

EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON HIDRATOS DE CARBONO EN CICLISTAS

**Grado en Ciencias de la Actividad Física y
el Deporte**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA
Y EL DEPORTE**



Realizado por: Luis Carlos Calderay Mora

Grupo TFG: M41

Año Académico: 2021-2022

Tutor/a: Rafael Manuel Navarro Barragán

Área: Revisión bibliográfica

RESUMEN

Introducción: Los carbohidratos son uno de los tres macronutrientes junto con las grasas y las proteínas en nuestra dieta, y su función principal es proporcionar energía al cuerpo. Por lo tanto, la suplementación con carbohidratos de la dieta puede mejorar el rendimiento en los deportes de resistencia, ya que son el sustrato de energía muscular preferido en intensidades moderadas a altas. Generalmente, casi nunca se ha excedido la cantidad de 60-90 g/h, por ello, incluso en individuos, puede ser una señal de que las mejoras pueden no ser dramáticas. Aunque también la elevada ingesta de hidratos de carbonos puede conllevar efectos negativos en el equilibrio bucal y dental y puede ocasionar malestares gástricos.

Objetivos: Hacer una revisión sistemática sobre la efectividad de la suplementación con hidratos de carbono en sujetos que practican la modalidad de ciclismo, así como determinar el efecto de la suplementación en el equilibrio bucal y dental, así como el impacto que tiene en condiciones climáticas.

Metodología: Se realizó una revisión sistemática en las siguientes plataformas: Medline Complete, SPORTDiscus with Full Text & Sports Medicine Source, a través de la base de datos de la UEM.

Resultados: Los resultados muestran los principales efectos con la suplementación de carbohidratos y evidencian la dosis recomendada para tomar, incidiendo positivamente sobre la toma de 90g/h.

Conclusión: La suplementación con carbohidratos en ciclistas genera un mayor rendimiento siempre y cuando se tome una dosis adecuada, ya que como hemos podido estudiar, puede llegar a provocar problemas gastrointestinales si sobrepasas su ingesta.

Palabras claves: Carbohydrate, Cycling, Cyclist, Exercise, Nutrition, Recovery, Sports, Competition, Training.

ABSTRACT

Introduction: Carbohydrates are one of the three macronutrients along with fats and proteins in our diet, and their main function is to provide the body with energy. Therefore, dietary carbohydrate supplementation may improve performance in endurance sports, as they are the preferred muscle energy substrate at moderate to high intensities. Generally, 60-90 g/h has rarely been exceeded, so even in individuals, it may be a sign that improvements may not be dramatic. Although the high intake of carbohydrates can also have negative effects on oral and dental balance and can cause gastric discomfort.

Objectives: To carry out a systematic review on the effectiveness of carbohydrate supplementation in subjects who practice cycling, as well as to determine the effect of supplementation on oral and dental balance, as well as the impact it has on climatic conditions.

Methodology: A systematic review was carried out in the following platforms: Medline Complete, SPORTDiscus with Full Text, E-Journals & Sports Medicine Source, through the UEM database.

Results: The results show the main effects with carbohydrate supplementation and show the recommended dose to take, positively affecting the intake of 90g/h.

Conclusion: Carbohydrate supplementation in cyclists generates greater performance as long as an adequate dose is taken, since, as we have been able to study, it can cause gastrointestinal problems if you exceed its intake.

Key words: Carbohydrate, Cycling, Cyclist, Exercise, Nutrition, Recovery, Sports, Competition, Training.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	4
3. Metodología.....	5
3.1 Diseño.....	5
3.2 Estrategia de búsqueda.....	5
3.3 Criterios de selección.....	5
3.4 Diagrama de flujos.....	6
4. Resultados.....	7
4.1 Cuadro resumen artículos empleados.....	8
4.2 Resumen artículos empleados.....	15
5. Discusión.....	34
6. Futuras líneas de investigación.....	36
7. Conclusiones.....	37
8. Referencias bibliográficas.....	38

Índice de tablas

1. Tabla 1. <i>Los principales carbohidratos de la dieta.....</i>	1
2. Tabla 2. <i>Cuadro resumen artículos empleados</i>	8
3. Tabla 3. <i>Protocolo entrenamiento.....</i>	16
4. Tabla 4. <i>VARIABLES ENTRE INTERVALOS.....</i>	22
5. Tabla 5. <i>Volumen y composición de bebidas antes, durante y después de las sesiones de entrenamiento en H-CHO y L-CHO ensayos.....</i>	24
6. Tabla 6. <i>Interpretación parámetros de salud y estado físico.....</i>	28
7. Tabla 7. <i>Análisis 1ª, 2ª y 3ª hora.....</i>	30

Índice de figuras

1. Figura 1. <i>Diagrama de flujos</i>	6
2. Figura 2. <i>Tiempo medio de la tarea de rendimiento</i>	15
3. Figura 3. <i>Análisis producción potencia en los 10 intervalos de sprint</i> ..	18
4. Figura 4. <i>Utilización de sustratos durante el ejercicio</i>	30
5. Figura 5. <i>RPPO en cada intervalo</i>	21
6. Figura 6. <i>Muestra del lactato en sangre durante los intervalos</i>	23
7. Figura 7. <i>Cambio porcentual en la potencia máxima alcanzada durante la prueba de ejercicio máxima incremental para cada participante</i>	25
8. Figura 8. <i>Comparación potencia-distancia en 4kms</i>	26
9. Figura 9. <i>Intervalo TT 20%</i>	27
10. Figura 10. <i>Potencia de salida durante la prueba contrarreloj de 30´</i> ..	31
11. Figura 11. <i>Oxidación de carbohidratos totales y glucógeno</i>	33

1. Introducción

Los carbohidratos (CHO) son uno de los tres macronutrientes junto con las grasas y las proteínas en nuestra dieta, y su función principal es proporcionar energía al cuerpo. Por lo tanto, son esenciales para el buen funcionamiento del cuerpo. Están hechos de bloques de construcción de azúcares, y se pueden clasificar de acuerdo con la cantidad de unidades de azúcar que se combinan en su molécula (Cummings y Stephen, 2007).

Tabla 1.

Los principales carbohidratos de la dieta.

Table 1 The major dietary carbohydrates

<i>Class (DP^a)</i>	<i>Subgroup</i>	<i>Principal components</i>
Sugars (1–2)	Monosaccharides	Glucose, fructose, galactose
	Disaccharides	Sucrose, lactose, maltose, trehalose
	Polyols (sugar alcohols)	Sorbitol, mannitol, lactitol, xylitol, erythritol, isomalt, maltitol
Oligosaccharides (3–9) (short-chain carbohydrates)	Malto-oligosaccharides (α -glucans)	Maltodextrins
	Non- α -glucan oligosaccharides	Raffinose, stachyose, fructo and galacto oligosaccharides, polydextrose, inulin
Polysaccharides (≥ 10)	Starch (α -glucans)	Amylose, amylopectin, modified starches
	Non-starch polysaccharides (NSPs)	Cellulose, hemicellulose, pectin, arabinoxylans, β -glucan, glucomannans, plant gums and mucilages, hydrocolloids

Nota. Adaptado de “Carbohydrate terminology and classification” de Cummings, J. H., & Stephen, A. M., (2007), *European Journal of Clinical Nutrition*, 61 Suppl 1(S1), S5-18.

(<https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602936>)

La suplementación con carbohidratos de la dieta puede mejorar el rendimiento en los deportes de resistencia, ya que son el sustrato de energía muscular preferido en intensidades moderadas a altas. Se pueden almacenar como glucógeno en el hígado (aproximadamente 80 a 120 g) y en los músculos (aproximadamente 350 a 700 g) (Menno et al., 2022).

La ingesta de CHO puede ayudar a preservar las concentraciones de glucosa en sangre y aumentar las tasas de oxidación de glucosa en las últimas etapas del ejercicio prolongado, cuando se agotan las reservas de glucógeno en el músculo esquelético y el hígado (McMahon y Thornbury, 2020).

(Pedro et al., 2019) el glucógeno no solo se considera un sustrato energético, sino también un regulador de las vías de señalización que regulan las adaptaciones inducidas por el ejercicio. Por lo tanto, las disponibilidades bajas o altas de CHO pueden generar resultados beneficiosos o negativos según el propósito.

También, se empieza a promover el entorno nutricional, es decir, la alta disponibilidad de carbohidratos antes y durante el ejercicio prolongado de alta intensidad para optimizar el rendimiento a través de la disponibilidad óptima de combustible y crear un entorno intracelular en el músculo esquelético en el que se mejoran las respuestas y adaptaciones al entrenamiento a través de la restricción de CHO.

A lo largo de estos últimos 4 años, se ha estudiado que los carbohidratos o hidratos de carbono, al ser uno de los principales tipos de nutrientes de nuestra dieta, se han convertido en la fuente más importante de energía para el organismo. Donde se ha podido comprobar que las adaptaciones, iniciadas por el ejercicio, pueden ser amplificadas o reducidas por la nutrición. Por ello, a lo largo de estos últimos años, se ha obtenido una mejor comprensión de las bases moleculares para las adaptaciones al entrenamiento y encontraremos formas de incorporar e integrar mejor la nutrición periodizada en los métodos de entrenamiento.

El hecho de que la capacidad de transporte 4 años atrás, casi nunca haya excedido los 60-90 g/h, incluso en individuos, puede ser una señal de que las mejoras pueden no ser dramáticas. Ya que, estos transportadores pueden aumentar su regulación en un período de tiempo relativamente corto. Además de que la baja disponibilidad de carbohidratos puede promover adaptaciones específicas en el músculo y hacer que no se llegue a la intensidad adecuada en sesiones de alta intensidad. Por ello, actualmente, según King et al. (2019) se está implantando la capacidad de ingerir hasta 100 gramos por hora. La cual va a ser objeto de investigación en esta revisión.

Así como la novedad de que la elevada ingesta de hidratos de carbonos puede conllevar efectos negativos en el equilibrio bucal y dental. Ya que, otro aspecto de las bebidas deportivas que contienen carbohidratos ha sido destacado por estudios recientes que enfatizan el riesgo de que los atletas de élite desarrollen una salud bucal deficiente, que incluye caries dental y erosión, lo que afecta su calidad de vida y desempeño profesional (Stefal et al., 2020).

También puede ocasionar malestares gástricos. El malestar gastrointestinal (GI) inducido por CHO probablemente se deba a malabsorción y distensión gástrica causada por una inhibición del receptor duodenal del vaciado gástrico en respuesta a una alta concentración de CHO y osmolalidad. Por lo tanto, el ejercicio de resistencia prolongado e intenso con la ingesta de CHO proporciona el contexto ideal para inducir no solo un efecto ergogénico, sino también las condiciones potenciales para el malestar GI (Oliveira et al., 2014).

Durante el rendimiento con glucógeno agotado, existe evidencia de que la activación muscular y los cambios de potencia reflejan un estado de fatiga más que durante condiciones sin agotamiento. En conjunto, esto sugiere que los enjuagues bucales con CHO pueden mejorar el rendimiento al modificar la percepción y/o la respuesta motora a la fatiga, lo que puede aumentar con una baja disponibilidad endógena de CHO (glucógeno hepático y muscular) y, por lo tanto, permitir que los atletas trabajen a mayor potencia (Jensen et al., 2018).

Según un estudio realizado por (Maunder et al., 2020):

Analizaron los efectos y el impacto de las actuales condiciones climáticas, hasta el punto en el que los avances empiezan a verse traducidos en distintos campos

como el entrenamiento (aclimatación y tolerancia al calor), nutrición (consumo energético y efecto en la oxidación de sustratos, hidratación). Donde se ha podido comprobar que la hipertermia estimula el metabolismo de los carbohidratos endógenos durante el ejercicio.

Existe la posibilidad de que la adición de CHO exógenos antes o durante el ejercicio de intervalo de sprint pueda: permitir que un individuo se ejercite más intensamente o, de manera similar, completar más trabajo dentro de un marco de tiempo específico. Si esta mayor intensidad/volumen de ejercicio se repite durante un período sostenido de entrenamiento, esto podría conducir potencialmente a adaptaciones fisiológicas superiores, como la capacidad oxidativa del músculo esquelético, el VO₂, capacidad máxima y el rendimiento de resistencia. En segundo lugar, desde la perspectiva del rendimiento, existen varios deportes/eventos, como el ciclismo de alto rendimiento, en los que maximizar la cantidad de trabajo realizado puede conducir a mejores resultados de rendimiento (McMahon y Thornbury, 2020).

