluación pre y post intervención.	Test en ergómetro: 2x6 s all-out con 2 min y 54 s de separación. Test en pista: 2 salidas desde parado realizando 100 m all-out con 5 min de recuperación. Después 2x100 m lanzados all-out con 5 min de recuperación.	P _{med} (W) P _{max} (W & W·kg ⁻¹) Tq _{max} (N·m ⁻¹) T (s) Carga de inercia (kg·m ²) PC _{opt} (rpm) PC _{med} (rpm) Tq _{max} (N·m ⁻¹)	Cicloergómetro Bicicleta de pista Potenciómetro	Los test realizados en cicloergómetro son más sensibles identificando cualidades neuromusculares y son preferibles en las etapas tempranas del desarrollo de talentos. También cabe destacar que los test han sido realizados en pista para monitorizar el

						desarrollo de las habilidades en identificación de talentos.
Vercoe & McGuigan (2018)	Ciclistas de pista altamente entrenados (N=10, 6 M y 4 H)	Evaluaciones realizadas de forma consecutiva 1 d.	<p><i>Test IMTP:</i> 3x5 s de empuje de barra isométrico all-out con rodillas a 140-145°, separados por 3 min de descanso.</p> <p><i>Test de cicloergómetro:</i> 5 esprints isocinéticos all-out desde parado a 60 rpm, 80 rpm, 100 rpm, 120 rpm y 140 rpm de 8 s cada uno con 3 min de recuperación entre cada uno.</p>	P_{max} (W) PC (rpm) Tq ($N \cdot m^{-1}$) PF (N) PRFD (N)	Cicloergómetro Plataforma de fuerzas Barra con contrapesas y soporte	Hubo una relación significativa entre fuerza muscular y la capacidad de producción de Tq en esprints máximos, además también mostró que un incremento solamente de Tq no es suficiente para mejorar los valores máximos de P.
Waldron, Gray, Furlan & Murphy (2016)	Ciclistas de pista y carretera junior altamente entrenados (N=10, 4 M y 6 H)	1 d de evaluación en laboratorio.	<p><i>Test CP de 3 min all-out en cicloergómetro:</i> CP obtenida de la P_{med} de los últimos 30 s del test.</p> <p><i>Estimación interna de energía.</i></p> <p><i>Test de 500 m y 2000 m persecución.</i></p>	P_{max} (W & $W \cdot kg^{-1}$) P_{med} (W & $W \cdot kg^{-1}$) CP (W & $W \cdot kg^{-1}$) PC (rpm) $[B_{La}]$ ($mmol \cdot L^{-1}$) Speed ($km \cdot h^{-1}$) T (s) FSA (m^2) WEP (kJ) W_{ext} (kJ) W_{int} (kJ) W_{tot} (kJ) $W_{int} \cdot W_{ext}$	Cicloergómetro Lactacidómetro Bicicleta de pista Cronómetro	El ratio de $W_{int} : W_{ext}$ ha demostrado una alta relación para predecir la actuación sobre la contrareloj de 500 m. Una mayor P_{med} y CP se relacionó con una menor FSA. Entre el 90-97% de las diferencias en las actuaciones de esprint junior pueden ser predichas a partir de parámetros mecánicos y

Nota:

