

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO EN FISIOTERAPIA



**EFFECTO DEL ENTRENAMIENTO DE LA MUSCULATURA INSPIRATORIA (IMT)
EN CICLISTAS. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

AUTOR: GONZAGA MARTÍNEZ, ANA

TUTOR: GASCÓN JAÉN, JAIME

Curso académico: 2024 - 2025

Convocatoria de JUNIO

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. OBJETIVOS.....	6
5. MATERIAL Y MÉTODOS	7
6. RESULTADOS	9
7. DISCUSIÓN	13
8. CONCLUSIÓN	17
9. BIBLIOGRAFÍA.....	18
10. ANEXOS.....	22

1. RESUMEN

Introducción: El ciclismo es un deporte de resistencia que exige adaptaciones cardiovasculares y respiratorias para optimizar el suministro de oxígeno. La fatiga de los músculos inspiratorios puede limitar el rendimiento debido a la competencia por el flujo sanguíneo con los músculos activos. El entrenamiento de los músculos inspiratorios (IMT) puede incrementar tanto su capacidad funcional como su resistencia, lo que lo convierte en una intervención útil para optimizar el desempeño físico y favorecer la recuperación post ejercicio.

Objetivos: Evaluar mediante la literatura científica el efecto del entrenamiento de la musculatura inspiratoria (IMT) en ciclistas sanos.

Material y métodos: Se realizó una búsqueda de ensayos clínicos publicados en las bases de datos Pubmed, Cochrane Library, embase y Web of Science desde el año 2000, que analizan los efectos del IMT en ciclistas sanos.

Resultados: Se incluyeron doce estudios de los cuales nueve dividen a los participantes en grupo experimental y grupo control y los restantes los dividen en tres grupos trabajando a diferentes intensidades con el objetivo de averiguar la más adecuada. Se encontraron efectos en muchas variables como: variables fisiológicas respiratorias, de rendimiento deportivo, de percepción de esfuerzo, cardiovasculares y metabólicas.

Conclusión: Existe evidencia moderada de que el IMT es una herramienta valiosa para optimizar la fisiología y el rendimiento de los ciclistas siendo una intervención que considerar en los programas de entrenamiento. Por otro lado, no hay evidencia suficiente para dar una dosis óptima de trabajo.

Palabras clave: “Entrenamiento de los músculos inspiratorios”, “Entrenamiento de los músculos respiratorios”, “ciclista”, “rendimiento” y “ciclismo”

2. ABSTRACT

Introduction: Cycling is an endurance sport that requires cardiovascular and respiratory adaptations to optimize oxygen delivery. Fatigue of the inspiratory muscles can limit performance due to competition for blood flow with active muscles. Inspiratory muscle training (IMT) can increase both functional capacity and endurance, making it a useful intervention for optimizing physical performance and promoting post-exercise recovery.

Objectives: To evaluate the effect of inspiratory muscle training (IMT) in healthy cyclists using the scientific literature.

Materials and methods: A search was conducted for clinical trials published in the PubMed, Cochrane Library, Embase, and Web of Science databases since 2000 that analyze the effects of IMT in healthy cyclists.

Results: Twelve studies were included, nine of which divided participants into experimental and control groups, and the remaining divided participants into three groups working at different intensities to determine the most appropriate intensity. Effects were found on many variables, including respiratory physiological variables, athletic performance variables, perceived exertion variables, cardiovascular variables, and metabolic variables.

Conclusion: There is moderate evidence that IMT is a valuable tool for optimizing cyclists' physiology and performance and is a worthwhile intervention in training programs. However, there is insufficient evidence to establish an optimal training dose.

Keywords: "Inspiratory muscle training," "Respiratory muscle training," "cyclist," "performance," and "cycling"

3. INTRODUCCIÓN

La práctica del ciclismo requiere una integración compleja de resistencia aeróbica, fuerza muscular, planificación táctica y destreza técnica, lo que supone un reto a nivel fisiológico. (Lucia et al., 1998). El sistema cardiovascular experimenta adaptaciones clave: durante el ejercicio, el corazón aumenta su frecuencia y gasto cardíaco para bombear sangre oxigenada a los músculos activos, mientras que la vasodilatación mejora el flujo sanguíneo periférico, optimizando el suministro de oxígeno y nutrientes (Lucia et al., 2007). Estas adaptaciones son cruciales para el rendimiento en diferentes modalidades, como el ciclismo de pista y ruta. De igual forma, el sistema respiratorio se adapta incrementando la ventilación pulmonar a través de un mayor trabajo de los músculos respiratorios, mejorando así el intercambio gaseoso en los alvéolos (Saunders et al., 2004).

Al ser el ciclismo un deporte de resistencia que demanda alto consumo de oxígeno y una ventilación elevada, se observa cómo es un deporte estrechamente relacionado con el sistema respiratorio (HajGhanbari et al., 2013), siendo los principales factores respiratorios que limitan el rendimiento físico de alta intensidad las limitaciones en la mecánica pulmonar, la limitación de la difusión pulmonar, el reflejo metabólico respiratorio y la fatiga muscular respiratoria, siendo los dos últimos fundamentales en cuanto a su relación con el entrenamiento de los músculos inspiratorios (López Chicharro, 2006). Por todo ello es importante recordar que los músculos inspiratorios se entrenan en base a los mismos principios que cualquier otro músculo esquelético, es decir, mediante ejercicios ventilatorios repetitivos contra una carga externa (Elkins & Dentice, 2015).

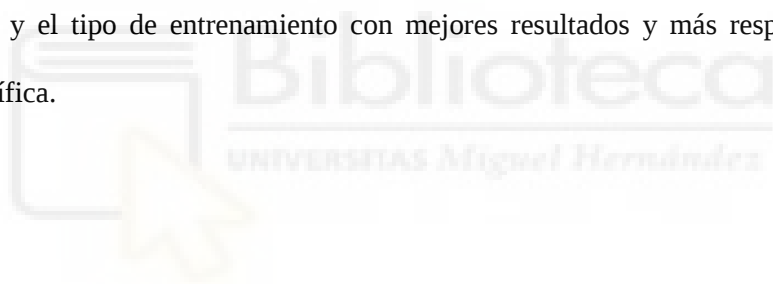
El entrenamiento de los músculos inspiratorios (IMT) es un método de entrenamiento y modalidad terapéutica que añade una carga adicional al diafragma y a los músculos inspiratorios accesorios con el objetivo de mejorar su fuerza y resistencia (Silva et al., 2019), superando la resistencia de dichos músculos, precisando un esfuerzo controlado, específico y repetido a intervalos regulares,

siendo una estrategia viable para optimizar la capacidad respiratoria (Caine y McConnell, 2000). Sus beneficios están relacionados con aumentar el suministro de oxígeno a los tejidos. (Moodie et al., 2011; Ribeiro et al., 2012). Se considera una herramienta complementaria para promover el rendimiento del ejercicio físico de sujetos entrenados y no entrenados (Gething et al., 2004) a través de la reducción de la disnea percibida y la atenuación de la fatiga muscular periférica (HajGhanbari et al., 2013).

El IMT produce una mejora de la fuerza y resistencia muscular inspiratoria, pudiendo inducir hipertrofia en estos músculos mejorando la presión inspiratoria máxima (PIM) (Turner et al., 2012), la eficiencia pulmonar general (Downey et al., 2007) y el rendimiento físico (Illi et al., 2012), especialmente en deportes de resistencia o esfuerzos intensos (HajGhanbari et al., 2013). Esto reduce el esfuerzo ventilatorio, liberando más oxígeno y flujo sanguíneo para los músculos activos durante el ejercicio, y compensa el metaborreflejo, mejorando el suministro de oxígeno a las extremidades (Silva et al., 2019). Además, el IMT beneficia al sistema inmunológico al modular las respuestas de IL-1b e IL-6, favoreciendo la captación de glucosa y procesos como la miogénesis y la lipólisis (Mills et al., 2013). También acelera la recuperación post-ejercicio al reducir el lactato en sangre, aumenta la tolerancia al ejercicio al disminuir la fatiga muscular inspiratoria, y reduce la sensación de disnea tanto en atletas (Brown et al., 2010) como en personas con enfermedades respiratorias (O'Connor et al., 2019).

Para su aplicación, existen tres tipos principales de dispositivos, los dispositivos umbral que requieren alcanzar una presión umbral para abrir una válvula, enfocándose en la fuerza inspiratoria; los dispositivos de carga resistiva que ofrecen resistencia constante al flujo de aire, trabajando fuerza y resistencia y por último los dispositivos de hiperpnea isocápnica voluntaria que permiten aumentar la ventilación manteniendo niveles constantes de CO₂ en sangre (González-Montesinos et al., 2012).