Anterior al 2018	→	60/90 gr/h
2018-Actualidad	[→ Capacidad de ingerir 100 gr/h
		→ Impacto en condiciones climáticas
		→ Efectos del CHO en el equilibrio bucal y dental.

2. Objetivos

- Objetivo principal:

Hacer una revisión sistemática para determinar la efectividad de la suplementación con hidratos de carbono en sujetos que practican la modalidad de ciclismo.

- Objetivos secundarios:

Determinar el efecto de la suplementación en el equilibrio bucal y dental. Así como el impacto que tiene en condiciones climáticas.

3. Metodología

3.1. Diseño

Se ha realizado una revisión sistemática en bases de datos científicas y publicaciones sobre estudios de suplementación con hidratos de carbono en ciclistas que realizan entrenamientos y competiciones deportivas, así como el entrenamiento del sistema digestivo para la ingesta de dicha suplementación.

3.2. Estrategia de búsqueda

Se ha llevado a cabo una búsqueda en PubMed de estudios científicos mediante la siguiente ecuación de búsqueda: Introduciendo en el buscador las palabras ``Carbohydrate, Cycling, Cyclist, Exercise, Nutrition, Recovery, Sports, Competition, training, Endurance, Athletes``. Se limitó el patrón de búsqueda a los artículos publicados en los últimos 22 años. También se limitó el idioma en el que habían sido publicados a inglés y castellano y solo se revisaron estudios que permitieran acceso al texto completo, así como aquellos que incluyeran sujetos mayores de 18 años.

3.3. Criterios de selección

Se ha aplicado como criterio de inclusión aquellos estudios realizados sobre entrenamiento de resistencia con suplementación, los cuales utilizasen como sujetos de estudio a deportistas que únicamente se suplementaran con hidratos de carbono, y los cuales no presentasen ningún tipo de patología.

3.4 Diagrama de flujos

Diagrama de flujos:

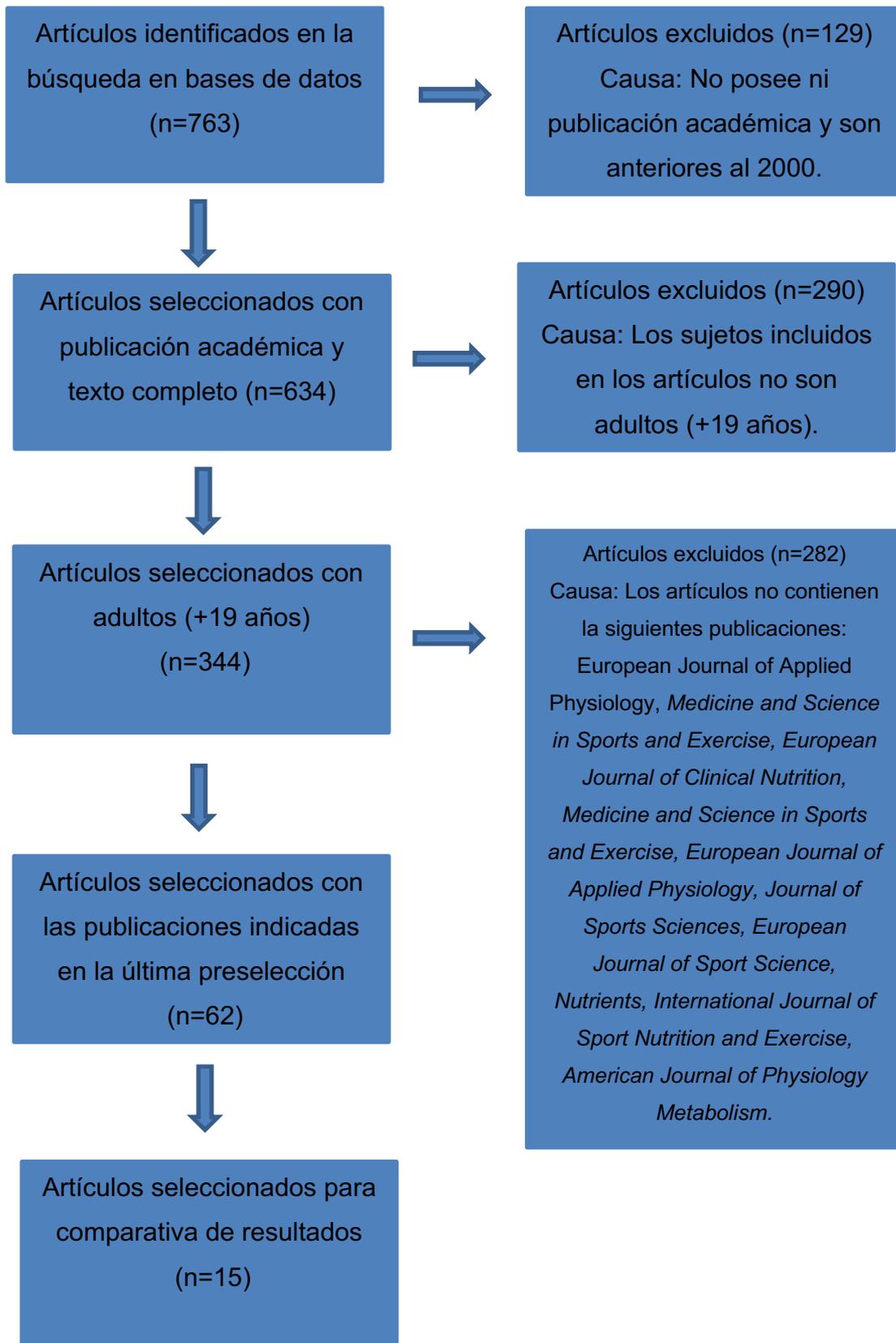


Figura 1. Diagrama de flujo. 2022. Elaboración propia.

4. Resultados

4.1. Cuadro resumen de artículos empleados

Tabla 2.

Cuadro resumen artículos empleados.

AUTOR	AÑO	MÉTODO	POBLACIÓN	VARIABLES	INTERVENCIÓN	RESULTADOS
Sitko, S., Cirer-Sastre, R., Corbi, F & López Laval, I.	2020	Determinar los efectos de una dieta baja en hidratos de carbono sobre la composición corporal y el rendimiento en el ciclismo de carretera.	26 ciclistas con 7 años de experiencia y 12 horas de volumen de entrenamiento semanal.	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	3 sesiones de entrenamiento semanales a una potencia relativa del 80 % de los vatos producidos durante su primera prueba contrarreloj de 20 minutos.	Redujeron significativamente el peso corporal y el porcentaje de grasa corporal, y mejoraron los valores de potencia relativa de 20 minutos en una muestra de ciclistas de ruta en comparación con una dieta convencional isocalórica.
Baur, D. A., Toney, H. R., Saunders, M. J., Baur, K. G., Luden, N. D., & Womack, C. J	2019	Investigar los efectos del consumo de un suplemento de hidrogel de CHO sobre el metabolismo, la comodidad GI y el	Nueve ciclistas masculinos entrenados en resistencia.	Evaluación antropométrica, una prueba de ejercicio graduada para determinar el VO2max y la Wmax, y una	El ejercicio se destaca en realizar series al 80 % Wmax y Sprints de 2-3 min cada uno con 5-6 min de	La producción de potencia promedio durante los 10 intervalos de sprint y durante los períodos de recuperación entre sprints fue la misma. Tampoco hubo diferencias entre tratamientos en la

		rendimiento en ciclismo.		prueba de familiarización.	recuperación activa.	producción de potencia para ningún sprint individual.
McMahon, G., & Thornbury, A.	2020	Medir el efecto de la a ingestión de carbohidratos antes y durante el ciclismo de intervalo de sprint máximo.	Quince hombres (n = 13) y mujeres (n = 2) físicamente activos.	Se evaluaron la altura, la masa corporal, lactato en sangre, FC, así como las medidas antropométricas.	Realizaron cuatro series de SIE, con un esfuerzo máximo repetido durante 30 s, seguido de 3,5 min de recuperación pasiva	Tanto la producción de potencia máxima (PPO) como la media (MPO) disminuyeron sistemáticamente con cada intervalo, en relación con el intervalo anterior, lo que está de acuerdo con las observaciones de estudios SIE anteriores.
Pires, F. O., Brietzke, C., Pinheiro, F. A., Veras, K., De Mattos, E. C. T., Rodacki, A.L.F., & Ugrinowitsch, C.	2018	Medir efectos del enjuague bucal con CHO en contrarreloj de 4 kilómetros.	9 ciclistas recreativos masculinos con cierta experiencia.	MVC, fatiga central y periférica y RPE.	Los ciclistas completan el TT4km con su propia bicicleta conectada a un ciclo-simulador.	El rendimiento en TT4km no mejoró cuando los ciclistas se enjuagaron la boca con CHO.
Jensen, M., Klimstra, M., Sporer, B., & Stellingwerff, T.	2018	determinar si el enjuague bucal con CHO mejorará el rendimiento en	Diez ciclistas varones bien entrenados.	Lactato, glucosa, RPE, Oxidación de CHO y grasas.	Durante aproximadament e 30 min de ciclismo,	El enjuague bucal con CHO puede mitigar parcialmente el efecto fatigante de una serie de resistencia para algunos

		comparación con PLA (edulcorante artificial) en ciclistas.			después de un ejercicio prolongado (2 h), se realizan 2 intervenciones con lavado CHO Y PLA.	atletas (6 de 10 atletas del estudio actual).
Lee, V., Rutherford-Markwick, K., & Ali, A.	2018	Examinar el efecto acumulativo de la ingesta de CHO a lo largo de 10 semanas en ciclistas.	12 participantes con una edad media de 53 años.	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	Dos clases de spinning de 45 minutos por semana.	Mejóro la activación percibida. Además, la ingesta de CHO dio como resultado un estado de activación-placer más alto en comparación con la ingesta de placebo.
King, A. J., O'Hara, J. P., Arjomandkhah, N. C., Rowe, J., Morrison, D. J., Preston, T., & King, R. F. G. J.	2019	Analizar la oxidación de glucógeno hepático y muscular y rendimiento con variación de dosis de ingesta de glucosa-fructosa	Analizaron a 11 ciclistas bien entrenados. La edad media fue de 33 años.	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	Una prueba contrarreloj de 30 min después de un recorrido de 3 h en estado estable a intensidad moderada.	La ingesta de hasta 90 gh ⁻¹ de carbohidratos (2:1 de glucosa y fructosa) es óptima para el rendimiento en pruebas contrarreloj después de 3 h de ejercicio submáximo en comparación con dosis más altas y una solución sin CHO.

		durante ejercicio prolongado (3h).				
Brown, R. C., Cox, C. M., & Goulding, A.	2000	Comparación del efecto de dietas altas en carbohidratos con dietas altas en grasas sobre la composición corporal en ciclistas entrenados.	30 ciclistas masculinos y 2 femeninos. La edad de los sujetos fue de 26 ± 9 años.	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	El volumen de entrenamiento durante el estudio osciló entre 115 y 826 km·sem ⁻¹ (durante 6–25 h) más una carrera en ruta semanal de 40–120 km.	Existe un aumento pequeño pero significativo de la densidad mineral ósea en Hipercolesterolemia familiar y una tendencia a aumentar la densidad mineral ósea en hidratos de carbono.
Zderic, T. W., Schenk, S., Davidson, C. J., Byerley, L. O., & Coyle, E. F.	2004	Analizar como afecta la manipulación de los carbohidratos y el glucógeno muscular durante el ejercicio cuando la oxidación de	Seis ciclistas masculinos entrenados en resistencia (73,3 ± 2,4 kg).	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	Los sujetos se ejercitaron 3 días. En los días 1 y 2, los sujetos realizaron 2 horas al 65 % del VO 2 pico. En el día 3, después	La captación de glucosa en sangre durante el ejercicio aumentó significativamente por el glucógeno muscular bajo asociado con una dieta rica en grasas, cuando la lipólisis y la oxidación de

		grasas se ve afectada por el bloqueo beta-adrenérgico.			de un ayuno, los sujetos se ejercitaron 1h al 50 % del VO2 pico.	grasas se vieron afectadas por el bloqueo β -adrenérgico.
Maunder, E., Plews, D. J., Merien, F., & Kilding, A. E.	2019	Determinar si los cambios inducidos por el estrés por calor en las tasas de oxidación de CHO se ven afectados por la intensidad del ejercicio.	Veinte ciclistas y triatletas masculinos competitivos entrenados en resistencia.	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	Realizaron 20 minutos de intensidad moderada y ciclo de 5 min de alta intensidad en 18, 28, 34 y 40 °C.	Se requiere una magnitud mínima de estrés por calor externo e interno antes de que se observe una estimulación del metabolismo de los CHO inducida por el estrés por calor durante el ejercicio.
Sareba, M., Zügel, D., Koehler, K., Hartveg, P., Zügel, M., Schumann, U., Steinacker, J. M., & Treff, G.	2016	Comparar el impacto de la administración de CHO en forma de GEL y LIQ, las respuestas metabólicas y las molestias gastrointestinales.	9 participantes con edad media de 43 años.	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	La prueba en la modalidad de ciclismo consistió en 180 minutos al 90 % del umbral ventilatorio (VT) de cada participante.	La mayoría de los participantes en la condición GEL informaron síntomas de malestar GI, mientras que LIQ pareció ser bien tolerado por todos los participantes.

