



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Efectos del entrenamiento a cadencias bajas sobre el rendimiento

ciclista: una revisión narrativa

“Effect of low cadence training on cycling performance: a narrative
review”

Autor

Julio Iñiguez Fuentes

Tutor

Alejandro García Giménez

Área de Educación Física y Deportiva

Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte

Fecha de presentación 10/06/2024

Resumen:

Introducción: El ciclismo, es un deporte de resistencia, que se clasifica como ciclo debido a su estructura repetitiva del movimiento. Su rendimiento depende de diversas vías metabólicas y factores fisiológicos, además de incluir la importancia de la cadencia de pedaleo, por ello el Trabajo Fin de Grado revisa el efecto del entrenamiento a cadencias bajas/torque en el rendimiento ciclistas. Métodos: Se realizó una revisión narrativa sintetizando toda la literatura científica existente sobre el trabajo de cadencias bajas en ciclismo, en plataformas como; Pumbed, Web of Sciences y Scopus, para identificar todos los artículos que pudiesen ser relevantes, sobre el tema de {"training", "low cadence", "cycling" y "performance"}. Resultados: En base a los criterios de búsqueda, se identificaron seis artículos sobre el entrenamiento de cadencias bajas en ciclismo. Cada uno de ellos indicaba los diferentes efectos sobre aspectos fisiológicos que condicionan el rendimiento ($P_{m\acute{a}x}$, $VO_{2m\acute{a}x}$, La^- ...) observando sus posibles beneficios. Discusión: Se identificó como cadencias optima entre los 40-60 rpm, con mejores beneficios en cadencias cercanas a 60 rpm. El trabajo a estas cadencias aumenta la fuerza implicada sobre el pedal ($P_{m\acute{a}x}$) y mejora la eficiencia del pedaleo, Sin embargo, el entrenamiento excesivo puede causar fatiga neuromuscular. También se observaron beneficios en la producción de lactato y $VO_{2m\acute{a}x}$, aunque algunos estudios muestran resultados contradictorios. La RPE también se ve influenciada por la cadencia. Conclusión: Esta revisión mostro que aunque algunos estudios indican mejoras en la $P_{m\acute{a}x}$ y eficiencia del pedaleo con cadencias bajas, no hay evidencia clara de que este enfoque mejore significativamente el rendimiento ciclistas debido a la variabilidad en los métodos de entrenamiento

Palabras clave: ciclismo, rendimiento, entrenamiento, cadencias bajas, parámetros fisiológicos.

Abstract: Introduction: Cycling is an endurance sport classified as cyclic due to its repetitive movement structure. Performance in cycling depends on various metabolic pathways and physiological factors, including the importance of pedaling cadence. This undergraduate thesis reviews the effect of low cadence/torque training on cyclist performance. Methods: A narrative review was conducted synthesizing all existing scientific literature on low cadence training in cycling from platforms such as PubMed, Web of Science, and Scopus to identify all relevant articles on the topics of "training," "low cadence," "cycling," and "performance." Results: Based on the search criteria, six articles were identified on low cadence training in cycling. Each of these indicated different effects on physiological aspects that condition performance ($P_{\text{máx}}$, $VO_{2\text{máx}}$, La-...), observing their potential benefits. Discussion: Optimal cadences were identified between 40-60 rpm, with greater benefits at cadences close to 60 rpm. Training at these cadences increases the force applied on the pedal ($P_{\text{máx}}$) and improves pedaling efficiency. However, excessive training can cause neuromuscular fatigue. Benefits were also observed in lactate production and $VO_{2\text{máx}}$, although some studies show contradictory results. RPE is also influenced by cadence. Conclusion: This review showed that while some studies indicate improvements in $P_{\text{máx}}$ and pedaling efficiency with low cadences, there is no clear evidence that this approach significantly improves cyclist performance due to variability in training methods.

Keywords: cycling, performance, training, low cadences, physiological parameters.

LISTADO DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
ATP	Adenosina trifosfato
VO _{2máx}	Consumo Máximo de Oxígeno
La ⁻	Concentración de lactato en sangre
PCr	Fosfocreatina
FC	Frecuencia Cardíaca
FC _{máx}	Frecuencia Cardíaca Máxima
RPE	Índice del Esfuerzo Percibido
MLSS	Máximo Estado Estable de Lactato
P _{máx}	Potencia Máxima
RCP	Punto de Compensación Respiratoria.
UL	Umbral de lactato
FTP	Umbral de Potencia Funcional
VT1	Umbral Ventilatorio 1
VT2	Umbral Ventilatorio 2

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Zonas de entrenamiento basados en el FTP, FC en el FTP y RPE (adaptado de Allen & Coggan, 2010). 5

Tabla 2: Zonas y métodos de entrenamiento (Pallarés & Morán Navarro, 2012)..... 6

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo de los estudios seleccionados 11

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Demandas fisiológicas.....	2
1.2. Zonas y métodos de entrenamiento	4
1.2.1. Test de campo	4
1.2.2. Test de laboratorio	5
1.3. Cadencia de pedaleo.....	7
1.4. Entrenamiento a cadencias bajas o torque.....	8
1.5. Justificación.....	8
2. MÉTODOS.....	9
2.1. Bases de datos	9
2.2. Criterios de inclusión	9
2.3. Criterios de exclusión.....	10
3. RESULTADOS.....	12
4. DISCUSIÓN.....	17
4.1. Pico máximo de potencia	17
4.2. Eficiencia bruta	18
4.3. Fatiga mecánica.....	18
4.4. Trabajo convencional de fuerza	19
4.5. $VO_{2máx}$	20
4.6. RPE.....	20
5. CONCLUSIONES	22
6. LIMITACIONES DEL TRABAJO FINAL DE GRADO	23
7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	23
8. BIBLIOGRAFÍA.....	25

1. INTRODUCCIÓN

El ciclismo es un deporte de resistencia, el cual se puede clasificar como cíclico, ya que muestra una estructura repetitiva, con algunas fluctuaciones que dan lugar al movimiento conocido como pedaleo (Vieten & Weich, 2020). El pedaleo o la técnica de pedaleo, es la manera en la que la fuerza producida por el ciclista se transfiere sobre la biela o pedal, pudiendo diferenciar diferentes técnicas; pedaleo redondo, pulling (tirón en la fase de recobro) o pushing (especial atención en el empuje) (Korff et al., n.d.)

Dentro del ciclismo podemos encontrar diferentes tipos de modalidad como el ciclismo de ruta, de montaña o de pista entre otros. Cada modalidad tiene una serie de características únicas, sobre el recorrido, desniveles, aspectos fisiológicos ($P_{\text{máx}}$, $VO_{2\text{máx}}$...). Los ciclistas de pista se caracterizan por eventos cortos de alta intensidad, requiriendo un mayor poder explosivo, es decir, una $P_{\text{máx}}$ alta (Mostaert et al., 2021). Por otro lado, en el ciclocross es necesario un alto $VO_{2\text{máx}}$, ya que pasan gran parte de la competición en esta zona, además se caracteriza por grandes ascensos, y descensos técnicos, lo que produce grandes variaciones en la potencia, produciendo una mayor potencia intermitente que los ciclistas de ruta (*Demandas Fisiológicas Del Ciclocross*, n.d.). Por otro lado, las demandas fisiológicas en el ciclismo de ruta se caracterizan por un $VO_{2\text{máx}}$ $73 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, una potencia media de 431 w, y una $P_{\text{máx}}$ relativa de $5,8 \text{ w}\cdot\text{kg}^{-1}$. Sin embargo, los ciclistas de montaña se caracterizan por un $VO_{2\text{máx}}$ superior de $78 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, una potencia media inferior de 413 w, y una $P_{\text{máx}}$ relativa de $6,3 \text{ w}\cdot\text{kg}^{-1}$, superior a los ciclistas de ruta. Todas estas demandas fisiológicas cobrarán una mayor o menor importancia en base al perfil de la ruta o etapa (Lee et al., 2002).