Algunos artículos evidencian mejoras del uso del IMT en ciclistas tales como aumento de la fuerza de la musculatura inspiratoria, lo que se asocia a una reducción del tiempo de sprint y mejora en la tolerancia al ejercicio (Cavalcante Silva et al., 2019), reducción de la percepción de esfuerzo lo que les permite mantener un mayor rendimiento (HajGhanbari et al., 2013), disminución de la fatiga de los músculos inspiratorios (Turner et al., 2012), además de influir positivamente en el control cardiovascular (de Abreu et al., 2020) y reducir el requerimiento de O₂ durante la hipernea voluntaria (Turner et al., 2012). Por otro lado, también se observan resultados inconsistentes ya que hay artículos que no encuentran mejoras significativas en el consumo máximo de oxígeno (VO₂ max) ni en la velocidad de rendimiento (Hanel & Secher, 1991; Williams et al., 2002). La variabilidad de los resultados puede deberse a la diversidad de protocolos y muestras, ya que hay diversidad en los parámetros de aplicación y en los tipos de entrenamientos. Por consiguiente, se estima pertinente llevar a cabo una revisión bibliográfica con el objetivo de determinar cuáles son los parámetros y el tipo de entrenamiento con mejores resultados y más respaldados por la evidencia científica.



4. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar mediante la literatura científica el efecto del entrenamiento de la musculatura inspiratoria (IMT) en ciclistas sanos.

Objetivos específicos:

1. Analizar la calidad metodológica de los distintos estudios que examinan el impacto del IMT en ciclistas.
2. Determinar la dosificación más apropiada del IMT para la disciplina elegida, el ciclismo.
3. Identificar a qué variables afecta el IMT en los ciclistas.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Esta revisión sistemática contó con la aprobación previa del Comité de Ética e Integridad en la Investigación, que le asignó el código identificativo TFG.GFI.JGJ.AGM.250228. Para garantizar el rigor metodológico, se siguieron las recomendaciones PRISMA, establecidas por Page et al. (2020) para revisiones y metaanálisis.

La recopilación bibliográfica se llevó a cabo entre el 20 de diciembre de 2024 y el 5 de febrero de 2025, abarcando las bases de datos PubMed, Cochrane Library, Embase y Web of Science. En PubMed, la estrategia de búsqueda se basó en términos clave como “Inspiratory Muscle Training”, “Respiratory Muscle Training”, “cyclist”, “performance” y “cycling”, combinados mediante operadores booleanos (AND/OR) y filtrados por estudios en humanos publicados a partir del año 2000. Esta misma estrategia se adaptó de manera específica para cada una de las demás bases de datos consultadas. (Figura 5. Estrategia de búsqueda)

Criterios de selección

En una primera fase, se realizó un cribado de los artículos identificados mediante la lectura crítica de sus títulos y resúmenes, aplicando los criterios de inclusión y exclusión predefinidos. Los estudios seleccionados debían ser ensayos clínicos que evaluaran los efectos del IMT en ciclistas sanos, publicados antes del año 2000 en español o inglés, sin restricciones demográficas. Por el contrario, se excluyeron aquellos trabajos que, a pesar de abordar el IMT, no especifican la dosificación del entrenamiento, así como los que presentan una puntuación inferior a 4 en la escala PEDro o evalúan el IMT en pruebas de ciclismo con participantes que no fueran ciclistas.

Selección de artículos

Tras eliminar los duplicados y los artículos que no cumplían los requisitos, se procedió a un análisis exhaustivo de la calidad metodológica. Para ello, se empleó la escala PEDro (Maher et al., 2013) en su versión española, que permite valorar la validez interna y externa de los estudios, así como la solidez de sus análisis estadísticos. Según esta herramienta, la calidad se clasifica en cuatro niveles: excelente (9-10 puntos), buena (6-8), regular (4-5) o mala (menos de 4).

Cabe destacar que todo el proceso de búsqueda, selección y evaluación fue realizado por la autora del estudio bajo la supervisión del tutor académico, siguiendo el protocolo reflejado en el diagrama de flujo PRISMA (Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA).



6. RESULTADOS

Para la elaboración de esta revisión se seleccionaron un total de 12 artículos, la mayoría obtenidos de la base de datos PubMed, tras seguir el proceso de filtrado establecido por las directrices PRISMA (Page et al., 2020) (Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA). Los hallazgos más relevantes de estos estudios han sido sintetizados en una tabla incluida en los anexos (Tabla 2. Resumen de la información extraída de los artículos)

Por lo que respecta al diseño todos los artículos son ensayos clínicos aleatorizados. En cuanto a las puntuaciones de los ítems de la escala PEDro en su versión traducida al español (Gómez-Conesa, A, 2012), siete presentan una calidad metodológica buena, teniendo cuatro una puntuación de 7 (Castro et al., 2023; Romer et al., 2002a; Sakaguchi et al., 2020; Martins de Abreu et al., 2019); y tres una puntuación de 6 (Turner et al., 2012; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Turner et al., 2016). Los cinco restantes tienen una calidad metodológica regular con una puntuación de 5 (Sonetti et al., 2001; Salazar-Martínez, 2024; Romer et al., 2002b) y 2 con una puntuación de 4 (Holm et al., 2004; Johnson et al., 2007) obteniendo una puntuación media entre todos de 5,75. La asignación de los sujetos a los diferentes grupos fue oculta en dos de los artículos (Castro et al., 2023; Sakaguchi et al., 2020), los participantes fueron cegados en cinco ocasiones (Castro et al., 2023; Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Turner et al., 2016; Martins de Abreu et al., 2019) los evaluadores fueron cegados en ocho ocasiones (Castro et al., 2023; Turner et al., 2016; Turner et al., 2012; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b; Martins de Abreu et al., 2019; Romer et al., 2002a; Sakaguchi et al., 2020) y los terapeutas no fueron cegados en ninguna ocasión. (Tabla 1. Resultados escala PEDRO)

En cuanto a la población se estudiaron un total de 224 ciclistas, de los cuales 216 eran hombres, 8 mujeres y hay 38 sujetos que se califican como ciclistas, pero no se especifica el sexo. La población de estudio más pequeña fue de dieciséis ciclistas (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Romer et al., 2002b) y la más grande cuenta con treinta y cuatro (Sakaguchi et al., 2020). Se aprecia bastante distinción de género ya que solo en uno de los estudios se menciona directamente la presencia de mujeres (Salazar-Martínez, 2024). Todos los

estudios se centran en adultos. Se aprecia una distinción en el nivel de los ciclistas estudiados, siendo ciclistas recreativos en cuatro artículos (Castro et al., 2023; Salazar-Martínez, 2024; Sakaguchi et al., 2020; Martins de Abreu et al., 2019), ciclistas competitivos en dos estudios (Johnson et al., 2007; Sonetti et al., 2001), ciclistas de élite en una ocasión (González-Montesinos et al., 2021), ciclistas altamente entrenados en dos artículos (Turner et al., 2012; Turner et al., 2016) y ciclistas entrenados y en forma en tres estudios (Romer et al., 2002b; Holm et al., 2004; Romer et al., 2002a). (Figura 2. Tipos de ciclistas)

Respecto al programa de intervención nueve de los estudios dividen a los participantes en grupo experimental (IMT) y grupo control (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Turner et al., 2016; Salazar-Martínez, 2024; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b; Sakaguchi et al., 2020; Sonetti et al., 2001) de los cuáles hay 2 en los que los participantes del grupo control no realizaban ningún tipo de intervención (Salazar-Martínez, 2024; Sakaguchi et al., 2020). Por otro lado, dos de los estudios dividen a los participantes en tres grupos, con un grupo control y otros dos que se diferencian por la intensidad de trabajo (Castro et al., 2023; Martins de Abreu et al., 2019). El último divide a los participantes en tres grupos siendo experimental, placebo y control (Holm et al., 2004)