<p>Svendsen, I. S., Killer, S. C., Carter, J. M., Randell, R. K., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M.</p>	<p>2016</p>	<p>Determinar los efectos del entrenamiento intensivo (IT) y suplementos de carbohidratos en el exceso de alcance e inmunidad.</p>	<p>13 ciclistas masculinos (edad 25 ± 6 años, VO 2 máx. 72 ± 5 ml/kg/min).</p>	<p>Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.</p>	<p>La prueba consistió en completar dos períodos de 8 días de IT.</p>	<p>Una mayor ingesta de carbohidratos no fue capaz de aliviar las alteraciones fisiológicas/inmunológicas.</p>
<p>Webster, C. C., Noakes, T. D., Chacko, S. K., Swart, J., Kohn, T. A., & Smith, J.</p>	<p>2016</p>	<p>Determinar si existen diferencias en las tasas de producción endógena de glucosa (EGP), glucogenólisis (GLY) hepático y gluconeogénesis (GNG) total durante el ejercicio entre grupos de ciclistas</p>	<p>-Un grupo de 7 ciclistas masculinos sanos y bien entrenados que habían consumido una dieta baja en CHO. -Un grupo de 7 ciclistas de "control" sanos emparejados por</p>	<p>Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.</p>	<p>Realizaron 2 horas al 55% de su potencia pico (PPO).</p>	<p>Las tasas de GNG durante el ejercicio después de un ayuno nocturno son relativamente estables en una amplia gama de dietas habituales que pueden alterar significativamente la utilización de sustratos, aunque GLY y, por lo tanto, EGP están influenciados por los carbohidratos de la dieta.</p>

		entrenados en resistencia que habitualmente comen una dieta mixta de macronutrientes o bajo en carbohidratos alto en grasas (LCHF).	edad, que habían consumido una dieta mixta de macronutrientes.			
Newell, M. L., Hunter, A. M., Lawrence, C., Tipton, K. D., & Galloway S, D. R.	2015	Determinar la dosis óptima de CHO para maximizar el rendimiento del ejercicio de resistencia.	20 ciclistas masculinos entrenados fueron reclutados de clubes regionales de ciclismo y triatlón.	Parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria.	La prueba consistió en un ciclo submáximo de 120 minutos al 95% del umbral de lactato seguido de una prueba contrarreloj de trabajo equivalente (~30 min al 70 % de la PPO).	La mayoría de las personas responderán de forma más positiva a tasas de ingesta de CHO de alrededor de 39 y 64 g/h.

4.2 Resumen artículos empleados

Con la intención de hallar respuestas a los objetivos planteados, se realizó una minuciosa estrategia de búsqueda de la cual se seleccionaron finalmente 15 estudios, siendo estos los más relevantes en base a su muestra (ciclistas experimentados) y tipo de intervención, así como la suplementación utilizada de la misma.

Newell et al. (2015) analizan como se ha supuesto hace 4 años o más, la suplementación de hidratos de carbono con una ingesta de máximo 64 g/h. Para ello, analizan 20 ciclistas masculinos con una producción de potencia máxima (PPO) 393 (± 36) W y VO₂max 62 (± 9) ml·kg⁻¹·min⁻¹ durante más de 6 h/semana y más de 3 años. Las pruebas que realizaron consistieron en un viaje de carga constante de 2 horas al 95 % del umbral de lactato (185 \pm 25 W) y luego una prueba contrarreloj de trabajo equivalente (~30 min al 70 % de la PPO). Donde visitaron el laboratorio 6 veces (2 preliminares y 4 de intervención) durante un período de 6 semanas.

Administraron tres bebidas de carbohidratos, más un control (agua), durante las 2 horas de viaje que proporcionaron 0, 20, 39 o 64 g/h de CHO a una tasa de ingesta de líquidos de 1 l/h.

En cuanto a los resultados, hubo un efecto significativo del tratamiento sobre la producción de potencia media sostenida durante la prueba contrarreloj entre las cuatro pruebas experimentales. Las soluciones de CHO fueron significativamente más rápidas que el control (37:01,9 \pm 05:35,0). Donde con la ingesta de 39 g/h (34:19,5 \pm 03:07,1, $p < 0,01$) y 64 g/h (34:11,3 \pm 03:08,5, $p < 0,01$), se redujo el tiempo aproximadamente 3 minutos.

Figura 2

Tiempo medio de la tarea de rendimiento.

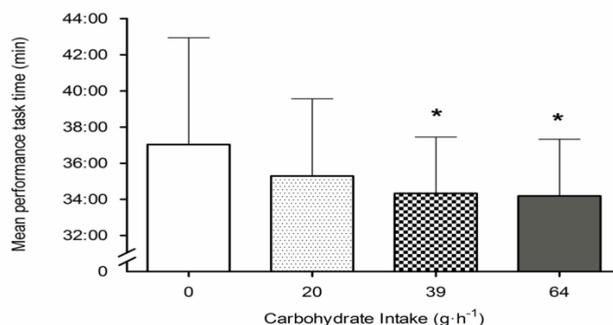


Figure 1 — Mean performance task time when 0, 20, 39, and 64 g·hr⁻¹ of carbohydrate were consumed. Data are presented as mean \pm standard deviation. Statistical significance from 0 g·hr⁻¹ is denoted by * ($p < .05$).

Nota. Adaptado de “The ingestion of 39 or 64 g·h⁻¹ of carbohydrate is equally effective at improving endurance exercise performance in cyclists”, de Newell, M. L., Hunter, A. M., Lawrence, C., Tipton, K. D., & Galloway S, D. R., 2016, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(3), 285–292. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0134>

Por otra parte, Sitko et al. (2020) analizan los efectos de una dieta baja en hidratos de carbono sobre la composición corporal y el rendimiento en el ciclismo de carretera. Para ello, seleccionaron 26 ciclistas con 7 años de experiencia y 12 horas de volumen de entrenamiento semanal.

El experimento se llevó a cabo durante el período preparatorio del ciclo de entrenamiento anual. Fue el siguiente:

Tabla 3.

Protocolo entrenamiento.

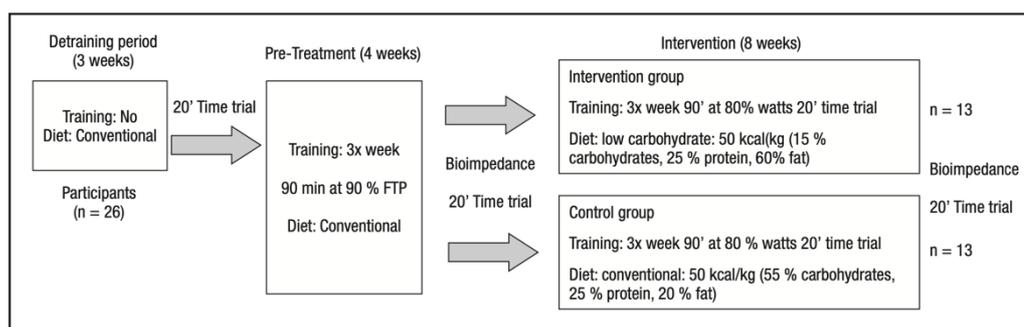


Figure 1.
Design of the intervention protocol.

Nota. Adaptado de “Effects of a low-carbohydrate diet on body composition and performance in road cycling: a randomized, controlled trial”, de Sitko, S., Cirer-Sastre, R., Corbi, F., & López Laval, I., 2020, *Nutricion Hospitalaria: Organo Oficial de La Sociedad Espanola de Nutricion Parenteral y Enteral*, 37(5), 1022–1027.

(<https://doi.org/10.20960/nh.03103>)

Durante el período de intervención, se instruyó a los participantes para que consumieran una dieta baja en carbohidratos o una dieta convencional para deportes de resistencia, ambos proporcionados por un nutricionista deportivo certificado.

En cuanto a los resultados, Los principales hallazgos del estudio fueron:

- a) Una dieta baja en carbohidratos no tuvo ninguna influencia en la producción de potencia absoluta.
- b) La masa corporal y los porcentajes de grasa corporal se redujeron significativamente después de ocho semanas con una dieta baja en carbohidratos.
- c) Como consecuencia del hallazgo anterior, la relación potencia-peso expresada en w/kg aumentó significativamente.

Aunque surgen varios problemas cuando se intenta utilizar dietas bajas en carbohidratos para mejorar el rendimiento en deportes de resistencia. En primer lugar, la evidencia sugiere que el entrenamiento a altas intensidades con reservas de carbohidratos agotadas puede resultar en una baja disponibilidad de energía y una caída en el rendimiento. En segundo lugar, aunque los cambios en la composición corporal asociados con las dietas bajas en carbohidratos parecen útiles para lograr una relación peso-potencia adecuada, los carbohidratos son necesarios para optimizar la recuperación, lograr tasas más altas de síntesis de proteínas y mantener los niveles deseables de masa muscular. Con todas estas preocupaciones en mente, se sugiere que las dietas bajas en carbohidratos no deben usarse durante los períodos de entrenamiento en los que predominan las intensidades altas.

Por otra parte, Baur et al. (2019) investigan los efectos del consumo de un suplemento de hidrogel de CHO sobre el metabolismo, la comodidad gastrointestinal y el rendimiento en ciclismo en un protocolo de ejercicio intermitente válido externamente.

En este estudio, seleccionaron 11 ciclistas masculinos entrenados ($VO_{2max} \geq 50 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) masculinos entrenados en resistencia, donde 9 de los 11 sujetos completaron el estudio.

Los sujetos consumieron 250 mL de una bebida de tratamiento cada 15 min de ciclismo. Los tratamientos consistieron en $78 \text{ g} \cdot \text{hr}^{-1}$ de: a) MF-H, Maltodextrina e hidrogel de fructosa, b) Maltodextrina-fructosa isocalórica (proporción igualada 2:1; MF) y c) Maltodextrina isocalórica sola (MD).

Aunque estas altas tasas benefician el rendimiento, también pueden potenciar el malestar gastrointestinal, el cual se debe a la malabsorción y la distensión

gástrica causada por una inhibición del receptor duodenal del vaciamiento gástrico en respuesta a una alta concentración y osmolaridad de CHO.

Durante el ejercicio, se midieron la glucosa/lactato en sangre, el intercambio de gases, las respuestas perceptivas y la frecuencia cardíaca. El ejercicio consistió en lo siguiente:

- 1) Una entrada en calor de 5 min al 30 % Wmax.
- 2) 55 min al 50 % Wmax.
- 3) Dos series de intervalos de 4 × 2 min al 80 % Wmax con intervalos y series separados por 2 min y 5 min al 50 % Wmax, respectivamente
- 4) 5 min al 50 % Wmax.
- 5) 10 ejercicios máximos. En este caso, sprints de 2-3 min cada uno con 5-6 min de recuperación activa entre cada uno.

Los resultados de rendimiento determinaron que la producción de potencia promedio durante los 10 intervalos de sprint no fue diferente entre MF (281 ± 46 W), MF-H (284 ± 51 W) y MD (277 ± 48 W). Además, la producción de potencia promedio durante los períodos de recuperación entre sprints fue la misma entre MF (140 ± 13 W), MF-H (139 ± 14 W) y MD (139 ± 13 W).

Figura 3.

Análisis producción potencia en los 10 intervalos de sprint.