[B_{La}]: blood lactate concentration, traducido al español: concentración de lactato en sangre; [B_{La}]_{max}: maximum blood lactate concentration, traducido al español: concentración de lactato en sangre máxima; AEL: augmented eccentric loading, traducido al español: carga excéntrica aumentada; AEL-ATH: augmented eccentric loading with professional track cyclists, traducido al español: carga excéntrica aumentada en velocistas profesionales; AS: altura de salto; BM: body mass, traducido al español: masa corporal; bpm: beats per minute, traducido al español: latidos por minuto; CMJ: countermovement jump, traducido al español: salto con contramovimiento; CO: cardiac output, traducido al español: gasto cardíaco; CP: critical power, traducido al español: potencia crítica; d: día; dl: decilitro; ESHR: endurance shuttle run test, traducido al español: test de Course Navette; F: fuerza; FEV/FVC: Tiffeneau index, traducido al español: índice de Tiffeneau; FEV₁: forced expiratory volume in 1 s, traducido al español: volumen espirado forzado en 1 s; FEV_{25, 50 & 75}: forced expiratory flow at 25, 50 and 75% from FVC, traducido al español: flujo espirado forzado al 25, 50 y 75% del FVC; FIV₁: forced inspiratory volume in 1 s, traducido al español: volumen inspirado forzado en 1 s; FIVC: forced volume inspiratory, traducido al español: volumen inspiratorio forzado; FSA: frontal surface area, traducido al español: área de la superficie frontal del ciclista; FVC: forced vital capacity, traducido al español: capacidad vital forzada; H: hombre; h: hora; Hb: hemoglobina; HGS-R & L: handgrip strength right and left, traducido al español: fuerza de presión de la mano izquierda y derecha; HR: heart rate, traducido al español: frecuencia cardíaca; HR_{max}: maximal heart rate, traducido al español: frecuencia cardíaca máxima; HR_{rec}: heart rate recovery, traducido al español: frecuencia cardíaca de recuperación; IMTP: isometric mid-thigh pull, traducido al español: empuje isométrico a medio muslo; IP: ischemic perfusion, traducido al español: reperfusión isquémica; kg: kilogramo; kJ: kilojulio; km: kilómetro; KTK: Körperkoordinationstest für Kinder, traducido al español: test de coordinación motora para niños; L: litro; m: metro; M: mujeres; MAP: maximal aerobic power, traducido al español: potencia aeróbica máxima; mg: miligramo; min: minuto; ml: mililitro; mmHg: mililitro de mercurio; mmol: milimol; MV: minute ventilation, traducido al español: ventilación por minuto; N: número; Nm: Newton por metro; OBLA: onset of blood lactate accumulation, traducido al español: comienzo de acumulación de lactato en sangre; P: potencia; PaCO₂: presión parcial de dióxido de carbono; PaO₂: presión parcial de oxígeno; PC: pedalling cadence, traducido al español: cadencia de pedaleo; PC_{max}: maximum pedalling cadence, traducido al español: cadencia de pedaleo máxima; PC_{opt}: optimum pedalling cadence, traducido al español: cadencia de pedaleo óptima; P_{ET}O₂: endtidal oxygen tension, traducido al español: presión parcial de oxígeno al final de la espiración; PF: peak force, traducido al español: pico de fuerza; pH: potencial de hidrógenos; P_{La2}: potencia relativa a 2 mmol·L⁻¹ de concentración de lactato; P_{La4}: potencia relativa a 4 mmol·L⁻¹ de concentración de lactato; P_{max}: potencia máxima; P_{med}: potencia media; PRFD: peak rate of force development, traducido al español: pico de ratio de desarrollo de fuerza; R_{absolute}: P_{max} absolute anaerobic, traducido al español: P_{max} absoluto anaeróbica; RAST: running based anaerobic sprint test, traducido al español: test de esprint anaeróbico corriendo; RCP: respiratory compensation point, traducido al español: punto de compensación respiratoria; RER: respiratory exchange ratio, traducido al español: ratio de intercambio respiratorio; RF: respiratory frequency, traducido al español: frecuencia respiratoria; RM: repetición máxima; RPE: rating of perceived exertion, traducido al español: percepción subjetiva del esfuerzo; rpm: revoluciones por minuto; R_{relative}: P_{max} relative anaerobic, traducido al español: P_{max} relativo anaeróbica; R_{relative}: P_{max} relative anaerobic, traducido al español: P_{max} relativo anaeróbica; RT: resistance training, traducido al español: entrenamiento de fuerza; S: stroke, traducido al español: latido; s: segundo; SaO₂: saturación de oxígeno; SAR: sit and reach, traducido al español: test de flexibilidad “siéntate y alcanza”; SBJ: standing broad jump, traducido al español: salto de longitud desde estático; sem: semana; SJ: squad jump, traducido al español: salto en sentadilla; SV:

stroke volume, traducido al español: volumen de latido; T: tiempo; TC: track cycling, traducido al español: ciclismo en pista; Tq: torque; $T_{q_{max}}$: torque máximo; tpm: times per minute, traducido al español: veces por minuto; TRAD: traditional resistance training, traducido al español: entrenamiento de fuerza tradicional; VCO_2 : volumen de dióxido de carbono producido; V_E : ventilación pulmonar; VO_2 : consumo de oxígeno; VO_{2max} : consumo de oxígeno máximo; VT: ventilatory threshold, traducido al español: umbral ventilatorio; V_T : volumen tidal; W' : anaerobic work capacity, traducido al español: capacidad de trabajo anaeróbica; WEP: amount of external work, traducido al español: cantidad de trabajo externo; W_{ext} : trabajo externo realizado; W_{int} : trabajo interno realizado; W_{tot} : suma de W_{ext} y W_{int} ;



4. DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática tuvo como objetivo principal determinar los requerimientos fisiológicos según las características de las competiciones de ciclismo en pista, tratando también de reunir las pruebas que se han realizado en un entorno controlado como puede ser el de una investigación científica para evaluar y determinar el rendimiento. Uno de los principales hallazgos fue que de manera estandarizada al inicio de los protocolos se realizó una prueba de esfuerzo con diferencias en los incrementos y las duraciones de los escalones para evaluar a los deportistas la MAP y el VO_2 o los posibles umbrales VT. Asimismo, se concluyó la preferencia de la elección de un test sobre un cicloergómetro ante la menor presencia de aspectos no controlables en el desempeño de la prueba como puede ser la técnica del ciclista o la presencia de flujo de aire afectando a la termorregulación, teniendo efecto así sobre los valores resultantes. Además, se ha podido observar como la PC_{opt} , la P_{max} y la RM en ejercicios de fuerza eran las variables de rendimiento más estudiadas en grupos de ciclistas velocistas, mientras que en los ciclistas de fondo se tuvo más en cuenta la CP, la MAP y la P_{max} . Por lo que respecta a las variables puramente fisiológicas principalmente se tuvieron en cuenta en un único trabajo durante los últimos 11 años la $[\text{B}_{\text{La}}]$, el $\text{VO}_{2\text{max}}$ y la HR en velocistas. En cambio, en fondistas la presencia de estas variables era en mayor número debido a la dependencia directa del componente aeróbico y la recuperación de esfuerzos repetidos en este perfil de ciclistas.