Dentro de las intervenciones que se realizan se observa que en cinco de los estudios se utilizan IMT con carga de presión, *Pressure Threshold Training* (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Turner et al., 2016; Salazar-Martínez, 2024) principalmente con dispositivo POWERbreathe al 50% de la P_Imax (presión inspiratoria máxima). Por otro lado, tres de los estudios incluyen en su intervención IMT con diferentes intensidades utilizando distintas formas de definir la intensidad (cmH₂O, % de MIP) (Castro et al., 2023; Sakaguchi et al., 2020; Martins de Abreu et al., 2019) todos ellos variando la intensidad dentro de cada estudio. Dos artículos utilizan IMT sin especificación detallada del dispositivo o protocolo (Romer et al., 2002b; Sonetti et al., 2001) otros utilizan la manipulación de la carga de trabajo respiratorio durante el ejercicio, es decir, hiperpnea (Holm et al., 2004) y por último el entrenamiento con restricción nasal inspiratoria (González-Montesinos et al., 2021) (Figura 3. Tipo de intervención)

Los estudios que aplicaron mayor tiempo de duración aplicaron sus intervenciones durante 11 semanas (Castro et al., 2023; Sakaguchi et al., 2020; Martins de Abreu et al., 2019) en los tres artículos se reparten las sesiones en 3 veces por semana; y el que menos duración tiene es de 4 semanas (Holm et al., 2004), en este caso a 5 sesiones por semana. La mayoría de los artículos analizados realizaron sus intervenciones durante 6 semanas (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Turner et al., 2016; Salazar-Martínez, 2024; Romer et al., 2002b) y, a excepción de dos de ellos que no lo menciona (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a) los demás reparten las sesiones en 2 veces al día (Johnson et al., 2007; Turner et al., 2016; Salazar-Martínez, 2024; Romer et al., 2002b). Por último, dos artículos tienen duraciones diferentes uno con una duración de 9 semanas (Gonzalez-Montesinos et al., 2021) y otro de 5 semanas (Sonetti et al., 2001). (Figura 4. Duración del tratamiento)

Respecto a las variables estudiadas se analiza la metabolómica (Castro et al., 2023; Sakaguchi et al., 2020), variables cardiovasculares como variabilidad de frecuencia cardiaca, presión arterial... (Martins de Abreu et al., 2019), variables respiratorias como la P_Imax, P_Emax... (Castro et al., 2023; Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Salazar-Martínez, 2024; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b; Sakaguchi et al., 2020), rendimiento del ejercicio (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Holm et al., 2004; Johnson et al., 2007; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b; Sonetti et al., 2001), oxigenación muscular (Turner et al., 2016), percepción del esfuerzo (Romer et al., 2002a; Holm et al., 2004) y pruebas de función pulmonar (espirometría) (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Salazar-Martínez, 2024; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b)

En todos los estudios se tomaron las medidas antes y después de la intervención.

En general, los estudios que evaluaron el efecto del entrenamiento muscular inspiratorio (IMT) frente a un grupo control o placebo obtuvieron mejoras significativas en la fuerza de los músculos inspiratorios (presión inspiratoria máxima o MIP) (Castro et al., 2023; Turner et al., 2012; Salazar-Martínez, 2024; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b; Sakaguchi et al.,

2020; Sonetti et al., 2001; Romer et al., 2002a; Turner et al., 2016). asociado a incrementos en el rendimiento del ejercicio de resistencia (Romer et al., 2002b; Sonetti et al., 2001; Romer et al., 2002a; Holm et al., 2004; Johnson et al., 2007; Gonzalez-Montesinos et al., 2021). Adicionalmente, algunos estudios mostraron que el IMT puede inducir adaptaciones metabólicas (Castro et al., 2023) y reducir la fatiga de los músculos inspiratorios durante el ejercicio (Romer et al., 2002b; Johnson et al., 2007)



7. DISCUSIÓN

Para esta revisión se analizaron doce artículos. Dentro de los estudios se diferencian dos tipos, por un lado los que dividen a los participantes en grupo experimental y grupo control (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Turner et al., 2016; Salazar-Martínez, 2024; Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b; Sakaguchi et al., 2020; Sonetti et al., 2001) y por otro los que los dividen en varios grupos realizando la intervención en todos ellos a diferentes intensidades (Castro et al., 2023; Martins de Abreu et al., 2019). Estos dos enfoques permiten analizar tanto el efecto aislado del IMT, sin establecer relación con otras intervenciones, como su variación según la intensidad aplicada. En los dos tipos de estudios mencionados anteriormente, los autores reportan cómo los participantes están cegados en muchas ocasiones ya que al trabajar con distintas intensidades los participantes no sabían al grupo que pertenecían, siendo algo que reduce el riesgo de sesgo.

En cuanto a la dosificación, los estudios varían en la intensidad y duración de los programas de IMT. Se han utilizado protocolos de 6 semanas al 50% de la MIP (presión inspiratoria máxima) (Turner et al., 2012; Romer et al., 2002a; Johnson et al., 2007; Turner et al., 2016; Romer et al., 2002b), programas de 5 semanas que combinan fuerza y resistencia (Sonetti et al., 2001) y programas más largos de 11 semanas con diferentes intensidades basadas en el porcentaje de la MIP (60% y 85-90%) (Castro et al., 2023; Sakaguchi et al., 2020; Martins de Abreu et al., 2019). Si bien no se puede determinar una dosis óptima concluyente, y a pesar de que las diferentes intensidades se estudian casi por igual en los artículos revisados, la intensidad moderada (alrededor del 60% de la MIP) parece prometedora para influir positivamente en ciertas variables en ciclistas, siendo también la única opción que se estudia de forma aislada en los estudios, aunque intensidades más altas también han demostrado ser efectivas para aumentar la fuerza inspiratoria. Sobre las intensidades más bajas, son las que se han utilizado en los grupos control o placebo y se describen como insuficientes para inducir adaptaciones significativas. Por todo ello, podríamos pensar que lo más adecuado sería una combinación de intensidad y duración adaptada a las

necesidades y el nivel del ciclista, posiblemente comenzando con una intensidad moderada para asegurar la adherencia y progresando según la respuesta individual.

Respecto a los dispositivos que se han utilizado la literatura analizada incluye principalmente equipos de carga umbral como PowerBreathe y dispositivos de restricción nasal como FeelBreathe en una ocasión (González-Montesinos et al., 2021) y aunque ambos tipos han demostrado eficacia para mejorar la fuerza inspiratoria, Feelbreathe destaca por su diseño innovador que permite combinar el IMT con la práctica habitual de los ciclistas, siendo una característica que podría favorecer la adherencia y la transferencia de las adaptaciones al deporte de estudio. No obstante, es importante señalar que la mayoría de los estudios coinciden en que el factor determinante es la aplicación de la carga inspiratoria adecuada más que el dispositivo empleado. Por todo ello, sería interesante que para futuros estudios se utilice más el dispositivo FeelBreathe para que se pueda valorar mejor el efecto del entrenamiento de la musculatura respiratoria junto con la práctica habitual del ciclista.

Dentro de los efectos que tiene esta intervención en los ciclistas se observa que el IMT es eficaz para incrementar la fuerza de los músculos inspiratorios, medida a través de la MIP (Castro et al., 2023; Turner et al., 2012; Johnson et al., 2007; Turner et al., 2016; Salazar-Martínez, 2024; González-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b; Sakaguchi et al., 2020; Sonetti et al., 2001; Martins de Abreu et al., 2019) y, al ser uno de los hallazgos más repetidos en todos los estudios, sin variar según la dosificación, podemos pensar que es el efecto más rápido y casi asegurado que tiene en los ciclistas. Además del fortalecimiento muscular, la evidencia sugiere que su aplicación también aporta mejoras en el rendimiento deportivo (Romer et al., 2002a; Holm et al., 2004; Johnson et al., 2007; Romer et al., 2002b; Sonetti et al., 2001), particularmente en pruebas de tiempo, dichas mejoras se han asociado con una atenuación de la respuesta perceptiva al ejercicio incremental máximo y una reducción de la fatiga muscular inspiratoria después de ejercicio intenso y prolongado. Teniendo en cuenta la disciplina estudiada, podemos pensar que este es un hallazgo importante ya que podría permitir a los ciclistas mantener un esfuerzo mayor durante más tiempo sin que la limitación provenga de la función respiratoria. El IMT también

tiene impacto en el costo de oxígeno durante la hiperventilación voluntaria (Turner et al., 2012), lo que sugiere mayor eficiencia de los músculos respiratorios lo que podría facilitar la liberación de oxígeno a los músculos activos durante el ejercicio, contribuyendo a la mejora del rendimiento.