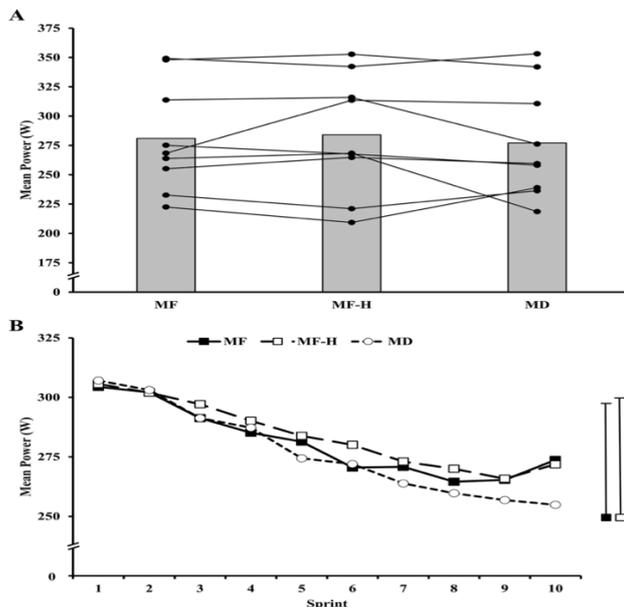


Fig. 2 Effect of carbohydrate beverages on cycling performance. **a** Bars represent mean power output across all sprints, lines represent individualized responses; **b** mean power for each sprint of the performance test, bars represent mean standard deviation for all sprints. *MF* (maltodextrin + fructose) $1.3 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$, *MF-H* (maltodextrin + fructose hydrogel) $1.3 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$, *MD* (maltodextrin only) $1.3 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$

Nota. Adaptado de “Carbohydrate hydrogel beverage provides no additional cycling performance benefit versus carbohydrate alone”, de Baur, D. A., Toney, H. R., Saunders, M. J., Baur, K. G., Luden, N. D., & Womack, C. J., 2019, *European Journal of Applied Physiology*, 119(11–12), 2599–2608.

(<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04240-4>)

La glucosa en sangre es un combustible importante para el ejercicio de resistencia. La cual, puede derivarse de carbohidratos ingeridos, glucógeno hepático almacenado y glucosa recién sintetizada (gluconeogénesis). Por ello, Webster et al. (2016) analizan si existen diferencias en las tasas de producción endógena de glucosa (EGP), glucogenólisis (GLY) hepático y gluconeogénesis (GNG).

Para dicho estudio, selecciona un grupo de siete ciclistas masculinos sanos y bien entrenados que habían consumido habitualmente una dieta baja en carbohidratos, y un grupo de siete ciclistas de sanos emparejados por edad, cuerpo índice de masa (IMC), ciclabilidad y porcentaje de grasa corporal que habían consumido habitualmente una dieta mixta de macronutrientes.

Los participantes elegibles realizaron un viaje de laboratorio de 2 h al 55 % de su PPO, durante el cual se usaron trazadores de isótopos estables para estudiar la cinética de la glucosa, mientras que se usó calorimetría indirecta para estimar la oxidación de sustratos en todo el cuerpo.

La fracción de EGP derivada del GNG (GNG fraccional) se estimó a partir de muestras de plasma usando el método de enriquecimiento promedio de deuterio. El principio detrás de esta técnica es que la glucosa producida a través del GNG incorpora hidrógeno del agua corporal en todas las posiciones de carbono, mientras que la glucosa derivada de GLY incorpora hidrogeniones solo en la posición C-2.

Los resultados marcaron que, durante la carrera, las tasas de oxidación de carbohidratos fueron significativamente más bajas y las tasas de oxidación de grasas fueron significativamente más altas en el grupo LCHF en comparación con el grupo de dieta mixta a lo largo de la prueba de ejercicio. La oxidación de grasas aumentó gradualmente en el grupo de dieta mixta, pero permaneció relativamente estable en el grupo de LCHF.

Figura 4.

Utilización de sustratos durante el ejercicio.

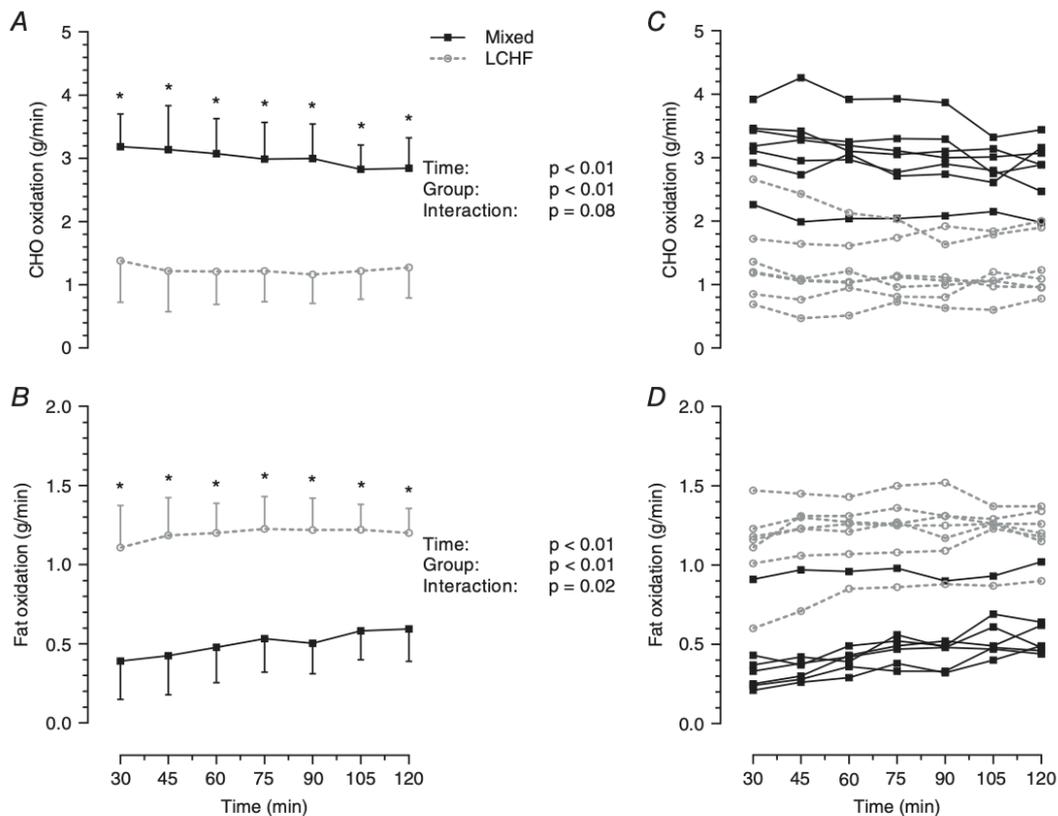


Figure 2. Substrate utilization during exercise

Rate of carbohydrate (CHO) oxidation (A) and rate of fat oxidation (B) during steady-state exercise at 55% of peak power output. Data presented as the mean \pm SD; $n = 7$ per group; P values were determined by repeated measures ANOVA. *Significant difference between groups using Tukey's *post hoc* test. Individual values are shown for rates of CHO oxidation (C) and rates of fat oxidation (D).

Nota. Adaptado de “Gluconeogenesis during endurance exercise in cyclists habituated to a long-term low carbohydrate high-fat diet”, de Webster, C. C., Noakes, T. D., Chacko, S. K., Swart, J., Kohn, T. A., & Smith, J. A. H., 2016, *The Journal of Physiology*, 594(15), 4389–4405. <https://doi.org/10.1113/JP271934>

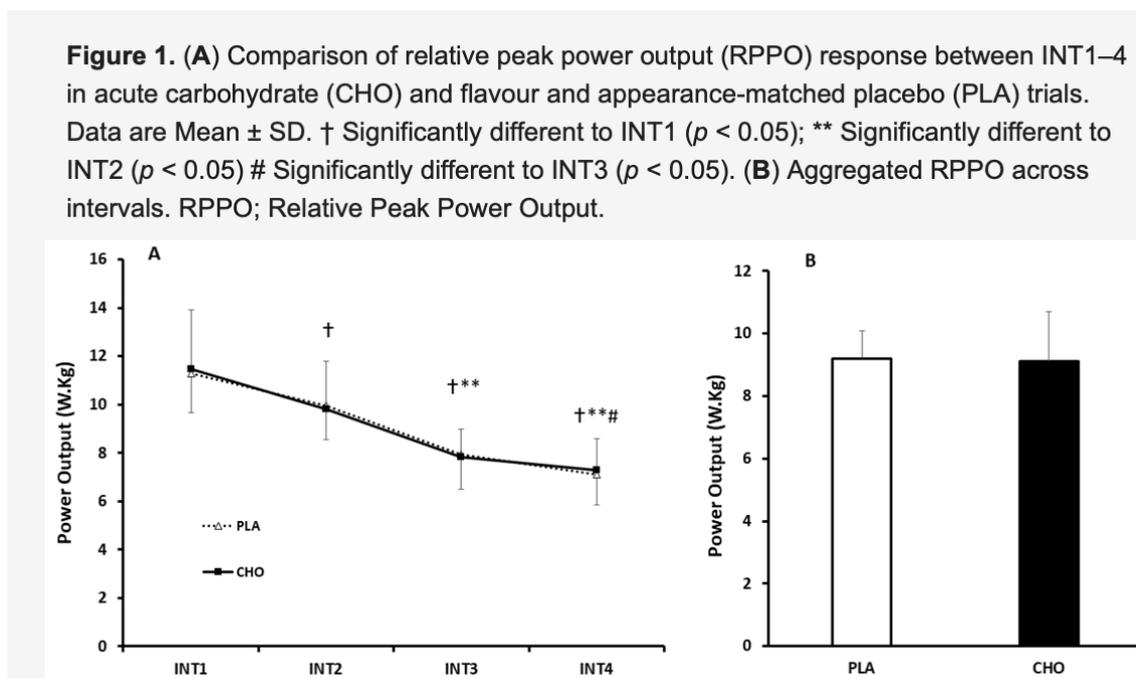
En el siguiente estudio científico (McMahon y Thornbury, 2020) plantean como objetivo medir el efecto de la ingestión de carbohidratos antes y durante el ciclismo de intervalo de sprint máximo. Para este fin, selecciona a 15 hombres y mujeres, con una edad comprendida entre 18 y 39 años y una participación en actividad física de intensidad moderada al menos 2 o 3 veces por semana. El grupo experimental realizó cuatro series, que consistieron en un esfuerzo máximo repetido durante 30 s con una resistencia de aire estandarizada de nivel

6, seguido de 3,5 min de recuperación pasiva después de cada intervalo. Los participantes ingirieron 10 minutos antes y durante la sesión una solución de carbohidratos que constaba de 8 % de carbohidratos.

En cuanto a los resultados, la producción de potencia pico relativa (RPPO) disminuyó progresivamente con cada sprint repetido y este efecto no pareció verse afectado por la suplementación con CHO. (Ver Figura 5).

Figura 5.

RPPO en cada intervalo.



Nota. Adaptado de “Ingestion of Carbohydrate Prior to and during Maximal, Sprint Interval Cycling Has No Ergogenic Effect: A Randomized, Double-Blind, Placebo Controlled, Crossover Study”, de McMahon, G., & Thornbury, A., 2020, *Nutrients*, 12(8), 2223.

(<https://doi.org/10.3390/nu12082223>)

De manera similar, en términos de la producción de potencia media relativa (RMPO), también hubo un efecto principal del tiempo. Hubo marcadas reducciones en RMPO con cada intervalo, sin embargo, este efecto no fue alterado por la suplementación con CHO.

También hubo un efecto principal significativo del tiempo en el VO₂. A pesar de los aumentos significativos en VO₂ durante INT1 a INT 4 en comparación con el pre-ejercicio, no hubo efecto de la condición o interacción condición \times tiempo.

Hubo un efecto principal significativo del tiempo en el RER, pero no hubo efecto de la condición ni de la interacción condición \times tiempo. RER aumentó desde antes del ejercicio en comparación con INT 2 y 3, con un aumento adicional, durante INT3 en comparación con INT1. RER luego volvió a los niveles de referencia, con una disminución durante INT4 en comparación con INT3.

Tabla 4.

Variables entre intervalos.

Table 1. Physiological and Performance variables between intervals and aggregated across intervals (mean of intervals 1–4).