En cuanto a la variable HR que responde de forma lineal con la intensidad de la actividad (Wilmore & Costill, 2007), se vio significativamente afectada por efectos de termorregulación en el estudio de comparación de test realizados en cicloergómetro y en velódromo realizado por Brito et al. (2014), por un fenómeno conocido como desplazamiento cardiovascular (William & Costill, 2007), donde sobre un cicloergómetro se obtuvieron valores mayores de HR_{max} realizando un mismo protocolo de prueba de esfuerzo que sobre una pista donde está presente el flujo de aire. Además, en el estudio de McDonald et al. (2014) con el objetivo de monitorizar la frecuencia cardíaca de recuperación tras una prueba de esfuerzo, se concluyó que se debía de monitorizar dicha variable más de 1 min para realizar un mejor análisis post ejercicio del cambio de sistema autónomo. La presente variable también se usó como criterio de validez para el desarrollo de las pruebas de esfuerzo donde si se conseguía alcanzar dentro del rango de 10 bpm de la HR predicha a partir de la edad (Blair, Painter, Pate, Smith y Taylor, 1988) se consideraba válido el test realizado. Por otro lado, la frecuencia cardíaca ha sido objeto de estudio en mayor medida sobre los ciclistas de fondo que sobre los ciclistas de velocidad, solo analizada en el trabajo de Hanon et al. (2013), debido al retraso de respuesta ante los aumentos súbitos de intensidad como pueden ser las actuaciones en las pruebas de hasta 1 min de duración destacando que cuando llega a estabilizarse la HR, el fin de la prueba puede haber llegado (Wilmore & Costill, 2007).

Por lo que se refiere a la $[\text{B}_{\text{La}}]$, es el producto final de la glucólisis, consecuencia de la forma de ácido pirúvico para obtener ATP, por lo que es una sustancia fundamental en la obtención de energía por los diferentes mecanismos de producción (Poole, Rossiter, Brooks & Gladden, 2020). Se obtiene valorando la concentración de lactato en sangre a través de análisis sanguíneo profundo o a través de un lactacidómetro tomando una muestra de sangre desde el lóbulo de una oreja (Guellich & Seiler, 2010; Nimmerichter & Williams, 2015; Hanon et al., 2013) o desde un capilar de un dedo (Etxebarria et al. 2019; Karsten et al. 2013; Lindsay et al., 2018; Waldron et al., 2016), siendo elegida ésta última forma en mayor medida por los trabajos incluidos en la presente revisión sistemática. En cuanto al momento de medición se evaluó una vez finalizado el test de carácter máximo analizando el valor pico de $[\text{B}_{\text{La}}]$ y el proceso de aclarado de lactato volviendo a la calma en el minuto 1, 3, 6 y 10 tras haber realizado test all-out de 1 y 3 min (Nimmerichter & Williams, 2015), aunque también se midió durante el transcurso de las pruebas de esfuerzo con el fin de captar la evolución de la $[\text{B}_{\text{La}}]$ a lo largo de los incrementos de potencia y detectar potencia a concentraciones de lactato objetivo como pudo ser en el trabajo

de Guellich y Selier (2010), donde además concluyeron que realizar volúmenes excesivos de entrenamiento en una zona de trabajo intermedia como es entre 3 y 6 mmol·L⁻¹ podría tener un impacto negativo sobre la relación de la [B_{La}] con la potencia desarrollada. También debería de considerarse que la curva de lactato es independiente a cada persona, así como la localización de los umbrales de lactato. Otro aspecto destacable es que en el estudio de Karsten et al. (2013) siguieron esta variable como criterio de exhaustación, donde si se conseguían valores mayores o iguales a 8 mmol·L⁻¹ de lactato en sangre post test se aceptaba como un test all-out válido siguiendo las pautas propuestas por Blair et al. (1988).