Es destacable que, a pesar de que algunos artículos sí encontraron cambios en el patrón respiratorio durante el ejercicio de los ciclistas (Gonzalez-Montesinos et al., 2021; Romer et al., 2002b), hay otros que no encontraron modificaciones significativas en dicha variable (Holm et al., 2004; Salazar-Martínez, 2024; Sonetti et al., 2001). Esta discrepancia entre resultados nos hace pensar que la influencia del IMT en el patrón respiratorio puede ser sutil o dependiente del contexto ya que los estudios que sí reportaron cambios significativos lo hicieron en situaciones específicas, a altas intensidades de ejercicio o utilizando un método de entrenamiento particular, además las diferencias metodológicas son clave y podemos asociar estas diferencias de resultados a que los protocolos, las metodologías de medición y análisis y la población estudiada varía entre los estudios. En definitiva, vemos que, si bien el IMT puede tener el potencial de influir en el patrón respiratorio, este efecto no es universal ni siempre fácil de detectar. Todos los efectos anteriormente mencionados nos muestran que sería muy positivo incluir un protocolo de IMT en el programa de entrenamiento de los ciclistas, tanto de alto nivel como amateur, ya que a pesar de que los efectos pueden variar mínimamente entre ellos, hemos podido comprobar como los efectos que tiene son positivos y contribuyen a una mejora del rendimiento entre otras variables, que puede ser uno de los principales objetivos a cumplir dentro de este tipo de deportistas.

En cuanto al nivel de entrenamiento previo de los ciclistas, también parece modular la respuesta del IMT ya que mientras que en poblaciones recreativas las mejoras suelen ser más evidentes (Sonetti et al., 2001), en atletas altamente entrenados los beneficios suelen ser más sutiles y difíciles de distinguir de efectos placebo (Sonetti et al., 2001; Johnson et al., 2007) algo que se explica también en una revisión sistemática de 2012 (Illi et al., 2012) en la que menciona como las personas menos entrenadas obtienen mayores beneficios de un protocolo de IMT, en comparación con los más entrenados. Esta variabilidad subraya la importancia de individualizar los protocolos en función de las características basales de los deportistas y nos hace pensar

también que es interesante empezar con los protocolos de IMT lo antes posible, es decir, que no es necesario esperar a que se conviertan en profesionales ya que se podrían experimentar mejoras más notorias.

Por último, se ha comprobado también que no hay relación entre los estudios de mayor calidad metodológica y su mejor puntuación en la escala PEDro así como si que hay cambios entre los que más sesiones reciben ya que se obtienen efectos diferentes según la duración.

Limitaciones del estudio

A pesar de haber seguido las directrices metodológicas PRISMA la presente revisión no está exenta de ciertas limitaciones. En primer lugar, las restricciones impuestas en cuanto a idioma y periodo de publicación podrían haber resultado en la omisión de estudios relevantes que abordan el efecto del IMT en ciclistas. De manera similar, el criterio de inclusión que exigía la especificación de la dosificación del entrenamiento pudo haber excluido investigaciones potencialmente valiosas. Finalmente, es importante señalar que la búsqueda bibliográfica y el análisis de los estudios fue realizado por una única persona, sin llevarse a cabo una revisión por pares.

8. CONCLUSIÓN

Existe evidencia entre limitada y moderada de que el IMT es una herramienta valiosa para optimizar la fisiología y el rendimiento de los ciclistas. Su capacidad para fortalecer la musculatura respiratoria, reducir la fatiga, mejorar la eficiencia respiratoria, entre otros, lo convierte en una intervención a considerar en los programas de entrenamiento dado que ha demostrado que afecta positivamente a algunas variables dentro de la población estudiada.

Debido a la calidad metodológica y los diversos resultados obtenidos de los estudios, no se puede dar respuesta a cuál es la intensidad adecuada para el IMT en los ciclistas dado que la dosificación óptima parece depender de los objetivos específicos que se quieran conseguir, sin embargo y con la información que se ha podido valorar en esta revisión, la intensidad moderada (50-60% de la PIM) muestra beneficios en múltiples áreas.

Con todo ello, es necesario aumentar la investigación en este campo para tener mayor cantidad de estudios y sobre todo de mejor calidad, para poder responder con más certeza a los objetivos planteados.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Brown PI, Sharpe GR, Johnson MA. Loading of trained inspiratory muscles speeds lactate recovery kinetics. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(6):1103-12.
2. Caine MP, McConnell AK. Desarrollo y evaluación de un entrenador muscular inspiratorio de umbral de presión para su uso en el contexto del rendimiento deportivo. *Sports Eng.* 2000; 3:149-59.
3. Castro A, Catai AM, Rehder-Santos P, Signini ÉF, de Abreu RM, Da Silva CD, et al. Insights into the serum metabolic adaptations in response to inspiratory muscle training: a metabolomic approach based on ¹H NMR and UHPLC-HRMS/MS. *Int J Mol Sci.* 2023;24(23):16764.
4. Cavalcante Silva RL, Hall E, Maior AS. Inspiratory muscle training improves performance of a repeated sprints ability test in professional soccer players. *J Bodyw Mov Ther.* 2019;23(3):452-5.
5. de Abreu RM, Catai AM, Cairo B, Rehder-Santos P, da Silva CD, Signini ÉF, et al. A transfer entropy approach for the assessment of the impact of inspiratory muscle training on the cardiorespiratory coupling of amateur cyclists. *Front Physiol.* 2020;11:134.
6. Downey AE, Chenoweth LM, Townsend DK, Ranum JD, Ferguson CS, Harms CA. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respir Physiol Neurobiol.* 2007;156(2):137-46.
7. Elkins M, Dentice R. Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: a systematic review. *J Physiother.* 2015;61(3):125-34.
8. Gething AD, Williams M, Davies B. Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. *Br J Sports Med.* 2004;38(6):730-6.

9. Gonzalez-Montesinos JL, Fernandez-Santos JR, Vaz-Pardal C, Aragon-Martin R, Arnedillo-Muñoz A, Reina-Novo J, et al. Chronic effects of a training program using a nasal inspiratory restriction device on elite cyclists. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(2):777.
10. HajGhanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *J Strength Cond Res*. 2013;27(6):1643-63.
11. Hanel B, Secher NH. Maximal oxygen uptake and work capacity after inspiratory muscle training: a controlled study. *J Sports Sci*. 1991;9(1):43-52.
12. Harms CA, Wetter TJ, St Croix CM, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol* (1985). 2000;89(1):131-8.
13. Holm P, Sattler A, Fregosi RF. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol*. 2004;4:9.
14. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2012;42(8):707-24.
15. Johnson MA, Sharpe GR, Brown PI. Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur J Appl Physiol*. 2007;101(6):761-70.
16. López-Chicharro J, Fernández-Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. 3rd ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2001.
17. Lucia A, Hoyos J, Carvajal A, Chicharro JL. Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *Int J Sports Med*. 2007; 20:167-72.
18. Lucia A, Pardo J, Duránte A, Hoyos J, Chicharro JL. Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int J Sports Med*. 1998;19(5):342-8.

19. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003;83(8):713-21.
20. Martins de Abreu R, Porta A, Rehder-Santos P, Cairo B, da Silva CD, Signini ÉF, et al. Effects of inspiratory muscle-training intensity on cardiovascular control in amateur cyclists. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2019;317(6):R891-R902.
21. Mills DE, Johnson MA, McPhilimey MJ, Williams NC, Gonzalez JT, Barnett YA, Sharpe GR. The effects of inspiratory muscle training on plasma interleukin-6 concentration during cycling exercise and a volitional mimic of the exercise hyperpnea. *J Appl Physiol* (1985). 2013;115(9):1163-70.
22. Moodie LH, Reeve JC, Vermeulen N, Elkins MR. Inspiratory muscle training to facilitate weaning from mechanical ventilation: protocol for a systematic review. *BMC Res Notes.* 2011;4:283.
23. O'Connor CM, Whellan DJ, Lee KL, Keteyian SJ, Cooper LS, Ellis SJ, et al. Efficacy and safety of exercise training in patients with chronic heart failure: HF-ACTION randomized controlled trial. *BMJ Open.* 2019;9(6):e028507.
24. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71.
25. Ribeiro JP, Chiappa GR, Callegaro CC. The contribution of inspiratory muscles function to exercise limitation in heart failure: pathophysiological mechanisms. *Rev Bras Fisioter.* 2012;16(4):261-7.
26. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci.* 2002;20(7):547-62.
27. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(5):785-92.