Variable	PRE	INT1	INT2	INT3	INT4	Aggregated
Heart Rate (bpm) PLA	77 \pm 9	164 \pm 13	171 \pm 10	172 \pm 15	166 \pm 12	169 \pm 9
CHO	83 \pm 12	158 \pm 13	170 \pm 7	171 \pm 10	167 \pm 10	167 \pm 7
Main Effect Time		*	*†	*†	*	
$\dot{V}O_2$ (mL.kg.min ⁻¹) PLA	4 \pm 2	32 \pm 12	29 \pm 15	27 \pm 13	31 \pm 8	29 \pm 9
CHO	7 \pm 4	32 \pm 15	27 \pm 14	26 \pm 12	28 \pm 10	28 \pm 11
Main Effect Time		*	*	*	*	
RER PLA	0.88 \pm 0.09	0.99 \pm 0.18	1.09 \pm 0.31	1.20 \pm 0.19	0.97 \pm 0.25	1.03 \pm 0.07
CHO	0.85 \pm 0.13	0.99 \pm 0.18	1.06 \pm 0.27	1.14 \pm 0.16	0.95 \pm 0.16	1.00 \pm 0.06
Main Effect Time			*	*†	#	
RPE (AU) PLA	-	18 \pm 3	18 \pm 2	19 \pm 1	20 \pm 1	19 \pm 2
CHO	-	17 \pm 3	18 \pm 2	19 \pm 1	19 \pm 2	18 \pm 2

Data are Mean \pm SD. $\dot{V}O_2$, oxygen consumption; RER, Respiratory exchange ratio. * Significantly different to pre-exercise ($p < 0.0001$); † Significantly different to INT1 ($p < 0.05$); ** Significantly different to INT2 ($p < 0.05$); # Significantly different to INT3 ($p < 0.05$).

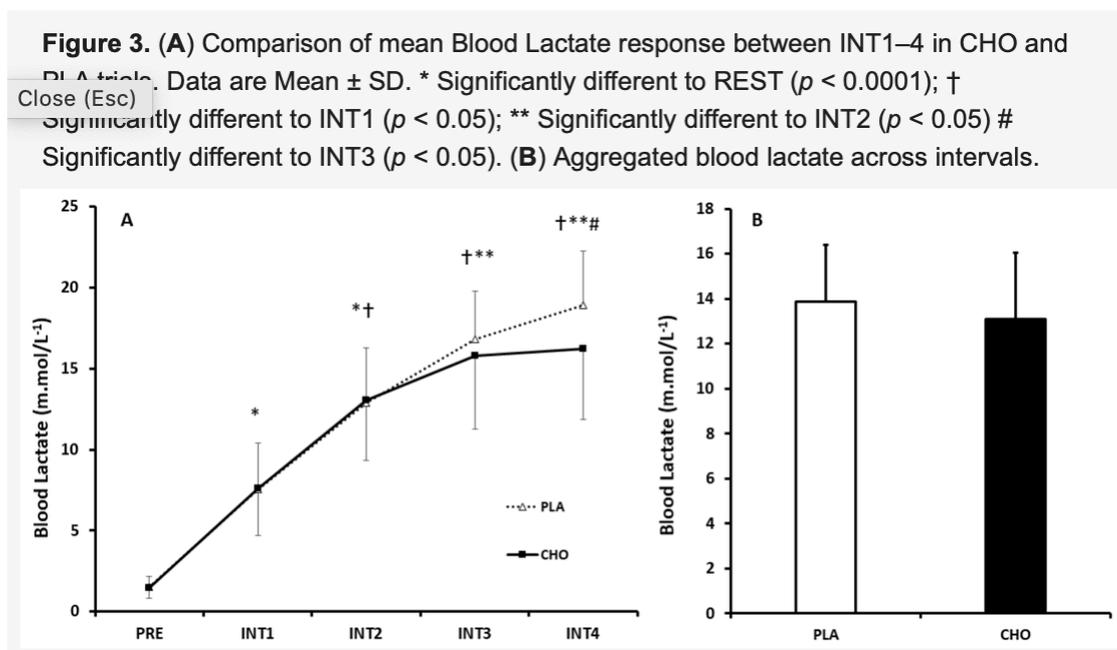
Nota. Adaptado de “Ingestion of Carbohydrate Prior to and during Maximal, Sprint Interval Cycling Has No Ergogenic Effect: A Randomized, Double-Blind, Placebo Controlled, Crossover Study”, de McMahon, G., & Thornbury, A., 2020, *Nutrients*, 12(8), 2223.

(<https://doi.org/10.3390/nu12082223>)

El lactato en sangre aumentó significativamente después de INT1 a INT4, en comparación con antes del ejercicio, y aumentó sistemáticamente con cada intervalo en comparación con el intervalo anterior hasta INT4. (Ver Figura 6).

Figura 6.

Muestra del lactato en sangre durante los intervalos.



Nota. Adaptado de “Ingestion of Carbohydrate Prior to and during Maximal, Sprint Interval Cycling Has No Ergogenic Effect: A Randomized, Double-Blind, Placebo Controlled, Crossover Study”, de McMahon, G., & Thornbury, A., 2020, *Nutrients*, 12(8), 2223.

(<https://doi.org/10.3390/nu12082223>)

La sobrecarga es un principio de entrenamiento clave utilizado por atletas y entrenadores para mejorar el rendimiento físico. Por lo tanto, los períodos de entrenamiento intensivo (IT) se incorporan comúnmente en el transcurso de una temporada de entrenamiento. Por ello, Svendsen et al. (2016) analizan los efectos del entrenamiento intensivo (IT) y suplementos de carbohidratos en el exceso de alcance e inmunidad. Contaron con 13 ciclistas masculinos, donde completaron dos periodos de 8 días de IT. Para ello, en el primer periodo, los participantes ingirieron bebidas al 2 % de carbohidratos (L-CHO) y en el segundo periodo al 6 % de carbohidratos (H-CHO) antes, durante y después de las sesiones.

Para ambas pruebas, a los participantes se les proporcionó un volumen y una composición específicos de bebida antes, durante y después de cada sesión de entrenamiento (ver Tabla 5).

Tabla 5.

Volumen y composición de bebidas antes, durante y después de las sesiones de entrenamiento en H-CHO y L-CHO ensayos.

Table 2 Volumes and compositions of drinks provided before, during and after training sessions in H-CHO and L-CHO trials

	H-CHO	L-CHO
Before exercise	118 mL 20 % CHO solution (24 g)	118 mL 2 % CHO solution (2.4 g)
During exercise	1 L per hour 6 % CHO solution (60 g/h)	1 L per hour 2 % CHO solution (20 g/h)
After exercise	1 × 500 mL 6 % CHO solution (30 g) 1 × 500 mL 2.7 % CHO/3.3 % PRO solution (13.5 g)	1 × 500 mL 2 % CHO solution (10 g) 1 × cellulose capsule (0 g)

Values in parentheses indicate carbohydrate content in grams

CHO carbohydrate, PRO protein

Nota. Adaptado de “Impact of intensified training and carbohydrate supplementation on immunity and markers of overreaching in highly trained cyclists”, de Svendsen, I. S., Killer, S. C., Carter, J. M., Randell, R. K., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M., 2016, *European Journal of Applied Physiology*, 116(5), 867-877.

<https://doi.org/10.1007/s00421-016-3340-z>

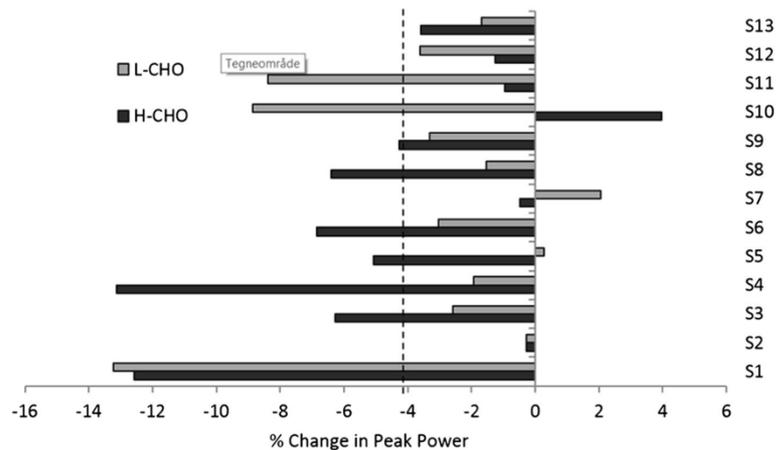
Durante el período de TI de 8 días, los participantes completaron $24,3 \pm 3,3$ MJ de ciclismo, sin diferencias significativas entre las pruebas. La ingesta energética diaria total fue significativamente menor en L-CHO en comparación con H-CHO ($14,7 \pm 2,7$ frente a $17,4 \pm 3,2$ MJ/d, $P < 0,001$). Esta diferencia se debió principalmente a una menor ingesta de carbohidratos en L-CHO (505 ± 107 frente a 679 ± 105 g/d, $P < 0,001$; $7,2 \pm 1,6$ frente a $9,7 \pm 1,5$ g/kg/d, $P < 0,05$). Sin embargo, en ambos grupos, los participantes mantuvieron un peso relativamente estable, con un cambio de masa corporal promedio de $+0,17 \pm 1,14$ kg en H-CHO y $-0,55 \pm 0,92$ kg en L-CHO, sin diferencias significativas entre las dos condiciones ($P = 0,144$).

No hubo cambios en el VO₂max después de IT. Sin embargo, tanto en las pruebas con L-CHO como con H-CHO, el IT dio como resultado una disminución de la potencia máxima en la prueba de ejercicio incremental máxima en comparación con el valor inicial (375 ± 37 vs. 391 ± 37 W, efecto principal del IT $P = 0,001$) (ver Figura 7), frecuencia cardíaca máxima reducida (179 ± 8 vs. 190 ± 10 lpm, efecto principal de IT $P < 0,001$).

Figura 7.

Cambio porcentual en la potencia máxima alcanzada durante la prueba de ejercicio máxima incremental para cada participante.

Fig. 2 Percentage change in peak power achieved during the incremental, maximal exercise test for each participant following the intensified training period with L-CHO and H-CHO. *Dashed line* indicates significant group mean change ($P < 0.01$)



Nota. Adaptado de “Impact of intensified training and carbohydrate supplementation on immunity and markers of overreaching in highly trained cyclists“, de Svendsen, I. S., Killer, S. C., Carter, J. M., Randell, R. K., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M., 2016, *European Journal of Applied Physiology*, 116(5), 867-877.

<https://doi.org/10.1007/s00421-016-3340-z>

La evidencia ha sugerido el uso de enjuagues bucales con carbohidratos como una estrategia para mejorar el rendimiento en pruebas contrarreloj de ciclismo. Por ello, Pires et al. (2018) miden los efectos del enjuague bucal con CHO en contrarreloj de 4 kilómetros.

Utiliza 9 ciclistas recreativos masculinos ($36,9 \pm 6,4$ años; $73,1 \pm 13,0$ kg; $180,0 \pm 5,0$ cm; consumo máximo de oxígeno (VO_{2MAX}) de $54,3 \pm 9,3$ ml·kg⁻¹·min⁻¹; producción de potencia máxima (WPICO) de $333,4 \pm 28,6$ W) con cierta experiencia en pruebas contrarreloj de ciclismo.

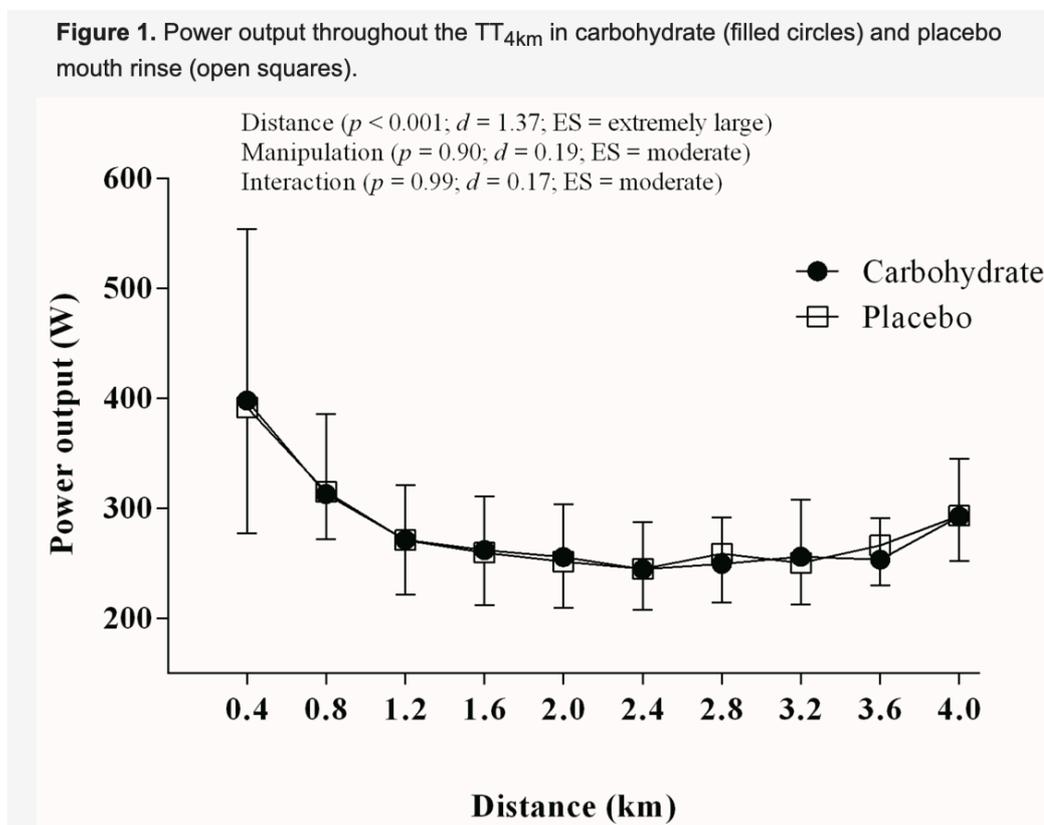
Los participantes recibieron una solución de 25 ml de Carbohidratos o Placebo (edulcorante artificial) antes del ensayo.