Con respecto al VO₂ ha sido una variable ampliamente evaluada en ciclistas fondistas debido a la importancia de la eficiencia aeróbica sobre todo en ciclistas de más largas distancias. Un aspecto destacable es la presencia de ciertos grupos de muestras en artículos incluidos en esta revisión (Bartram et al., 2017; Bartram et al., 2018; Waldron et al., 2016) que compaginaban la modalidad de ciclismo en carretera junto con la modalidad de ciclismo en pista con la posibilidad de desarrollar adaptaciones óptimas para ambas disciplinas pudiendo alcanzar un mayor VO_{2max} mediante el trabajo de la resistencia (Wilmore & Costill, 2007). Asimismo, dentro de los protocolos de estudio presentados para evaluar a los ciclistas su estado de forma, se incluían pruebas de esfuerzo con uno de los objetivos principales de analizar el VO_{2max}, el cual es el ritmo más alto de consumo de oxígeno alcanzable durante la realización de ejercicios máximo o agotadores (Wilmore & Costill, 2007), y qué se usó como variable clasificatoria de muestras en la presente revisión siguiendo las pautas explicadas por De Pauw et al. (2013). Cabe destacar que ha habido 2 artículos (Mostaert et al., 2020; Sarkar et al., 2020) los cuales han incluido el test de 20 m ESHR, más conocido como Course Navette, para evaluar el VO_{2max}, de forma indirecta, a pesar de que no obedece el principio de la especificidad ante la modalidad deportiva implicada, al realizarse el presente test corriendo y no sobre la bicicleta.

Dentro de las variables de carga externa más destacadas se encuentra la potencia, la cual mide de manera objetiva la fuerza de torsión imprimida sobre los pedales a su vez multiplicada por la cadencia. La potencia aeróbica máxima (MAP) presente en 5 estudios en esta revisión sistemática (Brito et al., 2014; Etxebarria et al., 2019; Guellich & Seiler, 2010; Hanon et al., 2013; Karsten et al., 2013; McDonald et al., 2014; Nimmerichter & Williams, 2015), es la potencia desarrollada en el momento de VO_{2max} obtenida durante la realización de una prueba de esfuerzo. También se han analizado P_{max} y P_{med} a lo largo de otros tipos de test como distancias a cubrir en el mínimo tiempo posible como puede ser la prueba de 4000 m cronometrados llevada a cabo por Lindsay et al. (2018) o tiempos a cubrir a máxima intensidad como se realizó en el trabajo de Nimmerichter y Williams (2015) con pruebas evaluadoras de 10 s, 1 min y 3 min. Un resultado a destacar sobre el desempeño de la P_{max} es que, tras completar un esfuerzo de 1 h a una intensidad de forma variable y continua, la potencia máxima desarrollada en los últimos 30 s del test fue mayor habiendo llevado una estrategia de pacing de intensidad continua, aspecto a tener en cuenta para las competiciones de más larga duración de cara al desenlace final. Otro aspecto destacable fue la consecución de mayores valores de forma significativa de P_{max}, P_{med} y [B_{La}] en los test de Nimmerichter y Williams (2015) anterior mencionados cuando se realizaron sobre un cicloergómetro, comparando las actuaciones de los mismos test habiéndolos realizados en pista. Para terminar con la potencia, se debe de mencionar a la potencia crítica, la máxima tasa de trabajo que puede ser sostenida por un muy prolongado período de tiempo (Hopker & Jobson, 2012), y la variable relacionada de capacidad anaeróbica de trabajo (W') son variables de gran utilidad de cara a la toma de decisión de estrategia de pacing a realizar para los fondistas. El método más adecuado según concluyó el estudio de Bartram et al. (2017) es mediante la realización de 3 esfuerzos all-out de 1, 4 y 10 min, pudiéndose llevar a cabo en una misma jornada.

Otra variable determinante de rendimiento del ciclismo en pista es la cadencia de pedaleo, la cual hace referencia a carga externa. Los autores de varios artículos han puesto

interés en el análisis de la cadencia de pedaleo óptima (Hanon et al., 2013; Nimmerichter & Williams, 2015; Tofari et al., 2017) que puede tener una gran transferibilidad a la hora de elegir el desarrollo de la bicicleta de piñón fijo a llevar (Nimmerichter & Williams, 2015), y fue evaluada a través test de esprints de corta duración cambiando torques (Hanon et al., 2013), realizándose las repeticiones de forma isocinética, únicamente cambiando la cadencia predeterminada en el cicloergómetro (Vercoe & McGuigan, 2018) obteniendo la relación cadencia-potencia más adecuada o calculándola de forma indirecta a través de la cadencia de pedaleo máxima (Nimmerichter & Williams, 2015); la cadencia de pedaleo media (Etxebarria et al., 2019; Nimmerichter & Williams, 2015; Tofari et al., 2017) a través del registro continuo durante las repeticiones a completar; y cadencia de pedaleo máxima (Etxebarria et al., 2019; Mostaert et al., 2020; Nimmerichter & Williams, 2015) variable que fue medida de forma específica a través de un test de 10 s sobre un cicloergómetro en el estudio de Mostaert et al. (2020) donde los ciclistas de pista destacaron sobre las otras disciplinas por su explosividad obteniendo la mayor PC_{max} .