1.1. Demandas fisiológicas

El ciclismo por lo general “es un deporte de fondo, pero en el que se ponen a prueba distintas cualidades del atleta” (Lezama, n.d.) relacionadas con el campo de la fisiología, las cuales son variables, y están condicionadas por las demandas del recorrido, por las condiciones climáticas, y la demografía de la competición (Hopker & Jobson, 2012)

Dentro del campo de la fisiología, se diferencian distintas vías metabólicas, las cuales se agrupan en tres grandes grupos:

- Vía de los fosfágenos: Esta vía aporta energía al músculo desde 1-15 segundos de un ejercicio de alta intensidad, mediante la utilización de ATP y PCr (Wells et al., 2009).
- Anaeróbica glucolítica: Vía la cual aporta energía durante esfuerzos de una duración de 15 segundos a 3 minutos, mediante la utilización de glucosa en sangre y glucógeno (hígado y músculos). Además, genera ácido láctico (Wells et al., 2009).
- Fosforilación oxidativa: vía la cual es utilizada para obtener energía a través de la glucosa y ácidos grasos. Este proceso ocurre en las mitocondrias, ya que es necesario la presencia de oxígeno (Chamari & Padulo, 2015)

El uso de estas vías, dependiendo de las condiciones fisiológicas durante el ejercicio, se activarán en mayor o menor medida en base a la cantidad y tipo de energía que se vaya a necesitar (Chamari & Padulo, 2015).

En una modalidad como el ciclismo, el rendimiento se ve condicionado por los siguientes factores: $VO_{2m\acute{a}x}$, UL, eficiencia bruta y la capacidad anaeróbica (Hopker & Jobson, 2012; Joyner & Coyle, 2008; Lucia et al., 2001)

- $VO_{2m\acute{a}x}$: Es el límite superior que condiciona el rendimiento aeróbico. Los atletas de elite tienen un elevado $VO_{2m\acute{a}x}$ 70-85 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, estos mismos valores los pueden tener sujetos aficionados, sin embargo, la capacidad para mantener porcentajes elevados de consumo de oxígeno a lo largo del tiempo es determinante para el éxito (Lucia et al., 2001).
 - o UL: Este factor responde a la capacidad de mantener una intensidad determinada lo más cercana al $VO_{2m\acute{a}x}$, sin generar cantidades descontroladas de lactato. En deportistas aficionados el lactato aumenta exponencialmente cuando superan el 60% del $VO_{2m\acute{a}x}$, sin embargo, en sujetos entrenados este porcentaje puede ser del 75-90% del $VO_{2m\acute{a}x}$. La concentración de lactato se puede reducir, a través del reclutamiento de un mayor número de fibras musculares, lo que reduce su fatigabilidad, y mediante la reposición de los depósitos de glucógeno mediante su ingesta (Joyner & Coyle, 2008).
- Eficiencia bruta: es la proporción de trabajo mecánico aplicado sobre la biela, respecto al gasto energético que ha supuesto. La estructura muscular es clave, ya que aquellos sujetos con un mayor porcentaje de fibras tipo I (más eficientes), tienden a tener una mayor eficiencia. En deportistas de élite esta eficiencia bruta puede variar desde 18,5% hasta 23,5% y se puede mejorar a través del entrenamiento de resistencia continuo, con una mejora de 1-3% por año (Joyner & Coyle, 2008).
- Capacidad anaeróbica: En esfuerzos muy intensos de 13-30 minutos la contribución de esta vía incrementa en un 10-20% en la reposición de ATP a través de la generación de lactato (Joyner & Coyle, 2008). Por tanto, la capacidad de “buffering” es aquella que permite resistir cambios bruscos en la acidez metabólica debido a los esfuerzos de alta

intensidad, por lo que reducir la producción de lactato y tolerar esta acidez, es importante para el rendimiento del deportista (Hopker & Jobson, 2012).

1.2.Zonas y métodos de entrenamiento

En ciclismo al igual que el resto de los deportes de resistencia, existen diferentes zonas de entrenamiento, estas zonas pueden estar basadas en el $VO_{2m\acute{a}x}$, FTP o en base a la $FC_{m\acute{a}x}$. Para poder determinar estos valores es necesario implementar diferentes tests de campo o de laboratorio.

1.2.1. Test de campo

El FTP se define como la mayor potencia que un ciclista puede mantener en un estado casi estable durante aproximadamente 60 minutos (Borszcz et al., 2018) . Para calcular este FTP, es necesario seguir el proceso elaborado por Allen & Coggan, (2010); Sitko et al., (2023):

Calentamiento de 50 minutos que incluye 20 minutos suaves a una intensidad elegida, seguidos de 3 series de 1 minuto a una cadencia de pedaleo elevada (100-105 rpm) con 1 minuto de descanso entre cada serie. Luego, hacer 5 minutos suaves a una intensidad elegida, seguidos de 5 minutos a máxima intensidad para preparar al cuerpo para el esfuerzo máximo. Después, realizar 10 minutos suaves a una intensidad elegida y concluir con 5 minutos de descanso completo antes de iniciar el test principal. La parte principal consiste en 20 minutos a la máxima potencia posible, donde el ciclista debe mantener el mayor esfuerzo constante. Finalmente, la vuelta a la calma o recuperación consiste en 10 minutos suaves a una intensidad elegida, permitiendo al cuerpo reducir gradualmente la frecuencia cardíaca y comenzar el proceso de recuperación. Este plan asegura una preparación adecuada, un máximo esfuerzo durante la prueba y una recuperación efectiva post-ejercicio.

La potencia obtenida en esos 20 min habrá que multiplicarla por un factor de corrección en función del nivel del deportista, el cual se determina a través del $VO_{2\text{máx}}$ (Sitko et al., 2023). Si el deportista es profesional el factor de corrección será 0.96, bien entrenado 0.95, entrenados 0.92, y deportistas recreacionales 0.88. La potencia resultante será nuestro FTP. (Allen & Coggan, 2010).

Nivel	Descripción	%FTP	%FC	RPE	Duración de entrenos continuos	Duración de entrenos con intervalos
1	Recuperación activa	<55	<68	<2	30-90 min	N/A
2	Resistencia	56-75	69-83	2-3	60-300 min	N/A
3	Tempo	76-91	84-94	3-4	60-180 min	N/A
4	UL	91-105	95-105	4-5	N/A	8-30 min
5	$VO_{2\text{máx}}$	106-120	>106	6-7	N/A	3-8 min
6	Capacidad anaeróbica	121-150	N/A	>7	N/A	30s-3 min
7	Neuromuscular	N/A	N/A	Máxima	N/A	<30 s

Tabla 1: Zonas de entrenamiento basados en el FTP, FC en el FTP y RPE (adaptado de Allen & Coggan, 2010).

1.2.2. Test de laboratorio

El $VO_{2\text{máx}}$, se puede calcular en base al test propuesto por Price & Donne, (1997). Es un test incremental realizado en un cicloergómetro con analizador de gases, que consiste en realizar un calentamiento de 10 minutos a 150 w, para posteriormente iniciar el test incremental con una carga de 80 w, e ir incrementando la carga cada minuto 30w en hombres, y 25 w en mujeres. Se pondrá fin al test cuando el sujeto este exhausto.

Este test nos permitirá conocer el $VO_{2\text{máx}}$ y establecer las diferentes zonas de entrenamiento, además de conocer el primer VT1, VT2 y MLSS, e incluso la $FC_{\text{máx}}$ (Pallarés & Morán Navarro, 2012).