Sobre los resultados, el rendimiento en TT4km no mejoró cuando los ciclistas se enjuagaron la boca con CHO ya que el tiempo para completar la prueba permaneció sin cambios en relación con PLA. En modelos mixtos, se detectó un efecto principal de la distancia, de modo que la producción de potencia cambió

a lo largo de la prueba. Sin embargo, ni el efecto principal de la manipulación ni el efecto de interacción de la manipulación por distancia.

Figura 8.

Comparación potencia-distancia en 4kms.



Nota. Adaptado de “Carbohydrate mouth rinse fails to improve four-kilometer cycling time trial performance “ de Pires, F. O., Brietzke, C., Pinheiro, F. A., Veras, K., de Mattos, E. C. T., Rodacki, A. L. F., & Ugrinowitsch, C., (2018), *Nutrients*, 10(3), 342.

(<https://doi.org/10.3390/nu10030342>)

Del mismo modo, para evaluar adecuadamente la efectividad del enjuague bucal con CHO en el rendimiento, es necesario replicar las condiciones nutricionales antes y durante los escenarios reales de carreras de resistencia. Estas condiciones incluirían un refrigerio previo a la competencia estandarizado rico en CHO típico y la ingesta de CHO durante el ejercicio de resistencia prolongado que conduce a un TT intenso. Por ello, Jensen et al. (2018) marcan como objetivo determinar si el enjuague bucal con CHO durante aproximadamente 30 min de ciclismo TT, después de un ejercicio prolongado (2 horas), mejorará el rendimiento en comparación con PLA (edulcorante artificial). Contaron con 10

ciclistas varones bien entrenados (edad, 29 ± 9 años; masa corporal, $79,1 \pm 9,9$ kg; estatura, $179,9 \pm 8,5$ cm; consumo máximo de oxígeno, $64,5 \pm 6,5$ ml·kg⁻¹·min⁻¹; producción de potencia máxima, 405 ± 38 W).

Las dos intervenciones experimentales aleatorias, todas después de un refrigerio previo al juicio estandarizado con CHO 2 h antes, fueron las siguientes:

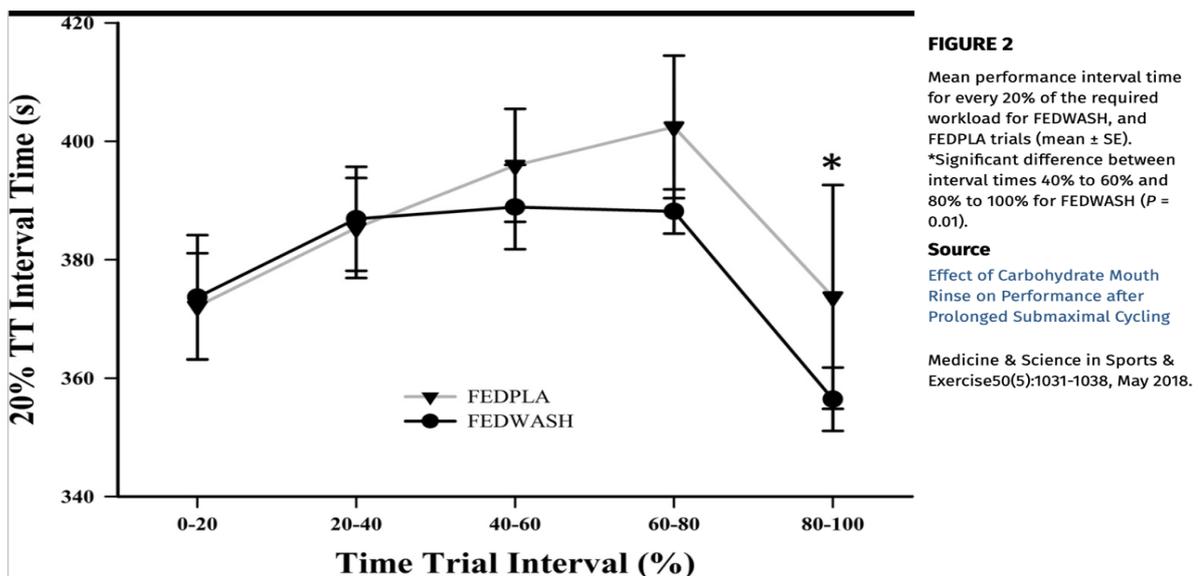
30 g CHO · h⁻¹ durante SS + lavado CHO durante TT (FEDWASH)

30 g CHO · h⁻¹ durante SS + lavado PLA durante TT (FEDPLA)

Tras ello, los resultados marcaron que Hubo una mejora significativa en el tiempo para completar el 20% final (intervalo, 80%–100%) versus el intervalo de 40% a 60% durante el ensayo FEDWASH, mientras que FEDPLA mostró sin cambios significativos en el intervalo de tiempo ($P > 0,05$).

Figura 9.

Intervalo TT 20%.



Nota. Adaptado de “Effect of Carbohydrate Mouth Rinse on Performance after Prolonged Submaximal Cycling “ de Jensen, M., Klimstra, M., Sporer, B., & Stellingwerff, T., (2018), *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(5), 1031–1038.

(<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001529>)

En cuanto al tiempo para completar el TT, no hubo diferencia significativa entre FEDWASH y FEDPLA ($P = 0,51$). Aunque no fue significativo, los sujetos completaron el FEDWASH TT un 1,7 % más rápido en comparación con el tratamiento FEDPLA (35 s), con probabilidades cualitativas que demostraron un

60 % y un 23 % posibilidad de un posible resultado positivo o trivial, respetuosamente. Las diferencias individuales y la media del grupo en el tiempo para completar el TT.

Puesto que la acumulación de ingesta de CHO puede ser perjudicial por problemas gastrointestinales, Lee et al. (2018), examinan el efecto acumulativo de la ingesta de CHO a lo largo de 10 semanas en ciclistas. Contaron con 12 participantes media \pm SD; $46,2 \pm 10,2$ años; $167,1 \pm 8,1$ cm de estatura; $70,2 \pm 16,4$ kg.

Se realizaron pruebas pre y post intervención para medir parámetros antropométricos y aptitud cardiorrespiratoria. En la intervención, se desarrollaron 2 clases de spinning de 45 minutos por semana donde se les administró una solución de CHO con 7,5 % de CHO o una bebida placebo del mismo sabor y color que contiene 0% CHO antes de cada clase. Cada participante recibió 5 ml·kg⁻¹ de masa corporal (BM) de líquido antes de cada sesión de ejercicio.

Sobre los resultados, no hubo diferencias en la frecuencia cardíaca entre CHO y PLA. La frecuencia cardíaca se mantuvo constante a lo largo del tiempo.

Tampoco hubo diferencias en los valores basales de talla, masa corporal, composición de grasa corporal, relación cintura-cadera, IMC, tasa de saturación de oxígeno, frecuencia cardíaca en reposo o presión arterial media en reposo entre los grupos. Además, no hubo diferencias en el cambio de pre a post intervención en estas variables.

Tabla 6.

Interpretación parámetros de salud y estado físico.

Table 2. Pre- and post-intervention measures, and the changes throughout the 10-week intervention, of anthropometry and physiological measures in the carbohydrate (CHO) and placebo (PLA) groups.

	CHO (n = 6)			PLA (n = 6)		
Age (years)	46.2 \pm 10.2			45.8 \pm 8.3		
Height (cm)	167.1 \pm 8.1			171.9 \pm 5.9		
	Pre-	Post-	Δ	Pre-	Post-	Δ
Body mass (kg)	70.2 \pm 16.4	70.3 \pm 16.8	+0.1 \pm 0.9	71.3 \pm 9.6	71.9 \pm 8.8	+0.6 \pm 1.6
Fat composition (%)	27.5 \pm 7.9	26.6 \pm 5.9	-0.9 \pm 3.7	25.9 \pm 9.4	24.0 \pm 10.0	-1.9 \pm 1.8
Waist-to-hip ratio	0.84 \pm 0.11	0.82 \pm 0.10	-0.02 \pm 0.02	0.81 \pm 0.13	0.81 \pm 0.12	-0.01 \pm 0.02
BMI (kg · m ²)	24.8 \pm 3.6	24.8 \pm 3.7	+0.0 \pm 0.3	24.1 \pm 2.7	24.3 \pm 2.4	+0.2 \pm 0.5
HRrest (beats · min ⁻¹)	61.2 \pm 6.0	62.7 \pm 9.2	+1.5 \pm 8.3	62.3 \pm 9.1	60.4 \pm 8.2	-1.9 \pm 3.6
SaO ₂ (%)	98.5 \pm 0.5	98.0 \pm 0.9	-0.5 \pm 1.2	96.7 \pm 3.4	98.0 \pm 1.2	+0.7 \pm 3.4
MAP (mmHg)	92.7 \pm 9.0	87.8 \pm 6.4	-4.9 \pm 5.9	93.1 \pm 8.8	94.3 \pm 8.5	1.2 \pm 4.7
VO ₂ peak (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	39.6 \pm 6.1	41.2 \pm 9.6	+1.6 \pm 9.3	44.8 \pm 9.7	45.0 \pm 9.7	+0.2 \pm 3.6

Pre- = pre-intervention; post- = post-intervention; Δ = changes from pre- to post-intervention; HRrest = resting heart rate; SaO₂ = oxygen saturation rate; MAP = mean arterial pressure.

Nota. Adaptado de “Effect of carbohydrate ingestion during cycling exercise on affective valence and activation in recreational exercisers “ de Lee, V., Rutherford-Markwick, K., & Ali, A., (2018), *Journal of Sports Sciences*, 36(3), 340–347.

(<https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1306651>)

Tampoco hubo diferencias entre CHO y PLA en HDL, LDL, colesterol total, TG, glucosa en ayunas y las concentraciones de insulina al inicio del estudio. Además, no hubo diferencias antes y después de la intervención en, LDL, colesterol total, TG o insulina. Sin embargo, la glucosa en ayunas aumentó en CHO pero disminuyó en PLA.

De otro modo, debido al gran uso de un suplemento más sólido, Sareban et al. (2016) comparan el impacto de la administración de CHO en forma de gel y líquido en el rendimiento del triatlón de larga distancia, las respuestas metabólicas y las molestias gastrointestinales. En este estudio, solo nos centramos en la segunda transición de la prueba, es decir en el ciclismo.

Realizaron el estudio 9 participantes, los cuales tenían una edad de $38,8 \pm 10,1$ años ($M \pm DE$), pesaban $79,1 \pm 7,8$ kg y tenían un pico de VO_2 de $58,6 \pm 6,5$ $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.

La prueba en la modalidad de bicicleta consistió en realizar 180 minutos al 90 % del umbral ventilatorio (VT). Además, este diseño permitió comparar el impacto de GEL frente a LIQ en las respuestas metabólicas y el malestar gastrointestinal durante la bicicleta sin tener en cuenta las diferencias en el ritmo como posibles factores de confusión. La ingesta objetivo de CHO fue de 81 g/h a lo largo de la bicicleta.

Sobre los resultados, 7 de los 9 participantes reportaron síntomas GI en la condición GEL. Un participante tuvo que defecar entre la bicicleta y la carrera. Ningún participante informó síntomas gastrointestinales en la condición LIQ.