En esta revisión se encuentran varias debilidades a tener cuenta. En primer lugar, cabe destacar que hay una gran disparidad entre las variables a medir durante las evaluaciones llevadas a cabo. En segundo lugar, cada artículo presenta un protocolo distinto para evaluar las mismas variables lo que dificulta la comparación de resultados entre estudios. En tercer lugar, la muestra presenta una amplia variedad de perfiles de ciclistas, aunque en su mayoría son ciclistas presentes en equipos nacionales de pista de categoría élite, también se han incluido estudios con ciclistas de pista junior, ciclistas amateur y triatletas. Por último, el número de artículos incluidos que analizan perfiles de ciclistas velocistas es de 4, cifra bastante inferior frente a los 13 artículos presentes haciendo referencia a ciclistas de corte fondista. Esto puede deberse al menor número de ciclistas de esta especialidad en la práctica respecto a la mayor presencia de ciclistas fondistas que no únicamente realizan pruebas de fondo en pista, sino que también realizan parte de la temporada de ciclismo en carretera, no viéndose limitados a sacrificar la práctica de una u otra modalidad.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Ante la gran diversidad de pruebas de valoración presentes en los estudios incluidos en esta revisión sistemática, se propone la siguiente batería de test con el objetivo de facilitar la elección de pruebas evaluadoras útiles para la detección de variables de rendimiento más importantes para ciclistas de pista con un perfil de velocistas o de fondistas en categoría élite.

Dentro de los ciclistas velocistas (ciclistas que realizan hasta 1 km de distancia como evento principal: 200 m lanzados, velocidad individual y por equipos, keirin y 1 km/500 m cronometrados masculinos y femeninos respectivamente) podemos observar distintas duraciones del esfuerzo desde los 9 y 10 s en los 200 m lanzados, pasando por los 41 y 32 s en la velocidad por equipos y llegando a 59 y 33 s en el evento más largo de 1 km/500 m (Tabla 2), por lo que habrá ciertas diferencias en los requerimientos prioritarios a cubrir.

El primer test a tener en cuenta es el llamado Wingate (30 s all-out) (Bar-Or, 1987). sobre un cicloergómetro para poder observar el tiempo hasta el pico de potencia y la caída de la curva, con el objetivo de observar cuanto resistente es el deportista en esfuerzos de hasta 30 s de duración, valorando así la capacidad anaeróbica complementando la medición de la potencia desarrollada con la medición de la $[B_{la}]$ justo al terminar la prueba, a los 3 y a los 5 min tratando de observar la capacidad de producción, tolerancia y reciclaje de lactato en sangre; a continuación, se realizaría el test de RM en sentadilla a 90° y en sentadilla profunda (debido a que es un ejercicio que trabajan con frecuencia este tipo de deportistas) dado que implica la mayor parte de los grupos musculares requeridos para las acciones de carácter explosivo de los velocistas, implementando el uso de un encoder lineal para poder estimar la RM con mayor exactitud de manera indirecta a través de la velocidad del desplazamiento de la carga. Se realizaría una progresión de pesos partiendo de un 50% de la RM anterior o aproximada y realizaremos 3 series de 3 repeticiones incrementando un 10-15% el peso para poder obtener una estimación más cercana a la repetición máxima real; en tercer lugar, se introduciría el test de cadencia de pedaleo óptima (PC_{opt}), factor altamente necesario de determinar debido a no poder cambiar de desarrollo en la bicicleta durante el transcurso de las pruebas en pista. Para este test se propone realizar 5 esprints isocinéticos de 8 s sobre un cicloergómetro a 60, 80, 100, 120 y 140 rpm y 3 min entre cada uno. Se tratará de obtener la cadencia a la cual el ciclista haya generado mayor pico de potencia y trasponerlo a la bicicleta de pista convencional; en cuarto lugar, se llevaría a cabo un test cronometrado sobre un velódromo cubierto con la distancia de competición del evento, ya sea 250, 500, 750 o 1000 m de cara a la valoración y elección de la posible estrategia de pacing midiendo potencia, frecuencia cardíaca y tiempo; en quinto lugar, sería recomendable realizar de forma habitual antes de las sesiones de entrenamiento, para controlar el nivel de fatiga del deportista el test de CMJ y SJ sobre una plataforma de contacto y realizando 2 intentos de cada uno con 1 min de descanso entre cada intento. Esta prueba sería de gran utilidad para los deportistas de este perfil donde el componente neural de las acciones explosivas tiene gran presencia.

Por otro lado, tenemos a los ciclistas de fondo que realizan pruebas que van desde los 4 km en hombres y 3 km en mujeres de una persecución individual o por equipos realizando un esfuerzo alrededor de los 4 y 3 min de duración, hasta los 50 y 30 km de la madison masculina y femenina durante aproximadamente 50 y 35 min respectivamente (Tabla 2).