28. Sakaguchi CA, Nieman DC, Signini ÉF, de Abreu RM, Silva CD, Rehder-Santos P, et al. Chronic influence of inspiratory muscle training at different intensities on the serum metabolome. *Metabolites*. 2020;10(2):78.
29. Salazar-Martínez E. Breathing pattern response after 6 weeks of inspiratory muscle training during exercise. *Adv Respir Med*. 2024;92(1):58-65.
30. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med*. 2004;34(7):465-85.
31. Sonetti DA, Wetter TJ, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Respir Physiol*. 2001;127(2-3):185-99.
32. Turner LA, Tecklenburg-Lund SL, Chapman R, Shei RJ, Wilhite DP, Mickleborough T. The effect of inspiratory muscle training on respiratory and limb locomotor muscle deoxygenation during exercise with resistive inspiratory loading. *Int J Sports Med*. 2016;37(8):598-606.
33. Turner LA, Tecklenburg-Lund SL, Chapman RF, Stager JM, Wilhite DP, Mickleborough TD. Inspiratory muscle training lowers the oxygen cost of voluntary hyperpnea. *J Appl Physiol* (1985). 2012;112(1):127-34.
34. Williams JS, Wongsathikun J, Boon SM, Acevedo EO. Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(7):1194-8.

10. ANEXOS

Figura 1. DIAGRAMA FLUJO PRISMA

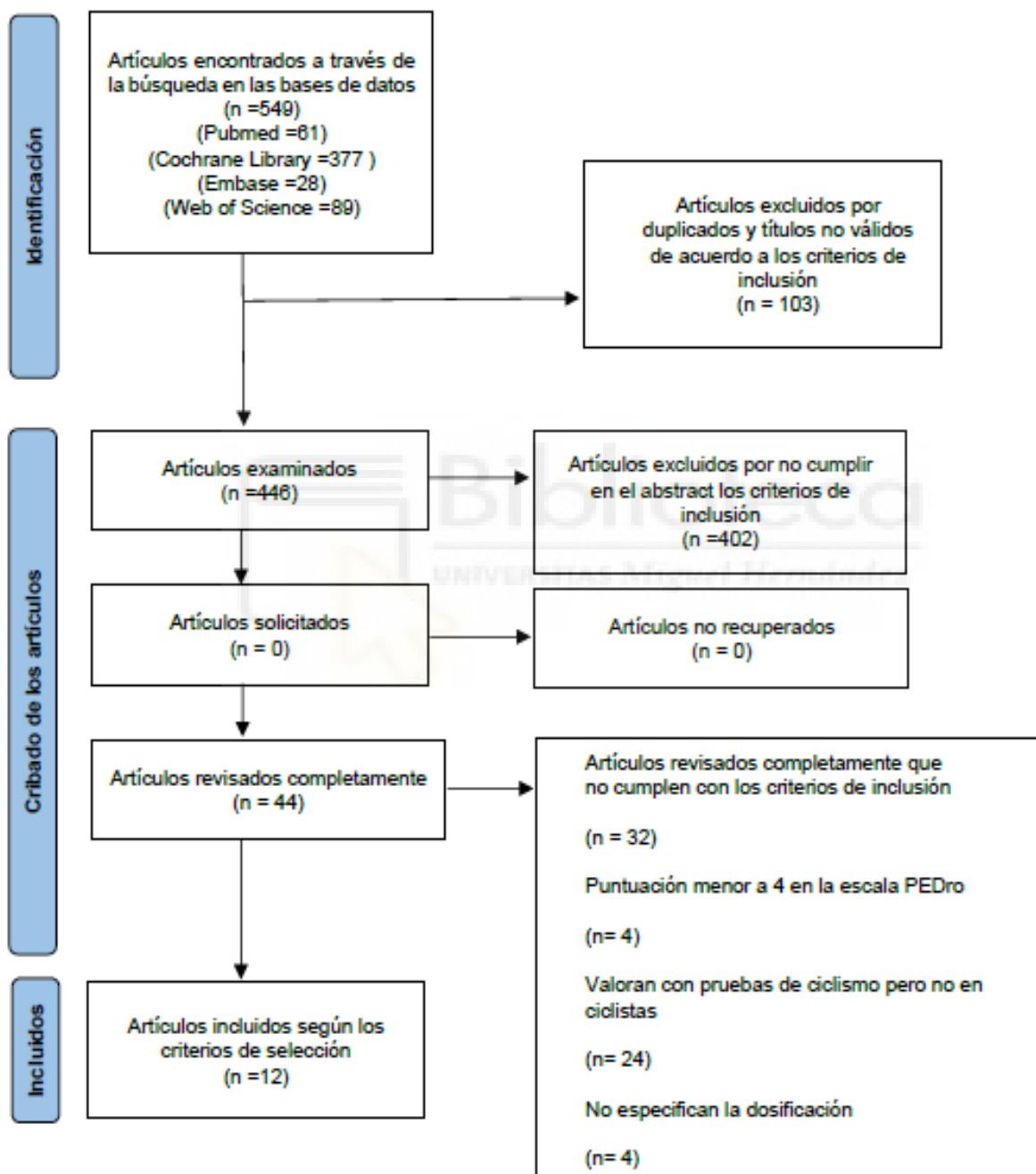


Figura 2. TIPOS DE CICLISTAS



Figura 3. TIPO DE INTERVENCIÓN



IMT: Entrenamiento de la musculatura inspiratoria (por sus siglas en inglés: inspiratory muscle training)