A través de todos estos parámetros se podrán establecer las siguientes zonas y métodos de entrenamiento

			INTENSIDAD						VOLUMEN				DENSIDAD									
Método*	Abrev.	Zona Eto.	%VAM	%VO _{2max}	%FC _{reserva}	%FC _{max}	%UmAnae	[Lact] mmol·L ⁻¹	T TotalSesión	T Rep	Nº Rep.	Nº Series	T' Recup _{repet}	T' Recup _{Series}								
Continuos	Continuo Extensivo	CE	R0 R1	< 65	< 65	< 65	< 70	70 - 65	1-2	varias horas	30 min	varias horas	30 min	-	-	-	-					
	Continuo Intensivo	CI	R1 R2	65 - 80	65 - 80	65 - 80	70 - 80	70 - 80	1-2	90 min	30 min	90 min	30 min	-	-	-	-					
	Continuo Variable 1	CV1	R1 R2	75 - 90	75 - 90	75 - 90	80 - 95	85 - 100	2-4	60 min	30 min	> 5 min		-	-	-	-					
			R0 R1	60 - 75	60 - 75	60 - 75	65 - 80	60 - 85				< 3 min										
Continuo Variable 2	CV2	R2 R3	85 - 95	85 - 95	85 - 95	90 - 95	100 - 110	4-6	40 min	20 min	entre 3 y 5 min		-	-	-	-						
		R0 R1	60 - 75	60 - 75	60 - 75	65 - 80	60 - 85				> 3 min											
Fraccionados	Interv. Extensivo Largo	IEL	R2 R3	85 - 95	85 - 95	85 - 95	90 - 95	90 - 105	3-5	70 min	45 min	15 min	2 min	6	10	-	2 min	5 min	-			
	Interv. Extensivo Medio	IEM	R3 R3+ R4	90 - 105	90 - 105	90 - 105	95 - 100	-	6-8	45 min	35 min	3 min	1 min	12	15	-	1 min	3 min	-			
	Interv. Intensivo Corto	IIC	R3+ R4	100 - 115	100 - 115	-	-	-	8-14	30 min	25 min	1 min	20 s	3	4	3	4	30 s	2 min	10 min	12 min	
	Interv. Intensivo Muy Corto	IIMC	R6	> 160	Velocidad Máxima					6-8	60 min	50 min	15 s	8 s	3	4	6	8	2 min	3 min	5 min	10 min
	Repet. Largas	RL	R4	105 - 120	-	-	-	-	8-14	70 min	40 min	3 min	2 min	3	6	-	10 min	12 min	-			
	Repet. Medias	RM	R5	120 - 140	-	-	-	-	15-20	70 min	40 min	90 s	45 s	3	6	-	10 min	12 min	-			
Repet. Cortas	RC	R5 R6	140 - 160	-	-	-	-	10-15	70 min	40 min	30 s	20 s	6	10	-	8 min	10 min	-				

Tabla 2: Zonas y métodos de entrenamiento (Pallarés & Morán Navarro, 2012)

Para el entrenamiento de todas las zonas, no se especifica ninguna cadencia específica, sin embargo, Mater et al., (2021) muestra que cuando se trabajan con cadencias de 100-110 rpm durante 30 minutos en esfuerzos cercanos al 85% del VO_{2máx}, no existe agotamiento del glucógeno muscular. Por otro lado, si estas cadencias se reducen a 50 rpm se produce un mayor agotamiento de glucógeno muscular en comparación con la cadencia anterior.

Mater et al., (2021) planteo que el tiempo hasta el agotamiento al 95% del FTP con cadencias 20% más altas que su cadencia libre habitual, el tiempo de duración era menor, sin embargo, con cadencias 20% más bajas que su cadencia libre habitual se mostró que se producían duraciones de ejercicio más largas.

Por tanto y atendiendo a las anteriores variables la cadencia óptima en ciclismo no es un valor fijo para todo el mundo, ya que hay diferentes factores y variables que lo condicionan, como la intensidad del ejercicio o el tipo de fibras musculares del sujeto. Además, Buško, (2004) plantea que una cadencia de 60 rpm durante un ejercicio de intensidades submáximas genera una menor $\dot{V}O_2$ y un menor estrés fisiológico (menos pulsaciones), que cadencia que oscilaban entre los 40-100 rpm. Por tanto, en función de nuestro objetivo en cada zona deberemos realizar un tipo de cadencia u otro.

1.3. Cadencia de pedaleo

La cadencia es el número de pedaladas que se dan en un minuto, es decir, la velocidad, por lo que la potencia en ciclismo es el producto de la cadencia de pedaleo y la fuerza aplicada sobre el pedal (Mater et al., 2021). La variación de la cadencia aumentándola o reduciéndola (torque) por parte del ciclista puede generar grandes cambios en las demandas fisiológicas nombradas anteriormente, además factores como el terreno, las condiciones meteorológicas, la carga de trabajo, o las adaptaciones al entrenamiento, alteran continuamente la cadencia de pedaleo (Ansley & Cangle, 2009)

Las demandas fisiológicas se pueden ver alteradas en función de la cadencia, produciendo efectos sobre la FC, el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, el lactato (Whitty et al., 2016). Por ejemplo, se ha observado que el trabajo con cadencias bajas al final de una sesión de entrenamiento mejora el tiempo hasta la fatiga en esfuerzos siguientes, generando un menor estrés metabólico (Vercruyssen et al., 2005).

1.4. Entrenamiento a cadencias bajas o torque

La cadencia habitual en los ciclistas profesionales en competición se encuentra entre 80-105 rpm según Watson & Swensen, (2006), aunque esta cadencia se puede ver afectada por factores como la edad, la potencia media y aeróbica máxima, ir a rueda, la duración del ejercicio, y la inclinación/desnivel entre otros (Hansen & Smith, 2009). Sin embargo, existen dudas acerca de cuál es el rango óptimo para determinar que estamos trabajando a cadencias bajas.

Algunos autores como Graham et al., (2018) plantean que el trabajo de torque se realiza en 60 rpm y que a través de él podemos generar un menor estrés metabólico, ya que la FC media es menor, la potencia generada es mayor, y además es un 16.1% más eficiente si hablamos de eficiencia bruta. Otros autores como Jacobs et al., (2013) señalan los mismos beneficios nombrados anteriormente, e incluye que a esta cadencia la cantidad de lactato producida es menor, hasta en un 41,3%.

Por otro lado, Kristoffersen et al., (2014) plantea que el trabajo de torque se debe encontrar en 40 rpm, y que este no tiene beneficios significativos sobre el rendimiento de los sujetos. Por otro lado, autores como Ludyga et al., (2017) compararon las diferencias de rendimiento entre cadencias bajas (60 rpm) y cadencias altas (120-140 rpm) y no se encontró ninguna diferencia que hiciese el trabajo de torque diferencial.

1.5. Justificación

En consecuencia, esta revisión narrativa pretende determinar el efecto que tiene el entrenamiento de cadencias bajas/torque sobre la mejora del rendimiento en ciclistas, otorgando cierta claridad al respecto, ya que no se han observado revisiones recientes y se considera de interés poder incluirlo dentro del entrenamiento.