En primer lugar, para este grupo de ciclistas debido a la gran importancia del rendimiento aeróbico de este perfil se realizaría una prueba de esfuerzo, sobre un cicloergómetro con un calentamiento previo de 10 min rodando a 50-125 W dependiendo del peso y la envergadura del ciclista tratando de acotar la prueba en una duración de 10-12 min donde se diera el momento de exhaustación, tras realizar incrementos de $25 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$. Con esta prueba se quiere valorar la capacidad aeróbica del deportista a través de la detección de los 2 umbrales de ventilación, umbral de ventilación aeróbico (VT1) y umbral de ventilación

anaeróbico (VT2) junto a sus respectivas potencias, además de tomar muestras de sangre del lóbulo de una oreja, 15 s antes de comenzar la prueba y cada 2 incrementos de potencia dando la cinética de la $[B_{La}]$ además de con el punto OBLA, la potencia a $3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ y a $6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ con el fin de polarizar la carga de entrenamiento como recomiendan Guellich y Seiler (2010). Por último, se obtendría la potencia aeróbica máxima (MAP) y el $\text{VO}_{2\text{max}}$; en segundo lugar, y de forma seguida al anterior test, se realizaría la prueba de tiempo límite, tras haber recuperado de forma completa, recomendable tras 30 min, sobre el mismo cicloergómetro que se programaría la resistencia para realizar la MAP anteriormente obtenida. Este test consiste en resistir el máximo tiempo ejerciendo dicha potencia. Es una prueba muy recomendable para los ciclistas de la persecución individual y por equipos debido a las características de duración de los eventos y la posibilidad de adoptar un ritmo alrededor de dicha potencia; en tercer lugar, se presenta el test de CP y W' . Esta prueba se realizaría sobre un cicloergómetro y habría que completar 3 series de 1, 4 y 10 min como indica Bartram et al. (2017) separadas por 30 min entre cada una donde se enlazaría la P_{med} de cada serie a través de un software informático obteniendo la CP y la W' variables de gran utilidad de cara a la estrategia de pacing individualizada a realizar para cada evento; en cuarto lugar, se realizaría una simulación de las pruebas cronometradas de persecución por equipos e individual realizando el recorrido de 3 y 4 km en mujeres y hombres respectivamente sobre un velódromo cubierto, obteniendo valores de las variables de rendimiento de potencia, frecuencia cardíaca y tiempo de cara a evaluar el comportamiento y facilitar la ayuda ante la elección de una u otra estrategia respecto al pacing, conformación del equipo y orden y duración de los relevos de cara a la competición; en quinto y último lugar, se propone el test de esprints repetidos sobre un cicloergómetro o sobre la misma pista cubierta (debido a la larga duración de la prueba) simulando la duración de la prueba y con los cambios de ritmo durante 1 min y manteniendo 1 min de descanso en el caso de los corredores de madison representándose así los relevos durante la competición real, hasta completar 50 y 35 min en total para hombres y mujeres respectivamente de cara a la evaluación de la recuperación de esfuerzos repetidos, registrando las variables de la potencia, frecuencia cardíaca y hemoglobina oxigenada y desoxigenada mediante un potenciómetro, un monitor de frecuencia cardíaca y un monitor integrador de la espectroscopia de infrarrojos posicionado sobre el vasto intermedio del cuádriceps a lo largo del test hasta completarlo, dado que dentro de la naturaleza de las pruebas de puntuación y madison se encuentran diversos esprints puntuables a disputar, relevos en el caso de la madison a efectuar, contando además del propio desempeño variable de la prueba como puede ser a través de aceleraciones o ataques de participantes. El presente test se debería de adaptar la duración a la distancia de competición a cubrir y el mantenimiento del ritmo para los ciclistas de puntuación introduciendo una motocicleta para simular un ritmo medio del grupo ciclista durante la competición. Los esprints se realizarían como estipule el reglamento UCI en la prueba, cada 2.5 km en velódromos de 250 m de longitud.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abt, J. P., Smoliga, J. M., Brick, M. J., Jolly, J. T., Lephart, S. M., & Fu, F. H. (2007). Relationship between cycling mechanics and core stability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1300-1304. Doi: 10.1519/R-21846.1
- Atkinson, G., Peacock, O., Gibson, A. S. C., & Tucker, R. (2007). Distribution of power output during cycling. *Sports Medicine*, 37(8), 647-667. Doi: 10.2165/00007256-200737080-00001
- Bartram, J. C., Thewlis, D., Martin, D. T., & Norton, K. I. (2017). Predicting critical power in elite cyclists: questioning the validity of the 3-minute all-out test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 783-787. Doi: 10.1123/ijsp.2016-0376
- Bartram, J. C., Thewlis, D., Martin, D. T., & Norton, K. I. (2018). Accuracy of W' recovery kinetics in high performance cyclists—modeling intermittent work capacity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 724-728. Doi: 10.1123/ijsp.2017-0034
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84. Doi: 10.1097/00005768-200001000-00012
- Blair, S. N., Painter, P., Pate, R., Smith, K., & Taylor, C. (1988). *Resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia, Estados Unidos: Lea & Febiger.
- Borghuis, J., Hof, A. L., & Lemmink, K. A. (2008). The importance of sensory-motor control in providing core stability. *Sports Medicine*, 38(11), 893-916. Doi: 10.2165/00007256-200838110-00002
- Brito, J. P., Lopes, L., Conceição, A., Costa, A. M., & Louro, H. (2014). Stationary roller versus velodrome for maximal cycling test: a comparison. *Journal of Human Sport and Exercise*, 9(1), 7-16. Doi: 10.4100/jhse.2014.91.02
- Broker, J. P., Kyle, C. R., & Burke, E. R. (1999). Racing cyclist power requirements in the 4000-m individual and team pursuits. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(11), 1677-1685. Doi: 10.1097/00005768-199911000-00026
- Capelli, C., Rittveger, J., Bruseghini, P., Calabria, E., & Tam, E. (2016). Maximal aerobic power and anaerobic capacity in cycling across the age spectrum in male master athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 116(7), 1395-1410. Doi: 10.1007/s00421-016-3396-9
- Craig, N. P., & Norton, K. I. (2001). Characteristics of track cycling. *Sports Medicine*, 31(7), 457-468. Doi: 10.2165/00007256-200131070-00001
- De Koning, J. J., Bobbert, M. F., & Foster, C. (1999). Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(3), 266-277. Doi: 10.1016/s1440-2440(99)80178-9
- De Pauw, K., Roelands, B., Cheung, S. S., De Geus, B., Rietjens, G., & Meeusen, R. (2013). Guidelines to classify subject groups in sport-science research. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 111-122. Doi: 10.1123/ijsp.8.2.111
- Del Vecchio, L., Villegas, J., Borges, N., & Reaburn, P. (2016). Concurrent Resistance Training and Flying 200-Meter Time Trial Program for a Masters Track Cyclist. *Strength and Conditioning Journal*, 38(3), 1-10. Doi: 10.1519/SSC.0000000000000230
- Ettebarria, N., Ingham, S. A., Ferguson, R. A., Bentley, D. J., & Pyne, D. B. (2019). Sprinting after having sprinted: Prior high-intensity stochastic cycling impairs the winning strike for Gold. *Frontiers in Physiology*, 10, 100. Doi: 10.3389/fphys.2019.00100