Figura 4. DURACIÓN DEL TRATAMIENTO

*Las unidades vienen expresadas en semana

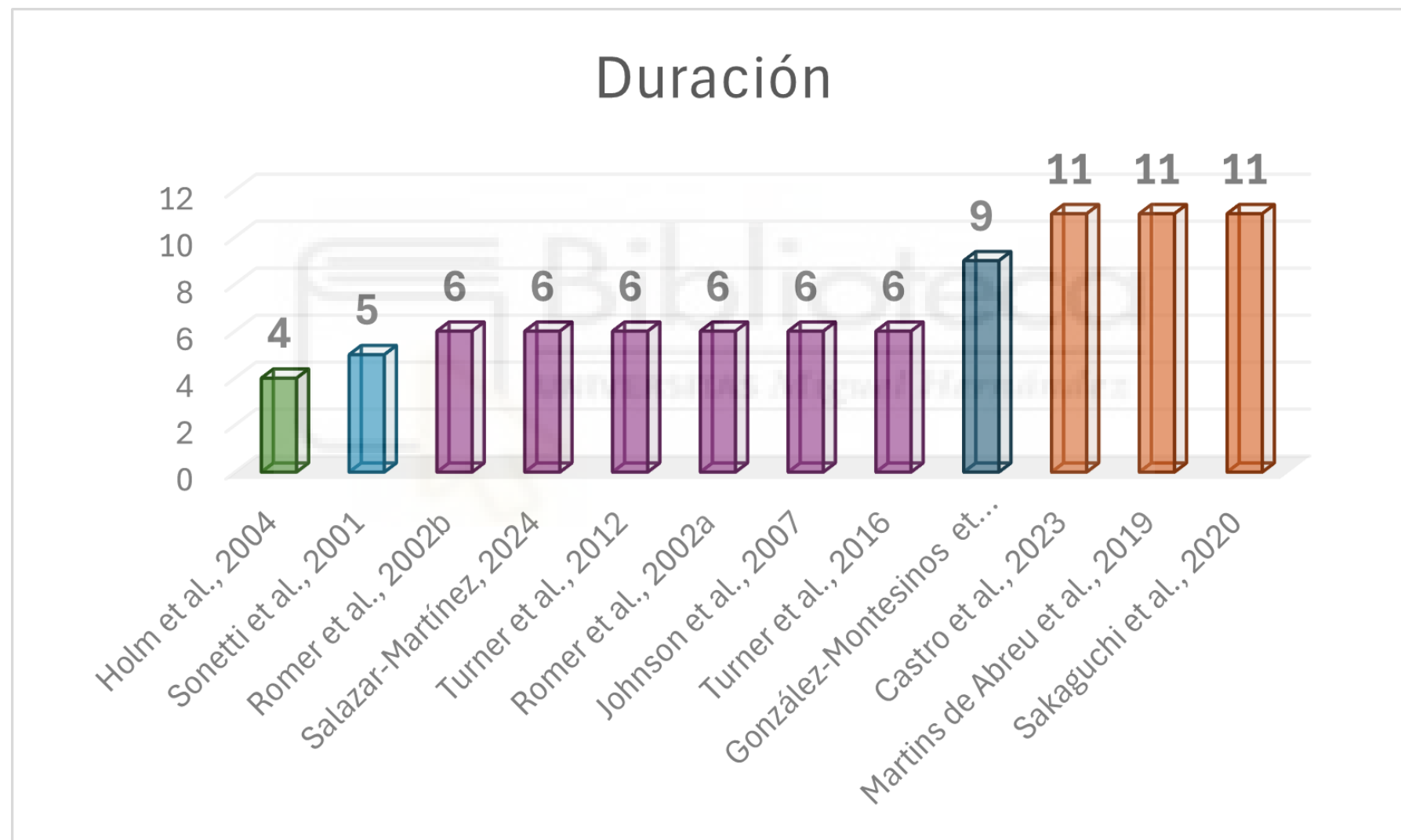


Figura 5. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

PubMed

Date: 3/02/2025

		Results
#1	"breathing exercises"[MeSH Terms] OR "respiratory muscle training"[Text Word] OR "Inspiratory Muscle Training"[Text Word] OR "IMT"[Text Word] OR "Diaphragm Training"[Text Word]	14,680
#2	"Bicycling"[MeSH Terms] OR "Cycling"[Text Word] OR "Cyclists"[Text Word] OR "Competitive Cycling"[Text Word] OR "Bicycling"[Text Word]	100,284
#3	"Physical Endurance"[MeSH Terms] OR "Physical Endurance"[Text Word] OR "Oxygen Consumption"[MeSH Terms] OR "Oxygen Consumption"[Text Word] OR "Pulmonary Ventilation"[MeSH Terms] OR "Pulmonary Ventilation"[Text Word] OR "VO2max"[Text Word] OR "Aerobic Capacity"[Text Word] OR "Fatigue"[Text Word] OR "Muscle Fatigue"[MeSH Terms] OR "Muscle Fatigue"[Text Word] OR "Ventilatory Efficiency"[Text Word]	358,600
#4	#1 AND #2 AND #3	61

Cochrane Library

Date: 3/02/2025

#1	Respiratory Muscle Training OR "IMT" OR "Inspiratory Muscle Training" OR "Breathing Muscle Training" OR "Diaphragm Training"	5483
#2	Cycling OR Cyclists OR Bicycling OR "Competitive Cycling"	83669
#3	Physical Endurance OR "Oxygen Consumption" OR "Pulmonary Ventilation" OR VO2max OR "Aerobic Capacity" OR Fatigue OR "Muscle Fatigue" OR "Ventilatory Efficiency"	73386
#4	#1 AND #2 AND #3	377

Embase

Date: 3/02/2025

		Results
#1	'respiratory muscle training':ab,ti OR 'imt':ab,ti OR 'inspiratory muscle training':ab,ti OR 'breathing muscle training':ab,ti OR 'diaphragm training':ab,ti	18,526
#2	cycling:ab,ti OR cyclists:ab,ti OR bicycling:ab,ti OR 'competitive cycling':ab,ti	100,239
#3	'physical endurance':ab,ti OR 'oxygen consumption':ab,ti OR 'pulmonary ventilation':ab,ti OR 'vo2max':ab,ti OR 'aerobic capacity':ab,ti OR 'fatigue':ab,ti OR 'muscle fatigue':ab,ti OR 'ventilatory efficiency':ab,ti	307,677
#4	#1 AND #2 AND #3	28



Web of Science

Date: 3/02/2025

		Results
#1	TS=("Respiratory Muscle Training" OR "IMT" OR "Inspiratory Muscle Training" OR "Breathing Muscle Training" OR "Diaphragm Training")	13,614
#2	TS=(Cycling OR Cyclists OR Bicycling OR "Competitive Cycling")	2,046,120
#3	TS=("Physical Endurance" OR "Oxygen Consumption" OR "Pulmonary Ventilation" OR "VO2max" OR "Aerobic Capacity" OR "Fatigue" OR "Muscle Fatigue" OR "Ventilatory Efficiency")	433,334
#4	#1 AND #2 AND #3	89

Tabla 1. RESULTADOS ESCALA PEDRO

AUTOR Y AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
Castro et al., 2023	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	7
Turner et at., 2012	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	6
Romer et al., 2002a	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	7
Holm et al., 2004	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	4
Johnson et al., 2007	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	4
Turner et al., 2016	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	6
Salazar-Martínez, 2024	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	5
Gonzalez-Montesinos et al., 2021	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	6
Romer et al., 2002b	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	5
Sakaguchi et al., 2020	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	7
Sonetti et al., 2001	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	5
Martins de Abreu et al., 2019	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	7
	MEDIA										5,75	
Criterio 1. Los criterios de elección fueron especificados. Criterio 2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos. Criterio 3. La asignación fue oculta. Criterio 4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronostico más importantes. Criterio 5. Todos los sujetos fueron cegados. Criterio 6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados. Criterio 7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados. Criterio 8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos. Criterio 9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”. Criterio 10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave. Criterio 11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave. (+) = PRESENTE; (-) = AUSENTE Se incluye un criterio adicional (Criterio 1) que se relaciona con la validez externa (“Aplicabilidad del ensayo”). Siguiendo las recomendaciones de la escala PEDro, no se tendrá en cuenta este criterio en el cálculo de la puntuación final. Se considera que los estudios con una puntuación entre 9 y 10 en la escala PEDro tienen una calidad metodológica excelente, los estudios con una puntuación entre 6 y 8 tienen una buena calidad metodológica, entre 4 y 5 una calidad regular y por debajo de 4 puntos tienen una mala calidad metodológica.												

TABLA 2. RESUMEN ARTÍCULOS

Autor y año	Diseño del estudio y objetivo	Población	Intervención	Variable de estudio	Resultados principales
Alex Castro et al. 2023	Diseño: ensayo longitudinal, aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo y de diseño paralelo. Objetivo: Investigar los efectos del IMT, a diferentes intensidades de ejercicio, sobre las adaptaciones metabólicas sistémicas, destacando las principales vías metabólicas reguladas empleando un enfoque metabolómico integral basado en ¹ H RMN y UHPLC-HRMS/MS.	28 ciclistas recreativos masculinos sanos, con edades entre 20 y 40 años, que realizaban entrenamiento regular de ciclismo (al menos 150 minutos por semana durante 6 meses antes del estudio).	Entrenamiento muscular inspiratorio durante 11 semanas, 3 días por semana, con diferentes intensidades: - Grupo placebo: 6 cmH ₂ O de presión inspiratoria. - Grupo de intensidad moderada (MI): 60% de la presión inspiratoria máxima (MIP). - Grupo de alta intensidad (HI): 85-90% de la MIP.	Perfil metabolómico sérico (mediante ¹ H ¹ H RMN y UHPLC-HRMS/MS) y fuerza muscular inspiratoria (MIP).	Cambios metabólicos y aumento de fuerza de los músculos inspiratorios
Louise A. Turner et al. 2012	Diseño: Estudio aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo. Objetivo: Determinar si el entrenamiento muscular inspiratorio (IMT) reduce el costo de oxígeno de la respiración (VO ₂ RM) durante la hiperpnea voluntaria en ciclistas entrenados.	16 ciclistas masculinos altamente entrenados (edad: 24 ± 5 años, VO ₂ max: 61.8 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹).	IMT: Entrenamiento muscular inspiratorio durante 6 semanas, con una carga del 50% de la presión inspiratoria máxima (P _{Imax}). Grupo control (CON): Entrenamiento placebo con una carga del 15% de P _{Imax} .	Costo de oxígeno de la respiración (VO ₂ RM) durante la hiperpnea voluntaria, que simula los volúmenes ventilatorios y frecuencias respiratorias obtenidos durante el ejercicio de intensidad moderada a máxima.	Mejora fuerza muscular inspiratoria, reducción del costo de oxígeno de la respiración, correlación entre ventilación y costo de oxígeno y cambios en la frecuencia cardíaca.
Lee M. Romer, Alison K. McConnell y David A. Jones. 2002	Diseño: aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo Objetivo: evaluar los efectos del entrenamiento muscular inspiratorio (IMT) en el rendimiento de ciclistas entrenados durante pruebas de contrarreloj simuladas (20 y 40 km), así como en la función muscular inspiratoria y las respuestas fisiológicas y perceptivas al ejercicio máximo.	16 ciclistas masculinos entrenados (edad: 29.5 ± 3.3 años, VO ₂ max: 64 ± 2 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹).	IMT: Entrenamiento muscular inspiratorio durante 6 semanas, con una carga de presión equivalente al 50% de la presión inspiratoria máxima (P _{max}). Grupo control (placebo): Entrenamiento simulado con una carga del 15% de P _{max} .	Variable principal: Tiempo de finalización de las pruebas de contrarreloj simuladas de 20 y 40 km. Otras variables: Función pulmonar, función muscular inspiratoria, respuestas fisiológicas (ventilación, frecuencia cardíaca, lactato sanguíneo) y perceptivas (escala de Borg) durante el ejercicio máximo.	Mejora la función muscular inspiratoria, reducción en la percepción de esfuerzo, mejora el rendimiento en las pruebas contrarreloj, cambios en la ventilación y el patrón respiratorio.
Paige Holm, Angela Sattler y Ralph F. Fregosi. Año: 2004	Diseño: Estudio experimental con diseño de grupos aleatorizados (experimental, placebo y control). Objetivo: Evaluar si el entrenamiento de resistencia de los músculos respiratorios (RMET) mejora el rendimiento en ciclistas jóvenes y en forma, específicamente en pruebas de contrarreloj en bicicleta.	20 ciclistas y/o triatletas jóvenes y en forma -Grupo experimental (n=10): Entrenamiento de resistencia de los músculos respiratorios. -Grupo placebo (n=4): Entrenamiento simulado (intensidad baja). -Grupo control (n=6): Sin entrenamiento específico.	- Grupo experimental: 20 sesiones de entrenamiento de hiperpnea (45 minutos por sesión) durante 4 semanas. - Grupo placebo: 20 sesiones de entrenamiento simulado (5 minutos por sesión). - Grupo control: Sin intervención.	Variable principal: Mejora en el rendimiento en una prueba de contrarreloj en bicicleta (tiempo para completar una distancia fija). Variables secundarias: Capacidad de resistencia de los músculos respiratorios, ventilación pulmonar (V _E), consumo de oxígeno (VO ₂), presión parcial de CO ₂ al final de la espiración (P _{ETCO₂}), y percepción del esfuerzo respiratorio.	En el grupo experimental: aumento 12% en capacidad de resistencia de musc. Resp, mejora del 4.7% en rendimiento de prueba contrarreloj, aumento significativo en la ventilación pulmonar y el consumo de oxígeno durante el ejercicio a ritmo constante, disminución de la presión parcial de CO ₂ al final de la espi y no hay cambios en la percepción del esfuerzo a pesar del aumento en la ventilación.