2. MÉTODOS

2.1. Bases de datos

La búsqueda de la literatura científica se ha realizado del 6-8 de marzo del 2024, usando las siguientes bases de datos: Pumbed, Web of Science (WOS), y Scopus. Se ha realizado una primera búsqueda para descartar que hubiese revisiones recientes sobre esta temática, usando el término “review”. Una vez obtenida la primera información, la búsqueda se ha centrado en estudios enfocados en entrenamiento de cadencias bajas y altas, y rendimiento, todo ello enfocado al ciclismo usando las palabras clave “training”, “low cadence”, “cycling” y “performance” con los operadores Booleanos “AND” y “OR” quedando la búsqueda de la siguiente manera:

- Pumbed: “((training) AND (low cadence[Title/Abstract])) AND (cycling[Title/Abstract]) AND (performance[Title/Abstract])”
- Web of sciences: “(((TS=(training)) AND TS=(low cadence)) AND TS=(cycling)) AND TS=(performance)”
- Scopus: “(TITLE-ABS-KEY (low AND cadence) AND TITLE-ABS-KEY (training) AND TITLE-ABS-KEY (cycling) AND TITLE-ABS-KEY (performance))”

2.2. Criterios de inclusión

Un único individuo examinó los títulos y resúmenes de todas las publicaciones, determinando la relevancia de cada una de ellas en base a los criterios de inclusión. Tras ello, se descargaron todos los artículos para determinar si todos ellos cumplían los criterios. La relevancia de cada artículo se evaluó observando si respondían a la temática “El efecto que tiene el entrenamiento de cadencias bajas sobre el rendimiento en ciclistas”, y en base a ello se comprobaron los siguientes criterios de inclusión dentro de cada uno;

- a) Estudios que trabajasen con sujetos sanos y entrenados
- b) Estudios en inglés o en español
- c) Estudios en la que su muestra no superase los 65 años
- d) Únicamente artículos
- e) Sujetos sin discapacidad o limitaciones física.

Los estudios incluidos dentro de esta revisión narrativa se pueden ver sintetizados en la Figura

2.3. Criterios de exclusión

Los artículos duplicados, revisiones, y documentos de procedimientos fueron excluidos. Los criterios de exclusión fueron: a) sujetos con enfermedades o no entrenados; b) sujetos de tercera edad (65 años) (n=1); c) artículos que estuviesen en otro idioma que no fuese el inglés o español (n=2); d) sujetos que tengan limitaciones físicas o discapacidad; e) revisiones, documentos de trabajo, o artículos a los que no se pueda acceder (n=1); y f) artículos que no esté relacionados con la temática (n=15).

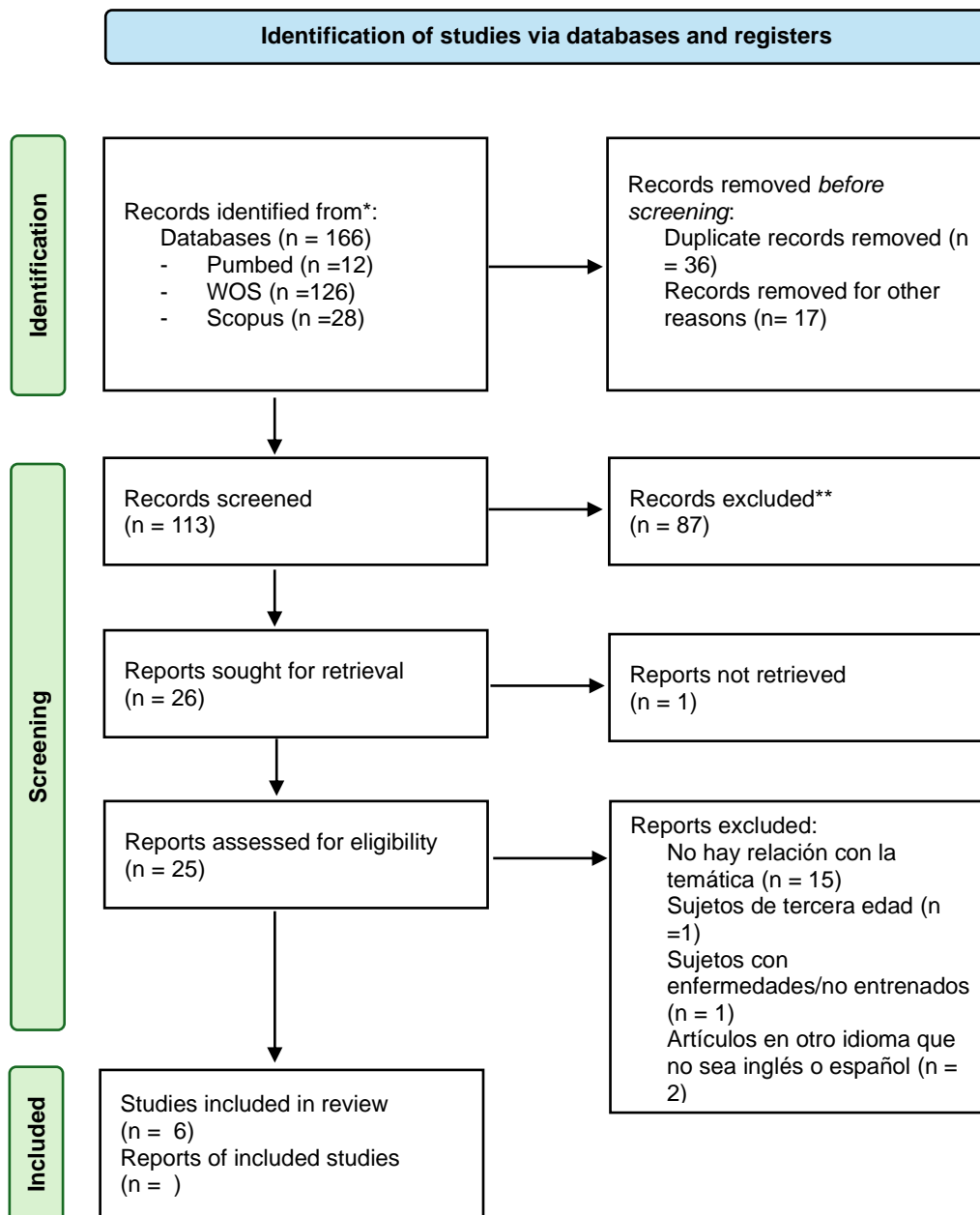


Figura 1: Diagrama de flujo de los estudios seleccionados

3. RESULTADOS

Estudio	Muestra	Entrenamiento realizado	Resultados
Paton et al., 2009	18 ciclistas de competición con un mínimo de tres años de experiencia ($VO_{2\text{máx}}$ $4.35 \pm 0.34 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) 2 grupos: Entrenamiento de cadencias bajas (n=9) Entrenamiento de cadencias altas (n=9)	Durante 4 semanas, se realizan 2 veces por semana, con un descanso entre sesiones de 48 h. Los siguientes entrenamientos: Series de 3·20 saltos a una pierna, a una caja de 40 cm (ambas piernas), alternadas con 3· (5·30 s) series de esfuerzo a máxima intensidad, a una cadencia baja de 60-70 rpm, o alta de 110-120 rpm, con 30 segundos de descanso entre repetición. Entre cada serie (salto, ciclismo) descansarán 2 min.	Las cadencias bajas mejoraron respecto a las cadencias altas; el pico de potencia en un test incremental ($3.6 \pm 3.7\%$), el $VO_{2\text{máx}}$ ($3.3 \pm 4.1\%$), la potencia en 4 mM de La^- ($7 \pm 5.9\%$), y la economía de ejercicio al 50% de la $P_{\text{máx}}$ ($5.1 \pm 4.9\%$)
Koninckx et al., 2010	18 ciclistas entrenados. ($VO_{2\text{máx}}$ $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) 2 grupos: Entrenamiento convencional de fuerza (n=9) Entrenamiento isocinético en bicicleta (n=9)	Durante 12 semanas se realizaron 2 veces por semana, con un descanso de 2 días entre sesiones, los siguientes entrenamientos: Fuerza convencional, 3·8-15 repeticiones de; media sentadilla con barra, y press de pierna. Con un descanso de 3 min por serie. Entrenamiento isocinético en bicicleta: cadencia 80 rpm, 4-8 series de 12 revoluciones de pedal a 775-875 w. Recuperación de 3 min entre series.	Ambos grupos mejoran la potencia media (5-8%) en un test de resistencia de 30 min. Ambos mejoraron la $P_{\text{máx}}$, y el UL en un test incremental, respecto al inicio del entrenamiento. El grupo de cadencias bajas no mejoró la $P_{\text{máx}}$ a 120 rpm, sin embargo, el grupo que entreno fuerza sí.