- Faria, I. E. (1992). Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. *Sports Medicine*, 14(1), 43-63. Doi: 10.2165/00007256-199214010-00004
- Guellich, A., & Seiler, S. (2010). Lactate profile changes in relation to training characteristics in junior elite cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 316-327. Doi: 10.1123/ijsp.5.3.316
- Hanon, C., Dorel, S., Delfour-Peyrethon, R., Leprêtre, P. M., Bishop, D. J., Perrey, S., & Thomas, C. (2013). Prevalence of cardio-respiratory factors in the occurrence of the decrease in oxygen uptake during supra-maximal, constant-power exercise. *SpringerPlus*, 2(1), 1-11. Doi: 10.1186/2193-1801-2-651
- Harden, M., Wolf, A., Evans, M., Hicks, K. M., Thomas, K., & Howatson, G. (2020). Four weeks of augmented eccentric loading using a novel leg press device improved leg strength in well-trained athletes and professional sprint track cyclists. *Plos one*, 15(7), e0236663. Doi: 10.1371/journal.pone.0236663
- Hopker, J., & Jobson, S. (2012). *Performance cycling: the science of success*. Reino Unido: Bloomsbury Sport.
- Housh, D. J., Housh, T. J., & Bauge, S. M. (1989). The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. *Ergonomics*, 32(8), 997-1004. Doi: 10.1080/00140138908966860
- Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., & Hawley, J. A. (2000). The bioenergetics of world class cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(4), 414-433. Doi: 10.1016/s1440-2440(00)80008-0
- Jobson, S. A., Passfield, L., Atkinson, G., Barton, G., & Scarf, P. (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports Medicine*, 39(10), 833-844. Doi: 10.2165/11317840-000000000-00000
- Karsten, B., Jobson, S., Hopker, J., Jimenez, A., & Beedie, C. (2013). High agreement between laboratory and field estimates of critical power in cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 35(4), 298-303. Doi: 10.1055/s-0033-1349844
- Kyle C. R. (1991). Ergogenics for bicycling. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Ergogenics. Enhancement of Performance in Exercise and Sport*. Indianapolis, Estados Unidos: Brown & Benchmark.
- Kyle, C. R. (1988). *Medical and Scientific Aspects of Cycling*. Estados Unidos: Human Kinetics.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training?. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 1-10. Doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x
- Lindsay, A., Petersen, C., Ferguson, H., Blackwell, G., & Rickerby, S. (2018). Lack of a dose response from 7 days of ischemic preconditioning in moderately trained cyclists. *Sports Medicine International Open*, 2(4), E91-E97. Doi: 10.1055/a-0639-5035
- Maestu, J., & Jurimae, J. (2000). Anthropometrical and physiological factors of rowing performance: a review. *Acta Kinesiologica Universitatis Tartuensis*, 5, 130-50.
- McDonald, K. G., Grote, S., & Shoepe, T. C. (2014). Effect of training mode on post-exercise heart rate recovery of trained cyclists. *Journal of Human Kinetics*, 41, 43. Doi: 10.2478/hukin-2014-0031
- Mostaert, M., Laureys, F., Vansteenkiste, P., Pion, J., Deconinck, F. J., & Lenoir, M. (2020). Discriminating performance profiles of cycling disciplines. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 16(1), 110-122. Doi: 10.1177/1747954120948146