L. A. Turner, S. L. Tecklenburg-Lund, R. Chapman, R.-J. Shei, D. P. Wilhite, T. Mickleborough. Año: 2016.	Diseño: Estudio experimental con diseño aleatorizado y doble ciego, con dos grupos (entrenamiento muscular inspiratorio verdadero vs. placebo). Objetivo: Investigar cómo el entrenamiento muscular inspiratorio (IMT) afecta la desoxigenación de los músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio submáximo con carga inspiratoria resistiva.	Sujetos: 16 ciclistas masculinos altamente entrenados, con función pulmonar normal. -Grupo IMT (n=8): Entrenamiento muscular inspiratorio verdadero. -Grupo CON (n=8): Entrenamiento placebo.	- IMT: 6 semanas de entrenamiento muscular inspiratorio utilizando un dispositivo de presión umbral (POWERbreathe®), con 30 maniobras inspiratorias dinámicas dos veces al día al 50% de la presión inspiratoria máxima (P _{Imax}). - CON: 6 semanas de entrenamiento placebo, con 60 respiraciones una vez al día al 15% de la P _{Imax} .	-Variable principal: Cambios en la desoxigenación de los músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio con carga inspiratoria resistiva, medidos mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS). -Variables secundarias: Consumo de oxígeno (VO ₂), frecuencia cardíaca (HR), ventilación minuto (V _E), y presión inspiratoria máxima (P _{Imax}).	La desoxigenación de los músculos locomotores y respiratorios disminuyó significativamente durante el ejercicio con carga inspiratoria pesada, el VO ₂ durante el ejercicio con carga inspiratoria pesada se redujo significativamente en el grupo de IMT, aumento del 26% en la P _{Imax} después del entrenamiento. No hubo cambios significativos en la ventilación minuto o frecuencia cardíaca.
Eduardo Salazar-Martínez. Año: 2024.	Diseño: Estudio experimental con diseño aleatorizado y controlado, con dos grupos (entrenamiento muscular inspiratorio vs. control). Objetivo: Evaluar si el entrenamiento muscular inspiratorio (IMT) influye en la respuesta del patrón respiratorio durante un esfuerzo incremental en ciclistas aficionados.	18 ciclistas aficionados (9 hombres y 9 mujeres) divididos en dos grupos: -Grupo IMT Grupo CON	IMT: 6 semanas de entrenamiento muscular inspiratorio utilizando un dispositivo PowerBreathe K3®, con 30 respiraciones dos veces al día al 50% de la presión inspiratoria máxima (P _{Imax}). CON: No realizó ningún entrenamiento muscular inspiratorio durante el período experimental.	Variable principal: Respuesta del patrón respiratorio (relación entre el volumen tidal (VT) y la frecuencia respiratoria (BF)) durante un test incremental de esfuerzo. Variables secundarias: Presión inspiratoria máxima (P _{Imax}), consumo de oxígeno (VO ₂), ventilación (VE), y variables espirométricas (FVC, FEV1, PEF, PIF).	El grupo IMT mostró un aumento significativo en la P _{Imax} , no hubo diferencias significativas en la respuesta del patrón respiratorio entre los grupos, no se observaron cambios significativos en las variables espirométricas después del entrenamiento y no hubo diferencias significativas en el VO ₂ .
González-Montesinos et al. (2021)	Diseño: ensayo controlado aleatorizado Objetivo: analizar el efecto aditivo del entrenamiento de los músculos respiratorios (RMT) utilizando FB durante un plan de entrenamiento específico de ciclismo, evaluando variables cardiorrespiratorias y el rendimiento.	18 ciclistas de élite sanos (edad media: 36 ± 10 años) que fueron asignados al grupo FB (10) o al control (8) de forma aleatoria.	El grupo FB realizó un entrenamiento de ciclismo combinado con el uso del dispositivo FB durante 9 semanas, mientras que el grupo control realizó el mismo entrenamiento sin el dispositivo. El dispositivo FB se utilizó en tres modelos con diferentes niveles de restricción de flujo de aire (4, 5 y 6 mm), aumentando progresivamente la restricción durante las semanas de entrenamiento.	Las variables principales fueron la eficiencia ventilatoria, el consumo máximo de oxígeno (VO ₂ max), la potencia máxima, los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2), la frecuencia respiratoria, la presión inspiratoria máxima (MIP) y la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE).	Mejoras significativas en la eficiencia ventilatoria, con reducción de la ventilación por minuto, frec respi y el cociente res, así como aumentos en el tiempo inspi y expi. Aumento significativo en la potencia máxima. No hubo cambios significativos en el VO ₂ max pero si mejoraron los umbrales ventilatorios. Presión insp máx aumentó.
Romer, L. M., McConnell, A. K., & Jones, D. A. (2002)	Diseño: ensayo controlado aleatorizado doble ciego Objetivo: determinar si el IMT reduce la fatiga de los músculos inspiratorios después de pruebas de tiempo simuladas de 20 y 40 km, y si esto se traduce en mejoras en el rendimiento.	16 ciclistas masculinos entrenados que se asignaron de forma aleatoria a un grupo de IMT y otro grupo control.	Grupo IMT: Realizó 30 esfuerzos inspiratorios dinámicos dos veces al día durante 6 semanas contra una carga de presión equivalente al 50% de su presión inspiratoria máxima (P ₀). Grupo placebo: Realizó 60 respiraciones lentas y prolongadas una vez al día durante 6 semanas contra una carga de presión equivalente al 15% de su P ₀ , un protocolo que no induce cambios significativos en la función muscular inspiratoria.	-Función muscular inspiratoria: presión insp máx, tasa de flujo a 30%, tasa máx de relajación y cte tiempo de relajación. -Rendimiento: tiempo en pruebas simuladas de 20 y 40 km -Fatiga musc insp	Fatiga musc insp: después pruebas la presión insp máx se redujo, como la tasa de flujo insp y la fatiga musc insp fue menor con una recuperación más rápida. Rendimiento: mejoró el tiempo en las pruebas de 20 y 40 km.
Camila A. Sakaguchi et al. (2020)	Diseño: longitudinal, aleatorizado, controlado y de grupos paralelos. Objetivo: investigar el efecto crónico del entrenamiento muscular	34 ciclistas recreativos masculinos aparentemente sanos, con edades entre 20 y 40 años	Los participantes fueron asignados aleatoriamente a tres grupos de IMT: baja intensidad (LI, n=7), moderada intensidad (MI, n=10) y alta intensidad (HI, n=11). Un grupo	Cambios en el metaboloma sérico mediante espectroscopia de resonancia magnética nuclear de protones, identificando 22	No se encontraron diferencias en los cambios de metabolitos séricos. El IMT mejoró la fuerza muscular inspiratoria