Estudio	Muestra	Entrenamiento realizado	Resultados
Nimmerichter et al., 2012	18 ciclistas entrenados ($VO_{2m\acute{a}x}$ 61.1 ± 5.0 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹). Míximo 11.8 h·semana entrenando durante las últimas 12 semanas. 3 grupos: Grupo 1: Subida a 60 rpm Grupo 2: Llano a 100 rpm Grupo 3: Continúan con su entrenamiento, pero no pueden hacer intervalos durante 4 semanas.	Durante 4 semanas, realizaron 2 sesiones por semana los siguientes entrenamientos: Grupo 1: 6·5 min a 60 rpm, a una intensidad correspondiente a su RCP (297 ± 11 w) con un descanso de 5 min al 30-50% de la intensidad anterior. Grupo 2: 6·5 min a 100 rpm, a una intensidad correspondiente a su RCP (304 ± 59 w) con un descanso de 5 min al 30-50% de la intensidad anterior. Grupo 3: No tiene intervalos de entrenamiento.	Los que entrenaron con cadencias bajas mejoraron su potencia en una contrarreloj en subida ($4.4 \pm 5.3\%$), y además también mejoraron su potencia en una contrarreloj llana ($1.5 \pm 4.5\%$). Cadencias altas mejoraron la contrarreloj en llano, y los que no se sometieron a estos entrenamientos mejoraron la contrarreloj en subida.
Kristoffersen et al., 2014	22 ciclistas entrenados ($VO_{2m\acute{a}x}$ 57.9 ± 3.7 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) 2 grupos: Grupo 1: Cadencia baja a 40 rpm (n=11) Grupo 2: Cadencia libre (n=11)	Durante 12 semanas, se realizaron 2 sesiones por semana los siguientes entrenamientos: Grupo 1: Cadencia baja 5·6 min a una intensidad correspondiente al 73-82% cd la $FC_{m\acute{a}x}$ con 3 min de descanso a una intensidad de 60-72% de la $FC_{m\acute{a}x}$ y una cadencia libre. Previo al entrenamiento se realizarán 15 min a una intensidad baja y cadencia libre. Grupo 2: 90 min de cadencia libre a una intensidad moderada (73-82% $FC_{m\acute{a}x}$)	No hubo diferencias significativas entre ambos grupos. Sin embargo, aquellos que entrenaron con cadencias libres mejoraron su $VO_{2m\acute{a}x}$ ($3.3 \pm 2.8\%$), además de mejorar su potencia media ($13 \pm 16\%$) en una contrarreloj de 30 min.

Estudio	Muestra	Entrenamiento realizado	Resultados
Whitty et al., 2016	16 ciclistas entrenados ($VO_{2m\acute{a}x}$ 4.85 ± 0.5 L·min ⁻¹). Míximo 300 km·semana. 2 grupos: Grupo 1: Cadencia baja (20% menos de su cadencia libre habitual) (n=8) Grupo 2: Cadencia alta (20% más de su cadencia libre habitual) (n=8)	Durante 6 semanas se realizaron 3 sesiones por semana el siguiente entrenamiento (cada grupo a su cadencia correspondiente): Calentamiento 10 min (5 min a 100 w y otros 5 min a 125 w). Series de 4·4 min al 70% $P_{m\acute{a}x}$ con un descanso entre series de 2 min a 100 w. En las semanas 3-4 se incrementó 1 serie, y en la semana 5-6 otra más. Vuelta a la calma de 10 min a 100 w.	Ambos grupos mejoraron su $P_{m\acute{a}x}$, y $VO_{2m\acute{a}x}$ tras el entrenamiento. Las cadencias altas mejoraron la eficiencia bruta en cadencia de 90-110 rpm. En una contrarreloj de 15 min, la potencia media de ambos incrementó, los de cadencias bajas en un 16% y los de cadencias altas en 8%.
Ludyga et al., 2017	15 hombres y 7 mujeres ciclistas ($VO_{2m\acute{a}x}$: 52.6 ± 3.7 (m)/ 45.9 ± 4.8 (f) ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹). Míximo de 8 h·semana entrenadas. 3 grupos: Grupo 1: Cadencias bajas a 60 rpm. Grupo 2: Cadencias altas a 120-140 rpm. Grupo control: Cadencias libres	Durante 4 semanas se realizaron 2 sesiones con 2 días de descanso entre sesiones, los siguientes entrenamientos: Entrenamiento por intervalos (lunes y jueves): Intensidad al 70-80% de su FC. 6-8·3 min con un descanso entre series de 3 min a una cadencia libre. Cada grupo a su cadencia establecida. Estos entrenamientos se completarán con sesiones de velocidad constante (martes y viernes) durante 45 min a intensidades sub-máximas.	Ambos grupos tuvieron una mejora en su rendimiento similar, en el $VO_{2m\acute{a}x}$, $P_{m\acute{a}x}$. Además, las cadencias altas (90-120 rpm) fueron las únicas capaces de generar adaptaciones en la función cerebral.

$VO_{2m\acute{a}x}$: Consumo Máximo de Oxígeno, **$P_{m\acute{a}x}$** : Potencia Máxima, **FC**: Frecuencia Cardíaca, **UL**: Umbral de Lactato, **La^-** : Concentración de Lactato en Sangre, **RCP**: Punto de Compensación Respiratoria.

Tras todo este proceso, de los 166 artículos, 36 fueron descartados por estar duplicados, y 104 se descartaron por no ser relevantes en la temática. Usando los criterios de inclusión de los 26, fueron seleccionados estos 6 artículos para esta revisión.

A través de nuestros criterios de inclusión y exclusión se han identificado 6 artículos desde 2009 hasta 2017, los cuales han proporcionado evidencia sobre le temática.

El perfil de la muestra de todos los artículos data de ciclistas entrenados, con experiencia durante varios años, con diferentes rangos de edad desde los 25 hasta los 47. Estos artículos tratan de dar evidencia sobre el efecto de las cadencias bajas comparándola con cadencias altas, cadencias libres o entrenamientos de fuerza.

Todos los estudios que compararon las cadencias bajas con las altas observaron tras el entrenamiento una mayor mejora en parámetros relacionados con el rendimiento como el $P_{m\acute{a}x}$, $VO_{2m\acute{a}x}$, o eficiencia bruta entre otros. El entrenamiento con cadencias comprendidas entre 60-70 rpm, producían mejoras respecto a las cadencias altas (100 rpm), en el pico de potencia incremental, aumentando en un 3.6%, el $VO_{2m\acute{a}x}$, incrementándolo en un 3.3% la potencia desarrollada con 4 mM de La^{-} , siendo el cambio más significativo con un 7% de mejora, y la economía de ejercicio al 50% de su $P_{m\acute{a}x}$, aumentando en un 5.1% (Paton et al., 2009). Ludyga et al., (2017) estableció una cadencia de 60 rpm (cadencia baja) comparándola con cadencias de 120-140 rpm (cadencias altas), a través de un grupo control el cual entrenaba con cadencias libres, el entrenamiento realizado con cadencias bajas supuso un aumento del $VO_{2m\acute{a}x}$ del 8.04% respecto al inicio ($p < 0.05$ pre vs. post), y un amento del 7.93% de la $P_{m\acute{a}x}$ ($p < 0.05$ pre vs. post), estas mejoras se produjeron de manera similar en el entrenamiento con cadencias altas.