- Muyor, J. M., & Zabala, M. (2016). Road cycling and mountain biking produces adaptations on the spine and hamstring extensibility. *International Journal of Sports Medicine*, 37(01), 43-49. Doi: 10.1055/s-0035-1555861
- Nimmerichter, A., & Williams, C. A. (2015). Comparison of power output during ergometer and track cycling in adolescent cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 1049-1056. Doi: 10.1519/JSC.0000000000000723
- Nimmerichter, A., Eston, R. G., Bachl, N., & Williams, C. (2011). Longitudinal monitoring of power output and heart rate profiles in elite cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 831-839. Doi: 10.1080/02640414.2011.561869
- Ofoghi, B., Zeleznikow, J., Dwyer, D., & Macmahon, C. (2013). Modelling and analysing track cycling Omnium performances using statistical and machine learning techniques. *Journal of Sports Sciences*, 31(9), 954-962. Doi: 10.1080/02640414.2012.757344
- Okuno, N. M., Perandini, L. A., Bishop, D., Simões, H. G., Pereira, G., Berthoin, S., ... & Nakamura, F. Y. (2011). Physiological and perceived exertion responses at intermittent critical power and intermittent maximal lactate steady state. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(7), 2053-2058. Doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e83a36
- Paton, C. D., & Hopkins, W. G. (2001). Tests of cycling performance. *Sports Medicine*, 31(7), 489-496. Doi: 10.2165/00007256-200131070-00004
- Pepper, M. L., Housh, T. J., & Johnson, G. O. (1992). The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *International Journal of Sports Medicine*, 13(02), 121-124. Doi: 10.1055/s-2007-1021242
- Poole, D. C., Rossiter, H. B., Brooks, G. A., & Gladden, L. B. (2020). The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *The Journal of Physiology*, 599(3), 737-767. Doi: 10.1113/JP279963
- Richard, N. A., & Koehle, M. S. (2019). Optimizing recovery to support multi-evening cycling competition performance. *European Journal of Sport Science*, 19(6), 811-823. Doi: 10.1080/17461391.2018.1560506
- Sarkar, S., Dasgupta, S., Meitei, K. K., Adhikari, S., Bandyopadhyay, A., & Dey, S. K. (2020). Effect of Eccentric Cycling and Plyometric Training on Physiological and Performance Related Parameters of Trained Junior Track Cyclists. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 27(1), 14-20. Doi: 10.2478/pjst-2020-0003
- Sigrist, S., Maier, T., & Faiss, R. (2017). Qualitative Video Analysis of Track-Cycling Team Pursuit in World-Class Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1305-1309. Doi: 10.1123/ijsp.2016-0596
- Stone, M. H., Sands, W. A., Carlock, J. O. N., Callan, S. A. M., Dickie, D. E. S., Daigle, K., ... & Hartman, M. (2004). The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 878-884. Doi: 10.1519/14874.1
- Tissot timing. 2020 UCI track cycling world championships. 2020. <https://www.tissotiming.com/2020/ctrwch>
- Tofari, P. J., Cormack, S. J., Ebert, T. R., Gardner, A. S., & Kemp, J. G. (2017). Comparison of ergometer-and track-based testing in junior track-sprint cyclists. Implications for talent identification and development. *Journal of Sports Sciences*, 35(19), 1947-1953. Doi: 10.1080/02640414.2016.1243795

- UCI. Unión Ciclista Internacional, *Constitutions and Regulations: Part III: Track Races*. 2021a. Consultado el 17 de febrero de 2021. <https://www.uci.org/inside-uci/constitutions-regulations/regulations>
- UCI. Unión Ciclista Internacional, *Historical of the World Records*. 2021b. Consultado el 17 de febrero de 2021. <https://www.uci.org/track/about-track-cycling>
- Vercoe, J., & R McGuigan, M. (2018). Relationship between strength and power production capacities in trained sprint track cyclists. *Kinesiology*, 50(Supplement 1), 96-101.
- Waldron, M., Gray, A., Furlan, N., & Murphy, A. (2016). Predicting the sprint performance of adolescent track cyclists using the 3-minute all-out test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(8), 2299-2306. Doi: 10.1519/JSC.0000000000001311
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*, 6ª ed. Barcelona, España: Paidotribo.
- Zalikhanova, A. A., Kovylin, M. M., & Sopov, V. F. (2015). Specifics of motivational sphere of athletes in various cycling disciplines. *Theory and Practice of Physical Culture*, (4), 15.