	inspiratorio a diferentes intensidades sobre el metaboloma sérico en ciclistas recreativos masculinos sanos.		control (CG, n=6) no realizó IMT, pero participó en todas las evaluaciones. El entrenamiento se realizó durante 11 semanas, con sesiones de una hora tres veces por semana.	metabolitos, incluyendo aminoácidos, lípidos e intermediarios del ciclo de los ácidos tricarboxílicos	especialmente en el grupo de alta intensidad. No cambios significativos en consumo de O ₂ y el análisis de componentes principales (PCA) no mostró una separación significativa en los cambios metabólicos.
David A. Sonetti, Thomas J. Wetter, David F. Pegelow, Jerome A. Dempsey. Año: 2001.	Diseño: Estudio experimental, aleatorizado, controlado con grupo placebo. Objetivo: Evaluar los efectos de un programa de entrenamiento de los músculos respiratorios (RMT) de 5 semanas sobre el rendimiento en el ejercicio de resistencia en ciclistas competitivos, comparando los resultados con un grupo placebo.	17 ciclistas masculinos competitivos, sanos y no fumadores, con función pulmonar normal en reposo. Edad: 24.2 ± 4.9 años. Características físicas: Altura 179.2 ± 6.4 cm, peso 74.1 ± 6.8 kg, consumo máximo de oxígeno (VO ₂ máx) 54.9 ± 3.8 ml/kg/min.	Grupo RMT: Entrenamiento de resistencia inspiratoria (3-5 min/sesión) y entrenamiento de hiperpnea (30 min/sesión), 5 días/semana durante 5 semanas. Grupo placebo: Uso de un dispositivo simulado de entrenamiento respiratorio (simulador de altitud) durante 30 min/día, 5 días/semana durante 5 semanas. Duración: 5 semanas (25 sesiones).	Variable principal: Rendimiento en el ejercicio de resistencia, medido a través de pruebas de tiempo en un recorrido de 8 km, pruebas de resistencia a carga fija y pruebas incrementales de VO ₂ máx. Variables secundarias: Presión inspiratoria máxima (MIP), ventilación máxima voluntaria (MVV), frecuencia cardíaca (HR), ventilación (VE), lactato en sangre y percepción del esfuerzo.	Grupo RMT: Aumento significativo del 8% en la presión inspiratoria máxima (MIP) y mejora del 1.8% en el tiempo de la prueba de 8 km. Grupo placebo: Aumento no significativo del 3.7% en MIP y cambios variables en el tiempo de la prueba de 8 km. Ambos mejoran tiempo de agotamiento en la prueba de resistencia a carga fija, no hay cambios en frec. Cardíaca, ventilación o lactato en sangre durante las pruebas. Efectos de RMT en el rendimiento del ejercicio no superan efectos del placebo.
Raphael Martins de Abreu, Alberto Porta, Patricia Rehder-Santos, Beatrice Cairo, Claudio Donisete da Silva, Étore De Favari Signini, Camila Akemi Sakaguchi, Aparecida Maria Catal. Año: 2019.	Diseño: Estudio longitudinal, aleatorizado, controlado y ciego. Objetivo: Evaluar los efectos crónicos de diferentes intensidades de entrenamiento de los músculos inspiratorios (IMT) sobre el control cardiovascular en ciclistas aficionados, con un enfoque en la función autonómica y la regulación barorrefleja.	30 ciclistas masculinos recreativos, de entre 20 y 40 años, aparentemente sanos, que practicaban ciclismo al menos 150 minutos por semana durante al menos 6 meses consecutivos. Grupo Placebo: Entrenamiento con una resistencia mínima (6 cmH ₂ O). Grupo MIP60: Entrenamiento al 60% de la presión inspiratoria máxima (MIP). Grupo CIP: Entrenamiento a la presión inspiratoria crítica (CIP).	11 semanas, con 3 sesiones semanales de 1 hora cada una. Protocolo de entrenamiento: Calentamiento de 5 minutos (50% de la carga de entrenamiento) seguido de 3 series de 15 minutos de respiraciones (100% de la carga de entrenamiento), con 1 minuto de descanso entre series. Cargas de entrenamiento: Placebo: 6 cmH ₂ O. MIP60: 60% de la MIP. CIP: 80-90% de la MIP.	Variable principal: Control cardiovascular, medido a través de la variabilidad del período cardíaco (HP) y la presión arterial sistólica (SAP), tanto en reposo (REST) como durante la bipedestación activa (STAND). Variables secundarias: Frecuencia respiratoria (RF), complejidad de la variabilidad del HP (CI), y marcadores barorreflejos (BRS y SEQ%).	Grupo MIP60: Aumento significativo de la potencia en la banda de alta frecuencia (HF) del HP en reposo, indicando un mayor control vagal. y un aumento de la complejidad del HP durante la bipedestación, sugiriendo una menor activación simpática en respuesta al estrés postural. Grupo placebo: Aumento del período cardíaco medio (μHP) en reposo, pero sin cambios significativos en otros marcadores de variabilidad. Grupo CIP: Disminución del período cardíaco medio (μHP) durante la bipedestación, indicando una mayor respuesta simpática al estrés postural. No hay cambios significativos en marcadores barorreflejos ni variabilidad de PA (presión arterial)
Michael A. Johnson, Graham R. Sharpe, Peter I. Brown (2007)	Diseño: ensayo controlado aleatorizado Objetivo: determinar si el IMT mejora el rendimiento en ciclismo y si esto se asocia con un aumento en la CP	18 ciclistas masculinos competitivos, no fumadores, con una edad media de 31.6 ± 7.5 años para el grupo de IMT y 29.9 ± 8.9 años para el grupo placebo.	El grupo de IMT realizó 30 esfuerzos inspiratorios dinámicos dos veces al día durante 6 semanas utilizando un dispositivo de presión umbral (POWERbreathe). El grupo placebo utilizó un dispositivo simulado de entrenamiento hipóxico sin resistencia.	Las variables principales fueron el rendimiento en una contrarreloj de 25 km, la potencia crítica (CP), la capacidad de trabajo anaeróbico (AWC), y la presión inspiratoria máxima (MIP).	El IMT aumentó la MIP en un 17.1% (P<0.01 P<0.01) y mejoró el rendimiento en la contrarreloj de 25 km en un 2.66% (P<0.05 P<0.05).

	(potencia crítica) o el AWC (capacidad de trabajo anaeróbico)				No se observaron cambios en la CP, pero el AWC aumentó significativamente en el grupo de IMT (de 24.8 ± 5.6 kJ a 29.0 ± 8.4 kJ, $P < 0.05$). El grupo placebo no mostró cambios significativos en ninguna de las variables estudiadas.
--	--	--	--	--	---

GUÍA DE SIGLAS

- RMN: resonancia magnética nuclear
- UHPLC-HRMS/MS: Cromatografía Líquida de Ultra Alta Eficiencia acoplada a Espectrometría de Masas de Alta Resolución y Espectrometría de Masas en Tándem (las siglas son del nombre en inglés)
- IMT: entrenamiento de la musculatura inspiratoria
- CON: grupo control
- Pimáx: presión inspiratoria máxima
- VO₂máx: consumo máximo de oxígeno
- FVC: capacidad vital forzada
- FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo
- PEF: flujo espiratorio pico
- PIF: flujo inspiratorio pico
- FB: dispositivo feelbreathe
- fatiga musc. Insp.: fatiga muscular inspiratoria

Tabla 3. MEDIDAS DE RESULTADO

Estudios	Metabólica	Variables cardiovasculares	Variables respiratorias	Rendimiento del ejercicio	Oxigenación muscular	Percepción de esfuerzo	Pruebas de función pulmonar
Castro et al., 2023							
Turner et al., 2012							
Romer et al, 2002a							
Holm et al., 2004							
Johnson et al., 2007							
Turner et al., 2016							
Salazar-Martínez, 2024							
González-Montesinos et al., 2021							
Romer et al., 2002b							
Sakaguchi et al., 2020							
Harms et al., 2000							
Sonetti et al., 2001							
Martins de Abreu et al., 2019							