Por otro lado, Whitty et al., (2016), observo que el entrenamiento ambos entrenamientos, cadencias bajas (60-81 rpm) y altas (96-121 rpm), mejoraron significativamente el $P_{\text{máx}}$ y $VO_{2\text{máx}}$. En el caso de las cadencias bajas se produjo una mejora del $P_{\text{máx}}$ del 6.3% ($p=0.05$), y del $VO_{2\text{máx}}$ del 2.41% ($p=0.01$).

Por otro lado, Nimmerichter et al., (2012) además de variar las cadencias, introdujo el componente pendiente y llano. Ambos grupos mejoraron sus valores de $P_{\text{máx}}$ ($p<0.05$) en un test incremental. Sin embargo, aquellos que trabajaron con cadencias bajas (60 rpm) y una pendiente del 7.2-8.5%, mejoraron su potencia desarrollada en una contrarreloj llana ($295\pm 15\text{w}$ vs. $300\pm 25\text{w}$), y en una contrarreloj en subida ($307\pm 14\text{w}$ vs. $321\pm 20\text{w}$). Sin embargo, el resto de los grupos únicamente fueron capaces de mejorar una de las dos contrarrelojes.

El estudio realizado por Kristoffersen et al., (2014) que compraron estas cadencias bajas (40 rpm), con las cadencias libres, mostro que este entrenamiento no suponía en el rendimiento del ciclista diferencias significativas. Sin embargo, el trabajo con cadencias libres permitía la mejora en la potencia desarrollada en una contrarreloj ($284\pm 42\text{w}$ vs. $297\pm 50\text{w}$), y en su $VO_{2\text{máx}}$, aumentando en un 3.6%.

Por último, el estudio realizado Koninckx et al., (2010) comparaba los efectos sobre el rendimiento de las cadencias bajas vs. trabajo de fuerza convencional. Ambos, entrenamientos generaron beneficios sobre la potencia media en 30 min (261w vs. 275w), la $P_{\text{máx}}$ ($p<0.05$, indicando diferencias significativas) y el UL en un test incremental, reduciendo la concentración de lactato en sangre para una mayor potencia en un 5.8%. Sin embargo, aquellos que realizaron entrenamiento de fuerza fueron capaces de seguir mejorando su $P_{\text{máx}}$ en comparación con el otro grupo, en cadencias de 120 rpm ($p<0.05$).

4. DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión narrativa era determinar los efectos del entrenamiento de cadencias bajas/torque en ciclismo, otorgando cierta claridad al respecto. Se han analizado los diferentes estudios acerca del tema con el objetivo de determinar una cadencia o un intervalo de cadencias, a partir de las cuales se establezca el trabajo con cadencias bajas. Atendiendo a todos los resultados de los diferentes estudios se puede considerar como cadencia óptima para el trabajo de torque aquellas que están comprendidas entre 40-60 rpm, conociendo que se obtienen mejores resultados sobre el rendimiento cuando se trabajan con valores cercanos o iguales a 60 rpm.

4.1. Pico máximo de potencia

Durante esta revisión, se ha visto la relación entre las cadencias bajas y la fuerza ejercida sobre el pedal, aumenta considerablemente tras un periodo de entrenamiento, usando este tipo de cadencias. Se puede observar que pedalear a cadencias bajas (40-60 rpm) tiene efectos asociados sobre el aumento de fuerza aplicada sobre el pedal, algunos autores como Paton et al., (2009), ven como el pico máximo de potencia de los sujetos se ve incrementado entre un 4-6% tras un periodo de entrenamiento de dos sesiones durante cuatro semanas, siendo superior al efecto que suponía trabajar con cadencias altas. Ludyga et al., (2017), tras un periodo de entrenamiento de 4 semanas, con dos sesiones de entrenamiento por semanas de cadencias bajas, no encontró diferencias significativas entre aquellos que trabajaron con cadencias altas o bajas, sin embargo, si comparamos la evolución de la $P_{\text{máx}}$ de estos sujetos, tras este periodo de entrenamiento vemos como mejoran dicha potencia en un 7,9%, respecto al primer día.

4.2. Eficiencia bruta

El aumento en la fuerza aplicada sobre el pedal a una misma cadencia puede llegar a ser beneficioso en términos de eficiencia bruta del pedaleo. Esta eficiencia de pedaleo viene acompañada por el tipo de fibra musculares, los sujetos con un menor contenido de fibras de tipo II poseen una mayor capacidad para desarrollar potencia durante esfuerzos prolongados, que aquellos sujetos con un mayor contenido de fibra tipo II, las cuales generan mayor fuerza y velocidad, pero se fatigan rápidamente (Majerczak et al., 2008). Por tanto, el trabajo de cadencias bajas (60-81 rpm) según Whitty et al., (2016), lleva a una mayor estimulación neuromuscular y reclutamiento de fibras musculares tipo II, por lo que podemos asumir, que puede mejorar el rendimiento en fatiga, pese a que no se llegan a observar cambios significativos en comparación con el trabajo de cadencia libres. Por lo que se puede deducir que este tipo de entrenamiento induce adaptaciones neuromusculares, con esta mayor activación de las fibras tipo II. Esta eficiencia bruta según Joyner & Coyle, (2008) se puede mejorar entorno a un 1-3% por año a través del entrenamiento continuo de resistencia, aunque dicho estudio, no plantea ningún tipo de cadencia específica.

4.3. Fatiga mecánica

Por otro lado, el entrenamiento excesivo o esfuerzos prolongados con cadencias bajas puede generar grandes fatigas a nivel muscular, conocido como fatiga mecánica, incrementando la posibilidad de producir una fatiga excesiva a nivel neuromuscular, provocando pérdidas de fuerza máxima de contracción voluntaria isométrica y concéntrica de los extensores de la rodilla (Lepers et al., 2001), y pudiendo provocar daños en el musculo si no se controla la carga correctamente.

La La^- es un marcador, que nos permite conocer la intensidad del ejercicio y la fatiga muscular. Paton et al., (2009) establece que tras cuatro semanas realizando entrenamientos específicos de cadencias bajas, los sujetos fueron capaces de desarrollar un 10.6% más de potencia a 4 mM de lactato, es decir, mejoró la potencia desarrollada perteneciente al VT2, sin embargo, aquellos que entrenaron cadencias altas únicamente mejoraron un 3.3%. Vercruyssen et al., (2005) plantea que trabajar con una cadencia 20% por debajo de tu cadencia habitual elegida, produce una menor La^- tras 30 minutos de ejercicio en comparación con una cadencia 20% más alta de lo habitual, por tanto, el trabajo con cadencias bajas mejora la La^- tras fatiga, confirmando la hipótesis realizada en el estudio de Whitty et al., (2016). También fue estudiado por Beneke & Leithäuser, (2017) en el cual la cadencia tenía un impacto significativo en la La^- en un esfuerzo de 30 minutos, donde la diferencia era de 1 mmol/l entre las cadencias bajas, y las altas. Además, aquellos que trabajan con cadencias altas tienden a tener valores más elevados de La^- debido a la mayor intensidad y frecuencia de contracción muscular, lo que produce un aumento de lactato según Nimmerichter et al., (2012). Estos valores pueden variar en base a la intensidad del ejercicio y tiempo de recuperación.