Por otra parte, King et al. (2019) analizan la oxidación de glucógeno hepático y muscular y rendimiento con variación de dosis de ingesta de glucosa-fructosa durante ejercicio prolongado (3h). Seleccionaron a 11 ciclistas masculinos

saludables. La edad media, la masa corporal, la estatura, el $\dot{V}O_2$ máx y la producción de potencia máxima (W_{max}) fueron $30,3 \pm 6,5$ años, $78,2 \pm 10,5$ kg, $179,6 \pm 5,8$ cm, $60,0 \pm 4,3$ ml $kg^{-1} min^{-1}$ y $329,5 \pm 33,2$ W, respectivamente.

Estos ciclistas fueron divididos en 3 grupos de ingesta de HC durante el ejercicio: 80, 90 y 100 g/HC, e ingirieron estos HC en forma de bebida y con una proporción estándar de azúcares: 2 partes de glucosa por 1 de fructosa.

Su prueba consistió en realizar una contrarreloj de 30 min después de un recorrido de 3 h en estado estable a intensidad moderada.

Los resultados que marcaron este estudio fueron que el $\dot{V}O_2$ y el $\dot{V}CO_2$ aumentaron en una cantidad pequeña pero significativa a lo largo del tiempo, es decir, entre la 1.^a y la 2.^a hora y las horas 2 y 3. El RER entre las condiciones de CHO no fue diferente a lo largo de las 3 h de viaje, pero fue mayor en todas las condiciones de CHO en la 2.^a y 3.^a h en relación con PLA.

La HR no aumentó significativamente entre las condiciones durante las 3 horas.

Tabla 7.

Análisis 1^a, 2^a y 3^a hora.

Table 1 Respiratory gas exchange, heart rate and substrate utilisation over the 1st, 2nd 3rd hours of the 3-h ride

	Condition				
	Hour	Pla	80 g h ⁻¹	100 g h ⁻¹	100 g h ⁻¹
HR (b min ⁻¹)	1st	136±13	135±12	136±6	138±12
	2nd	140±14	139±13	140±13	142±13
	3rd	145±14	141±13	144±14	144±13
$\dot{V}O_2$ (L min ⁻¹)	1st	2.91±0.31	3.06±0.46	2.87±0.44	3.11±0.36
	2nd	3.03±0.30	3.01±0.49	3.00±0.47	3.22±0.34
	3rd	3.12±0.37	3.10±0.49	3.13±0.45	3.25±0.42
$\dot{V}CO_2$ (L min ⁻¹)	1st	2.60±0.27	2.77±0.38	2.62±0.36	2.84±0.30
	2nd	2.66±0.27	2.78±0.44	2.76±0.42	3.00±0.30
	3rd	2.69±0.30	2.87±0.44	2.86±0.41	3.02±0.38
RER	1st	0.89±0.03	0.91±0.03	0.92±0.03	0.91±0.03
	2nd	0.88±0.03	0.92±0.03	0.92±0.03	0.93±0.03
	3rd	0.86±0.03	0.92±0.03	0.92±0.03	0.93±0.02
CHO _{ox} (g)	1st	149.6±22.7	162.4±28.7	166.6±27.3	167.5±18.3
	2nd	144.0±25.9	177.4±33.0	182.5±34.4	189.9±19.6
	3rd	137.5±25.3	179.0±32.6	185.4±37.3	192.3±19.8
Fat _{ox} (g)	1st	33.6±10.0	30.1±11.8	25.6±9.2	28.8±10.8
	2nd	36.4±9.2	24.0±10.5	21.4±8.8	23.4±11.0
	3rd	40.3±10.3	24.1±10.6	23.3±8.6	23.8±11.0

Data are heart rate in b min⁻¹, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ in L min⁻¹, respiratory exchange ratio (RER), and CHO and fat oxidation in grams. The 1st hour is presented in the top line of each variable, and the 2nd hour in the middle line and the 3rd hour in the bottom line. All values are mean ± SD. a denotes PLA significantly lower than HGF

Nota. Adaptado de “Liver and muscle glycogen oxidation and performance with dose variation of glucose-fructose ingestion during prolonged (3h) exercise “ de

King, A. J., O'Hara, J. P., Arjomandkhah, N. C., Rowe, J., Morrison, D. J., Preston, T., & King, R. F. G. J., (2019), *European Journal of Applied Physiology*, 119(5), 1157–1169.

<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04106-9>

En comparación con PLA, la ingesta de CHO provocó una reducción moderada en la cantidad absoluta de CHO endógeno oxidado en la 3.^a hora de ejercicio con 80 gh⁻¹ y 100 gh⁻¹ y una gran reducción con 90 gh⁻¹.

La producción de potencia en la prueba contrarreloj de 30 min fue más alta con 90 g h⁻¹. Esta fue una producción de potencia un 6,8 % mayor que 100 gh⁻¹. En comparación con 80 gh⁻¹, esto dio como resultado una potencia de salida un 4,0 % mayor. Contra la condición de placebo, las 3 dosis de CHO produjeron una producción de potencia promedio más alta.

Con 90 gh⁻¹ se observó una pequeña reducción con respecto a 80 gh⁻¹.

Con 100 g h⁻¹, las tasas de oxidación de la glucosa plasmática aumentaron más rápidamente, produciendo diferencias moderadas, pero no significativas con 80 y 90 g h⁻¹ a los 90 y 120 min. A los 150 y 180 min, la tasa de oxidación de la glucosa plasmática permaneció ligeramente más alta con 100 gh⁻¹

Figura 10.

Potencia de salida durante la prueba contrarreloj de 30 min.

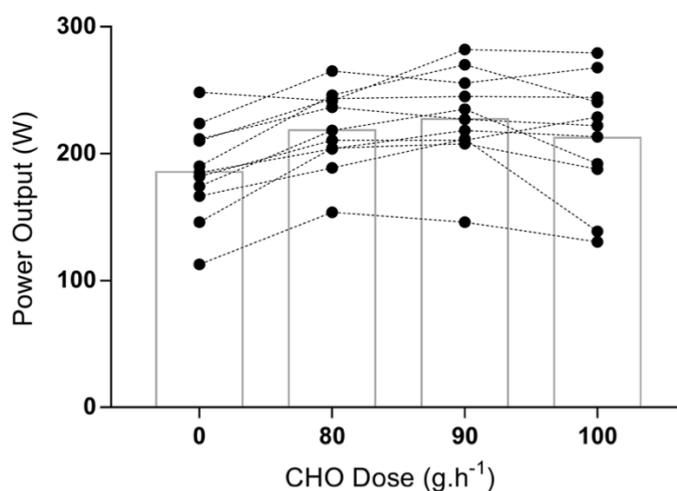


Fig. 5 Power output during the 30-min time trial with individual performance data. See text for statistical and ES comparisons

Nota. Adaptado de “Liver and muscle glycogen oxidation and performance with dose variation of glucose-fructose ingestion during prolonged (3h) exercise “ de King, A. J., O’Hara, J. P., Arjomandkhah, N. C., Rowe, J., Morrison, D. J., Preston, T., & King, R. F. G. J., (2019), *European Journal of Applied Physiology*, 119(5), 1157–1169.

<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04106-9>

De otro modo, Zderic et al. (2004) analizan como afecta la manipulación de los carbohidratos de la dieta y el glucógeno muscular durante el ejercicio cuando la oxidación de grasas se ve afectada por el bloqueo beta-adrenérgico. En su investigación, coge como sujetos a 6 ciclistas masculinos entrenados en resistencia.

Los sujetos se ejercitaron en el laboratorio 3 días consecutivos para dos ensayos.

En los días 1 y 2 de cada prueba, los sujetos consumieron una dieta de control o HF de igual contenido calórico mientras hacían ejercicio durante 2 horas al 65 % del VO₂ pico el día 1 seguido de 1 hora al 65 % del VO₂ pico el día 2. En el día 3 de cada prueba, después de un ayuno nocturno de 12 h, los sujetos se ejercitaron al 50 % del VO₂ pico durante 1 h mientras se monitoreaba el metabolismo con una infusión de trazador de isótopos estables glucosa y glicerol y calorimetría indirecta. Dos horas antes del ejercicio, los sujetos consumieron 80 mg de propanolol, un bloqueador no selectivo de los receptores β-adrenérgicos (βB). El propanolol es un potente inhibidor de la lipólisis y la oxidación de grasas durante el ejercicio.

Durante el ejercicio, los sujetos inhalaban a través de una válvula de dos vías mientras se medía el volumen de aire inspirado con un neumotacómetro y se analizaba el oxígeno y el dióxido de carbono. Donde la oxidación de grasas y carbohidratos se calculó a partir de las mediciones de $\dot{V}O_2$ y $\dot{V}CO_2$.

Los resultados marcaron que la oxidación total de carbohidratos durante el ejercicio se redujo un 18 % con βB HF en comparación con βB CON. Además, la oxidación de glucógeno calculada en todo el cuerpo se redujo un 29 % con la dieta βB HF.

Figura 11.

Oxidación de carbohidratos totales y glucógeno.

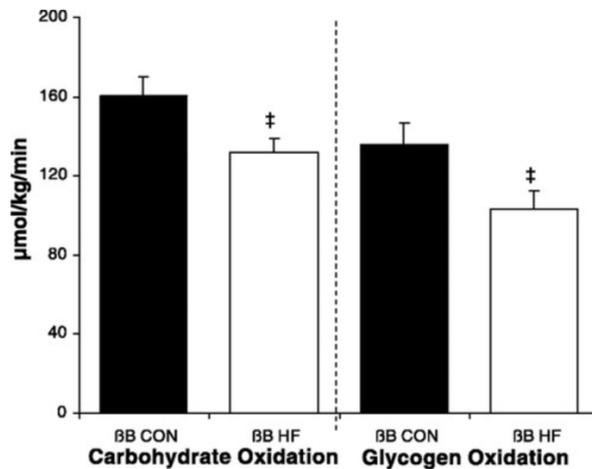


Fig. 2.

Total carbohydrate and whole body glycogen oxidation during 60 min of exercise at 50% $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ with propranolol ingestion 2 h before exercise after 2 days on either β B CON or β B HF diet. [‡] β B HF lower than β B CON, $P < 0.05$.

Nota. Adaptado de “Manipulation of dietary carbohydrate and muscle glycogen affects glucose uptake during exercise when fat oxidation is impaired by β -adrenergic blockade “ de Zderic, T. W., Schenk, S., Davidson, C. J., Byerley, L. O., & Coyle, E. F., (2004), *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 287(6), E1195-201.

(<https://doi.org/10.1152/ajpendo.00302.2004>)

Otro de los macronutrientes más asociados al rendimiento, son las grasas, por lo que, Brown et al. (2000) hicieron una comparación del efecto de dietas altas en carbohidratos con dietas altas en grasas sobre la composición corporal en ciclistas entrenados. Fueron seleccionados 30 ciclistas masculinos y 2 femeninos. La edad media de los sujetos fue de 26 ± 9 años (rango 16-62). Asignados al azar para recibir asesoramiento dietético alto en carbohidratos (HC) o alto en grasas (HF) durante un período de 12 semanas.

En HF, aproximadamente el 45-50% de la energía total se derivó de la grasa y el 35-40% de los carbohidratos. En HC, las proporciones fueron 15% de grasa y 65-70% de carbohidratos

Los resultados obtenidos fueron de un aumento pequeño pero significativo de la densidad mineral ósea (DMO) en HF y una tendencia a aumentar la DMO en HC. Atribuimos estos aumentos a la acumulación de minerales óseos de los atletas

jóvenes, que no han alcanzado el pico de masa ósea y están haciendo mucho ejercicio y una dieta adecuada de calcio

Para finalizar, Maunder et al. (2019) determinan si los cambios inducidos por el estrés por calor en las tasas de oxidación de CHO se ven afectados por la intensidad del ejercicio. Donde seleccionaron 20 ciclistas y triatletas masculinos competitivos entrenados en resistencia.

En dicha investigación se realizaron 2 estudios.

El estudio 1, consistió en pruebas de ejercicio incremental (IET) realizadas a 18 y 35 °C, con dos visitas de laboratorio posteriores que incluyeron ciclismo prolongado a 18 y 35 °C. Se realizaron comparaciones entre ensayos y dentro de los ensayos en la carga de trabajo absoluta que provocó el primer umbral ventilatorio bajo estrés por calor ambiental (baja intensidad, 184 ± 18 W), el primer umbral ventilatorio en condiciones templadas (intensidad moderada, 219 ± 40 W), y el segundo umbral ventilatorio en condiciones templadas (intensidad alta, 266 ± 37 W).