4.4.Trabajo convencional de fuerza

El trabajo de cadencias bajas, siempre se ha creído que es una manera específica de trabajar la fuerza sobre la bicicleta, sin embargo, el estudio realizado por Koninckx et al., (2010) se puede observar que es más efectivo el trabajo convencional de fuerza; sentadilla en barra y press de pierna, que el trabajo con cadencias bajas, ya que produce una mejora en la potencia desarrollada en una contrarreloj de 30 minutos tras 12 semanas de entrenamiento, en un 2.84% vs. los que trabajaron con cadencias bajas. Además, el estudio realizado por Bieuzen et

al., (2007) muestra que la cadencia energéticamente óptima de los ciclistas entrenados tiene una fuerte correlación con su capacidad de fuerza, sin embargo, en aquellos sujetos no entrenados esta cadencia viene determinada por su estado de resistencia, por tanto, quizás el intervalo de cadencia óptima para trabajar el torque/cadencias bajas en ciclistas entrenados vs ciclistas no entrenados, debe tener valores diferentes.

4.5. VO_{2máx}

El VO_{2máx} es un parámetro fisiológico con el que se puede evaluar la capacidad aeróbica y su rendimiento. La cadencia puede influir de forma significativa en su utilización, y en la eficiencia del ciclista, Patónet al., (2009) tras su intervención encontró que aquellos sujetos que entrenaron con cadencias bajas mejoraron un 3.3% su VO_{2máx} (p<0.05), respecto a los que entrenaron con cadencias altas, sin embargo, Kristoffersen et al., (2014) encontró que pedalear a una cadencia baja no necesariamente mejoraba los parámetros aeróbicos, sino que además el trabajo de cadencias libres tenía una mayor mejora en el VO_{2máx} con un 3.3%. Además, el VO_{2máx} en estudios más recientes (Ludyga et al., 2017), no muestra diferencias significativas. Por tanto, cuando se establece un grupo control, en el estudio los beneficios de las cadencias bajas se ven mermados y superados.

4.6. RPE

La RPE durante el ejercicio/entrenamiento juega un papel crucial en la motivación del individuo. Las cadencias en el pedaleo pueden influir en como los ciclistas perciben este esfuerzo a lo largo del ejercicio. Whitty et al., (2016) evaluó la percepción de esfuerzo central y periférica en diferentes cadencias (50, 70, 90 y 110 rpm), los sujetos con cadencias altas la RPE periférico fue mayor a 50 rpm, y la percepción central fue mayor a 110 rpm, sin

embargo, aquellos que entrenaron con cadencias bajas su RPE periférica y central fue mayor a 110 rpm. Esta relación de la percepción del esfuerzo y la cadencia puede estar influenciada por factores psicológicos y fisiológicos. Por lo que comprender como afectan este tipo de entrenamientos a la percepción del esfuerzo del sujeto es crucial para diseñar diferentes estrategias de entrenamiento efectivas. Blanchfield et al., (2014) encontró que el tipo de feedback dado al sujeto, en este caso, la exposición a señales visuales positivas, reducen la percepción del esfuerzo, mejorando el estado psicológico del ciclista lo cual está relacionado directamente con una mayor motivación para mantener su rendimiento.

Una vez analizado todos los parámetros fisiológicos que las cadencias producen, el análisis reciente realizado por Dunst et al., (2024) muestra la importancia de integrar la cadencia como uno de los ejes principales del entrenamiento, ya que permitirá establecer ritmos más precisos, debido a que los parámetros fisiológicos como el consumo de oxígeno, la La^- y la FC, varían mucho en función de la cadencia para una misma zona de trabajo, es decir, a una misma potencia (300 w) con diversas cadencias, podrá incidir en una zona metabólica de trabajo u otra. Este tipo de enfoque puede ser revolucionario de cara al futuro, ya que hoy en día todos los equipos World Tour trabajan con la potencia como principal herramienta. Esto puede conllevar a establecer nuevas zonas de trabajo basándose en la cadencia, al igual que existen en base; al $VO_{2máx}$, FC y potencia.

En lo que respecta a su aplicación dentro del entrenamiento y mundo del ciclismo, se puede intuir que entrenar a este tipo de cadencias puede generar beneficios en el rendimiento del ciclista, debido al aumento de fuerza aplicada sobre el pedal, que se traducen en una mejora en la eficiencia del pedaleo, y $P_{máx}$. Por tanto, se podrá implementar este tipo de entrenamientos siempre y cuando produzca una mejora del rendimiento en el sujeto, para ello

a través de los sensores de potencia y las aplicaciones de monitoreo del rendimiento, pueden ayudar a implementar una evaluación sobre el entrenamiento con cadencias bajas, proporcionando datos como: la cadencia, eficiencia del pedaleo, fuerza aplicada.... Considero que puede ser útil su aplicación ya que, en una competición, se trabajan todo tipo de cadencias, por lo que trabajar en todas ellas puede llevar a un rendimiento más eficiente.

5. CONCLUSIONES

Para concluir, a través de la presente revisión de 6 artículos, que abarcan el efecto del entrenamiento con diferentes cadencias sobre el rendimiento del ciclista, se ha obtenido las siguientes evidencias del trabajo con cadencias altas/torque. Se ha visto que aquellos ciclistas que entrenaron con intervalos de 30 segundos a un esfuerzo máximo con cadencias de 60-70 rpm, dos veces por semana durante un periodo de 4 semanas combinado con ejercicios pliométricos (saltos a 40 cm), mejoraron el pico de máxima potencia en una prueba incremental, además como la mejora de su potencia y economía del ejercicio. Además, otros métodos de entrenamiento son efectivos ya que producen mejoras similares en la potencia desarrollada en el UL.

Sin embargo, algunos estudios han reportado que el entrenamiento con cadencias libres tenía mayores mejoras en el rendimiento respecto a las cadencias bajas.

Por tanto, tras realizar esta revisión, he llegado a la conclusión que día de hoy no existe una evidencia clara que muestre que el trabajo de torque mejora el rendimiento de los ciclistas, una de las razones es la falta de un entrenamiento de intervalos común, ya que los entrenamientos aplicados en los estudios difieren mucho los unos de los otros.

6. LIMITACIONES DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Las limitaciones encontradas a la hora de elaborar la presente revisión han sido las siguientes:

- Los estudios tienen grandes diferencias en los métodos de entrenamientos aplicados, y la duración del periodo de entrenamiento.
- Limitaciones en cuanto a la muestra, ya que surge la necesidad de establecer un grupo control, para ver el efecto real de este tipo de entrenamientos en algunos estudios.
- Limitaciones en cuanto a la cantidad de artículos relacionados con la temática, surge la necesidad de estudiar más este tipo de entrenamientos para poder ser aplicados dentro de un programa de entrenamiento.

7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las futuras líneas de investigación son las siguientes:

- Establecer un rango de cadencia específico para trabajar el torque, y compararlo con diferentes métodos de entrenamiento existente, para obtener cual es el más eficaz en términos de rendimiento en las diferentes disciplinas del ciclismo.
- Evaluar los efectos residuales del entrenamiento con cadencias abajas una vez concluido el periodo de intervención del estudio, para ver cómo se mantiene el rendimiento a lo largo del tiempo.
- Evaluar los cambios producidos en parámetros metabólicos específicos, como la oxidación de grasas e hidratos de carbono, durante el entrenamiento con cadencias bajas.

- Evaluar como el entrenamiento con cadencias altas pues afectar a aspectos físico o motivacionales del ciclista, teniendo en cuenta valores como la percepción de esfuerzo, la satisfacción con el entrenamiento y la adherencia al programa de entrenamiento.
- Investigar el efecto que tiene el trabajo de torque sobre diferentes grupos poblacionales de ciclistas: principiantes, recreativos, atletas de elite, para determinar la efectividad.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, Hunter., & Coggan, Andrew. (2010). *Training and racing with a power meter*. 326.
- Ansley, L., & Cangle, P. (2009). Determinants of “optimal” cadence during cycling. *European Journal of Sport Science*, 9(2), 61–85.
<https://doi.org/10.1080/17461390802684325>
- Beneke, R., & Leithäuser, R. M. (2017). Maximal Lactate Steady State’s Dependence on Cycling Cadence. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 304–309. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2015-0573>
- Bieuzen, F., Vercruyssen, F., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2007). Relationship between strength level and pedal rate. *International Journal of Sports Medicine*, 28(7), 585–589.
<https://doi.org/10.1055/S-2007-964859>
- Blanchfield, A., Hardy, J., & Marcora, S. (2014). Non-conscious visual cues related to affect and action alter perception of effort and endurance performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(DEC). <https://doi.org/10.3389/FNHUM.2014.00967/ABSTRACT>
- Borszcz, F. K., Tramontin, A. F., Bossi, A. H., Carminatti, L. J., & Costa, V. P. (2018). Functional Threshold Power in Cyclists: Validity of the Concept and Physiological Responses. *International Journal of Sports Medicine*, 39(10), 737–742.
<https://doi.org/10.1055/S-0044-101546>
- Buško, K. (2004). The influence of pedalling frequency on mechanical efficiency in exercises with the same intensity. *Biology of Sport*, 21(1), 51–66.

- Chamari, K., & Padulo, J. (2015). “Aerobic” and “Anaerobic” terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sports Medicine - Open*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/S40798-015-0012-1>
- Demandas Fisiológicas del Ciclocross*. (n.d.). Retrieved May 22, 2024, from <https://g-se.com/demandas-fisiologicas-del-ciclocross-bp-G59737c5cc8bb5>
- Dunst, A. K., Hesse, C., & Ueberschär, O. (2024). Understanding optimal cadence dynamics: a systematic analysis of the power-velocity relationship in track cyclists with increasing exercise intensity. *Frontiers in Physiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2024.1343601/FULL>
- Graham, P. L., Zoeller, R. F., Jacobs, P. L., & Whitehurst, M. A. (2018). Effect of Cadence on Time Trial Performance in Recreational Female Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1739–1744. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002044>
- Hansen, E. A., & Smith, G. (2009). Factors affecting cadence choice during submaximal cycling and cadence influence on performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(1), 3–17. <https://doi.org/10.1123/IJSP.4.1.3>
- Hopker, James., & Jobson, Simon. (2012). *Performance Cycling : the Science of Success*. 336. https://www.researchgate.net/publication/258725387_Performance_Cycling_The_Science_of_Success
- Jacobs, R. D., Berg, K. E., Slivka, D. R., & Noble, J. M. (2013). The effect of cadence on cycling efficiency and local tissue oxygenation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 637–642. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31825DD224>

- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/JPHYSIOL.2007.143834>
- Koninckx, E., Leemputte, M. Van, & Hespel, P. (2010). Effect of isokinetic cycling versus weight training on maximal power output and endurance performance in cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 109(4), 699–708. <https://doi.org/10.1007/S00421-010-1407-9>
- Korff, T., Romer, L. M., Mayhew James Martin, I. C., Mayhew, I., & Martin, J. C. (n.d.). *Efecto de la Técnica de Pedaleo sobre la Efectividad Mecánica y la Eficiencia en Ciclistas*.
- Kristoffersen, M., Gundersen, H., Leirdal, S., & Iversen, V. V. (2014). Low cadence interval training at moderate intensity does not improve cycling performance in highly trained veteran cyclists. *Frontiers in Physiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2014.00034>
- Lee, H., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., & Hahn, A. G. (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 20(12), 1001–1008. <https://doi.org/10.1080/026404102321011760>
- Lepers, R., Millet, G. Y., & Maffiuletti, N. A. (2001). Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1882–1888. <https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00013>
- Lezama, P. C. (n.d.). *DEPORTE Y MEDICINA Ciclismo*.

- Lucia, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine*, 31(5), 325–337. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00004/FIGURES/TAB2>
- Ludyga, S., Hottenrott, K., & Gronwald, T. (2017). Four weeks of high cadence training alter brain cortical activity in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1377–1382. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1198045>
- Majerczak, J., Szkutnik, Z., Duda, K., Komorowska, M., Kolodziejski, L., Karasinski, J., & Zoladz, J. A. (2008). Effect of pedalling rates and myosin heavy chain composition in the vastus lateralis muscle on the power generating capability during incremental cycling in humans. *Physiological Research*, 57(6), 1–26. <https://doi.org/10.33549/physiolres.931283>
- Mater, A., Clos, P., Lepers, R., Parraca, M., Javier Sánchez-Alcaraz Martínez, B., Marín, D. M., & Tchounwou, P. B. (2021). *Effect of Cycling Cadence on Neuromuscular Function: A Systematic Review of Acute and Chronic Alterations Academic Editors: José Alberto Frade*. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157912>
- Mostaert, M., Laureys, F., Vansteenkiste, P., Pion, J., Deconinck, F. J. A., & Lenoir, M. (2021). Discriminating performance profiles of cycling disciplines. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 16(1), 110–122. https://doi.org/10.1177/1747954120948146/SUPPL_FILE/SJ-PDF-3-SPO-10.1177_1747954120948146.PDF

- Nimmerichter, A., Eston, R., Bachl, N., & Williams, C. (2012). Effects of low and high cadence interval training on power output in flat and uphill cycling time-trials. *European Journal of Applied Physiology*, 112(1), 69–78. <https://doi.org/10.1007/S00421-011-1957-5>
- Pallarés, J. G. (*), & Morán Navarro, R. J. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of Sport and Health Research*, ISSN-e 1989-6239, Vol. 4, N^o. 2, 2012, 136 Págs., 4(2), 119–136. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4184895>
- Paton, C. D., Hopkins, W. G., & Cook, C. (2009). Effects of low-vs.high-cadence interval training on cycling performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1758–1763. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181B3F1D3>
- Price, D., & Donne, B. (1997). Effect of variation in seat tube angle at different seat heights on submaximal cycling performance in man. *Journal of Sports Sciences*, 15(4), 395–402. <https://doi.org/10.1080/026404197367182>
- Sitko, S., Cirer-Sastre, R., & López-Laval, I. (2023). An Update Of The Allen & Coggan Equation To Predict 60-Min Power Output In Cyclists Of Different Performance Levels. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/A-2079-1363>
- Vercruyssen, F., Suriano, R., Bishop, D., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2005a). Cadence selection affects metabolic responses during cycling and subsequent running time to fatigue. *British Journal of Sports Medicine*, 39(5), 267–272. <https://doi.org/10.1136/BJSM.2004.011668>
- Vieten, M. M., & Weich, C. (2020). The kinematics of cyclic human movement. *PLoS ONE*, 15(3). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0225157>

- Watson, G., & Swensen, T. (2006). Effects of altering pedal cadence on cycling time-trial performance. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4), 296–300. <https://doi.org/10.1055/S-2005-865654>
- Wells, G. D., Selvadurai, H., & Tein, I. (2009). Bioenergetic provision of energy for muscular activity. *Paediatric Respiratory Reviews*, 10(3), 83–90. <https://doi.org/10.1016/J.PRRV.2009.04.005>
- Whitty, A. G., Murphy, A. J., Coutts, A. J., & Watsford, M. L. (2016). The effect of low- vs high-cadence interval training on the freely chosen cadence and performance in endurance-trained cyclists. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, 41(6), 666–673. <https://doi.org/10.1139/APNM-2015-0562>