El Estudio 2 presentó un IET inicial realizado en un cicloergómetro en un ambiente templado (18°C, 60% de humedad relativa para determinar la tasa de trabajo en el primer (VT1) y segundo (VT2) umbrales ventilatorios. En orden aleatorizado y contrabalanceado, los participantes realizaron 20 min de ejercicio de ciclismo en VT1 (intensidad moderada, 220 ± 19 W) seguidos inmediatamente por 5 min en VT2 (277 ± 19 W).

Donde los resultados requieren una magnitud mínima de estrés por calor externo e interno antes de que se observe una estimulación del metabolismo de los CHO inducida por el estrés por calor durante el ejercicio

5. Discusión

Suplementación con hidratos de carbono en ciclistas

En primer lugar, se observa que el período preferible es la pretemporada para el entrenamiento utilizando dietas bajas en carbohidratos, ya que las bajas intensidades relativas y el alto volumen de trabajo son las principales características de esta parte del año competitivo.

En segundo lugar, no es del todo sorprendente que seguir el protocolo actual de sprints de 4×30 s con 3,5 minutos de recuperación pasiva fuera insuficiente

para mitigar las caídas de rendimiento. Sin embargo, la ingesta de CHO tampoco pareció tener ningún efecto adicional en la protección contra las reducciones en el rendimiento inducidas por el ejercicio, en comparación con el placebo. Para que los CHO exógenos medien su efecto como ayuda ergogénica, necesitan ser consumidos, absorbidos, entregados, absorbidos y preferentemente oxidados sobre otros sustratos disponibles por el músculo esquelético para su uso en el recambio de ATP (McMahon y Thornbury, 2020).

Aunque el enjuague bucal con CHO pareció mitigar la fatiga central y periférica, no fue efectivo para mejorar el rendimiento de TT4km en el laboratorio. Estos resultados desafían la sugerencia de usar enjuagues bucales con CHO como una estrategia para mejorar el rendimiento en pruebas contrarreloj de ciclismo de corta duración (Pires et al., 2018).

De otro modo, existe un beneficio positivo en el rendimiento del enjuague bucal con CHO durante las últimas etapas del TT de ciclismo de alta intensidad, después de un ciclismo submáximo prolongado en una condición nutricional válida desde el punto de vista ecológico. Específicamente, se observa que cuando se usó un enjuague bucal con CHO, tanto el tiempo hasta la finalización como la potencia no cambiaron a lo largo del tiempo, a diferencia de una disminución notable en el rendimiento cuando no se usó un enjuague bucal con CHO. En promedio, esto dio como resultado un TT un 1,7 % (35 s) más rápido para FEDWASH en comparación con el tratamiento con FEDPLA. Pero es importante tener en cuenta que la mejora del rendimiento no se observó en todos los participantes, lo que sugiere que la respuesta puede depender del individuo (Jensen et al, 2018).

Sin embargo, este efecto beneficioso sobre el rendimiento observado durante FEDWASH puede ser solo de corta duración, ya que un mayor reclutamiento de fibras tipo II daría como resultado no solo una mayor capacidad para mantener la producción de potencia, sino también una mayor posibilidad de fallar debido a la fatiga.

Por otra parte, en el estudio de (Lee et al., 2018) los participantes del grupo CHO se encuentran en un estado de mayor activación y placer en comparación con el grupo PLA. Esto muestra que, a lo largo de la intervención, los participantes del

grupo CHO estuvieron en el cuadrante de "alta activación, placer", mientras que los participantes del grupo PLA estuvieron solo en el cuadrante durante el 60% de las sesiones. El cuadrante de "alta activación, placer" se asocia con energía, vigor, emoción y revitalización, mientras que las calificaciones del cuadrante "disminución de la activación y el placer" se asocian con la calma, la relajación, así como con el cansancio y/o el aburrimiento.

Sobre la confluencia que existe sobre los dolores gastrointestinales y el rendimiento, el estudio realizado por (King et al., 2019) confirma parcialmente la hipótesis de que la tasa de ingestión de soluciones de glucosa-fructosa por encima de las tasas de saturación intestinal reportadas previamente durante 3 h de ejercicio influyó negativamente en el rendimiento posterior de la prueba contrarreloj. Esto probablemente se explica por una mayor dependencia del glucógeno muscular, en lugar de cambios reales en la oxidación de CHO exógenos o la glucosa liberada por el hígado. Donde se observa que el rendimiento después de la carrera prolongada de 3 h también fue superior con 90 g h^{-1} , un hallazgo novedoso con respecto al rendimiento del ejercicio de esta duración con suministro de CHO exógeno. En conjunto, esto sugiere que la dosis de CHO ingerida no debe exceder las tasas de saturación intestinal informadas, como se mostró anteriormente.

Finalmente, (Maunder et al., 2020) sugieren que la intensidad del ejercicio regula el efecto del estrés por calor en las tasas de oxidación de CHO durante el ejercicio, por lo que se observan mayores efectos a intensidades de ejercicio relativas más altas, y que el estrés por calor externo requerido para estimular las tasas de oxidación de CHO durante el ejercicio es menor a intensidades relativas de ejercicio más altas.

6. Futuras líneas de investigación

Los artículos analizados en este trabajo, con sus consecuentes limitaciones y resultados obtenidos, dejan entrever posibles campos de investigación de cara al futuro. A continuación, se exponen algunos de ellos:

En primer lugar, la limitación presente en el diseño de nuestro estudio es la falta de datos metabólicos reguladores que puedan proporcionar más detalles sobre el mecanismo en la fibra muscular en respuesta a la alimentación con CHO.

En segundo lugar, sería interesante investigar como afecta el rendimiento con dosis de mas de 100g/h.

Otro punto que se podría investigar es como afecta el rendimiento con suplementación de carbohidratos en etapas de montaña, ya que el rendimiento es mucho mayor.

Por otra parte, sería también interesante ver como afecta el rendimiento con productos que no sean geles ni líquidos, es decir, con tortitas o pasteles que muchos nutricionistas elaboran a sus ciclistas, para ver también así si tienen dolores gastrointestinales.

Teniendo en cuenta la importancia de los entrenamientos de fuerza, sería interesante investigar sobre el efecto que tienen los CHO para la recuperación y rendimiento del ciclista posterior a su entreno de fuerza.

También se puede investigar una carga alta carga en carbohidratos previo a una gran vuelta, es decir, previo a una carrera de 15-20 días. Donde se podría suplementar a los ciclistas una semana previa con diferentes dosis.

Por ultimo, la futura línea de investigación la haría mitigando según el tipo de ciclista. Es decir, suplementaria al ciclista con diferentes dosis según sea un esprinter o escalador, y así ver su rendimiento e indagar con diferentes dosis para ver cual seria la mas adecuada según sus características como ciclista.

7. Conclusiones

La suplementación con carbohidratos en ciclistas se postula como un efecto positivo, aunque hay que indagar sobre las dosis que se digieren, ya que puede llegar a tener consecuencias negativas como dolores gastrointestinales. Donde, para la mayoría de los individuos entrenados, es probable que la tasa de alimentación óptima para maximizar el efecto ergogénico de los CHO en el rendimiento de resistencia se produzca en torno a los 40-60 g/h.

Sobre las dietas bajas en carbohidratos, se ha demostrado que ha reducido significativamente el peso corporal y el porcentaje de grasa corporal, y mejoraron los valores de potencia relativa de 20 minutos en una muestra de ciclistas de ruta en comparación con una dieta convencional isocalórica.

Se ha hallado de que el uso de GEL está asociado con un mayor riesgo de malestar gastrointestinal. Por lo que los ciclistas y el personal de apoyo deben considerar cuidadosamente las posibles ventajas y desventajas de las diferentes formas de administración de CHO.

Concluimos también que la ingesta de CHO inmediatamente antes y durante el ejercicio de sprint corto, máximo y repetido no es una consideración clave en un contexto de rendimiento o para mejorar la calidad del entrenamiento.

Finalmente, sobre los enjuagues bucales, se ha proporcionado evidencia de que el CHO no es una estrategia ergogénica efectiva para mejorar el rendimiento en una contrarreloj de 4kms, lo que desafía el uso del enjuague bucal con CHO para potenciar el rendimiento en pruebas de tiempo corto. Aunque puede mitigar parcialmente el efecto fatigante de una serie de resistencia para algunos atletas.

8. Referencias bibliográficas

- Baur, D. A., Toney, H. R., Saunders, M. J., Baur, K. G., Luden, N. D., & Womack, C. J. (2019). Carbohydrate hydrogel beverage provides no additional cycling performance benefit versus carbohydrate alone. *European Journal of Applied Physiology*, 119(11–12), 2599–2608. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04240-4>
- Brown, R. C., Cox, C. M., & Goulding, A. (2000). High-carbohydrate versus high-fat diets: effect on body composition in trained cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3), 690–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200003000-00021>
- Cummings, J. H., & Stephen, A. M. (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61 Suppl 1(S1), S5–18. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602936>

- Jensen, M., Klimstra, M., Sporer, B., & Stellingwerff, T. (2018). Effect of carbohydrate mouth rinse on performance after prolonged submaximal cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(5), 1031–1038. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001529>
- King, A. J., O'Hara, J. P., Arjomandkhah, N. C., Rowe, J., Morrison, D. J., Preston, T., & King, R. F. G. J. (2019). Liver and muscle glycogen oxidation and performance with dose variation of glucose-fructose ingestion during prolonged (3 h) exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 119(5), 1157–1169. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04106-9>
- Lee, V., Rutherford-Markwick, K., & Ali, A. (2018). Effect of carbohydrate ingestion during cycling exercise on affective valence and activation in recreational exercisers. *Journal of Sports Sciences*, 36(3), 340–347. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1306651>
- Maunder, E., Plews, D. J., Merien, F., & Kilding, A. E. (2020). Exercise intensity regulates the effect of heat stress on substrate oxidation rates during exercise. *European Journal of Sport Science: EJSS: Official Journal of the European College of Sport Science*, 20(7), 935–943. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1674928>
- McMahon, G., & Thornbury, A. (2020). Ingestion of carbohydrate prior to and during maximal, sprint interval cycling has no ergogenic effect: A randomized, double-blind, placebo controlled, crossover study. *Nutrients*, 12(8), 2223. <https://doi.org/10.3390/nu12082223>
- Newell, M. L., Hunter, A. M., Lawrence, C., Tipton, K. D., & Galloway S, D. R. (2015). The ingestion of 39 or 64 g·h⁻¹ of carbohydrate is equally effective at improving endurance exercise performance in cyclists. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(3), 285–292. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0134>
- Pires, F. O., Brietzke, C., Pinheiro, F. A., Veras, K., de Mattos, E. C. T., Rodacki, A. L. F., & Ugrinowitsch, C. (2018). Carbohydrate mouth rinse fails to improve four-kilometer cycling time trial performance. *Nutrients*, 10(3), 342. <https://doi.org/10.3390/nu10030342>

- Sareban, M., Zügel, D., Koehler, K., Hartveg, P., Zügel, M., Schumann, U., Steinacker, J. M., & Treff, G. (2016). Carbohydrate intake in form of gel is associated with increased gastrointestinal distress but not with performance differences compared with liquid carbohydrate ingestion during simulated long-distance triathlon. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(2), 114–122. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0060>
- Sitko, S., Cirer-Sastre, R., Corbi, F., & López Laval, I. (2020). Effects of a low-carbohydrate diet on body composition and performance in road cycling: a randomized, controlled trial. *Nutricion Hospitalaria: Organo Oficial de La Sociedad Espanola de Nutricion Parenteral y Enteral*, 37(5), 1022–1027. <https://doi.org/10.20960/nh.03103>
- Svendsen, I. S., Killer, S. C., Carter, J. M., Randell, R. K., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M. (2016). Impact of intensified training and carbohydrate supplementation on immunity and markers of overreaching in highly trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 116(5), 867–877. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3340-z>
- Webster, C. C., Noakes, T. D., Chacko, S. K., Swart, J., Kohn, T. A., & Smith, J. A. H. (2016). Gluconeogenesis during endurance exercise in cyclists habituated to a long-term low carbohydrate high-fat diet. *The Journal of Physiology*, 594(15), 4389–4405. <https://doi.org/10.1113/JP271934>
- Zderic, T. W., Schenk, S., Davidson, C. J., Byerley, L. O., & Coyle, E. F. (2004). Manipulation of dietary carbohydrate and muscle glycogen affects glucose uptake during exercise when fat oxidation is impaired by beta-adrenergic blockade. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 287(6), E1195-201. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00302.2004>