

“Efectos del entrenamiento muscular inspiratorio en nadadores: una revisión sistemática”

Karol Dayanna Martínez-López,¹ María Alejandra Garzón-Rodríguez¹, María Angelica Rodríguez Scarpetta^{1,2} Carolina Scarpetta-Espitia^{1,2}, Jorge Enrique Daza-Arana^{1,2}

1 Programa de Fisioterapia, Facultad de Salud, Universidad Santiago de Cali, Colombia

2 Grupo de Investigación Salud y Movimiento, Universidad Santiago de Cali, Colombia

Resumen

El entrenamiento de los músculos inspiratorios (EMI) se ha utilizado junto al entrenamiento deportivo de los atletas, como una estrategia provechosa para estimular mejoras de la función pulmonar y el rendimiento deportivo. Sin embargo, en los nadadores la literatura reporta variabilidad de resultados frente a los beneficios que este entrenamiento pueda generar. Por este motivo el objetivo de esta revisión sistemática es determinar los efectos del entrenamiento muscular inspiratorio en deportistas de natación, e identificar la descripción de los instrumentos y protocolos utilizados para esta estrategia.

Métodos: Se incluyeron ensayos clínicos controlados, en todos los idiomas sin límite de año. La búsqueda bibliográfica se ejecutó en las siguientes bases de datos: PubMed, Springer, Taylor & Francis, ScienceDirect, Web of Science, Scopus y LILACS, utilizando las combinaciones de: Entrenamiento de los músculos inspiratorios, Ejercicios respiratorios, Entrenamiento muscular respiratorio, Músculos respiratorios, Ergogénico, Resistencia física, Entrenamiento de fuerza, Entrenamiento de resistencia, Consumo de oxígeno, Fatiga muscular. con conectores AND, OR, para Natación, y Nadador. Los datos de la búsqueda y elección de artículos se representaron en un flujograma PRISMA. Tres de los autores revisaron de forma independiente los estudios elegibles y las discrepancias fueron resueltas por un cuarto autor. La calidad metodológica y la calidad de la evidencia se evaluaron con la puntuación PEDro incluyendo sólo las evaluaciones mayores a 6 puntos. Adicional se aplicó la evaluación crítica del JBI para la identificar del riesgo de sesgo, diseñada para ensayos controlados aleatorios. Finalmente, toda la información que da respuesta a la pregunta PICO, se consolida en dos tablas donde se documentan generalidades de la evidencia, los efectos en la función pulmonar, fuerza muscular, cambios en el rendimiento deportivo y otros efectos fisiológicos documentados.

Resultados: El EMI con dispositivos de resistencia de presión lineal o no lineal en deportistas de natación ha evidenciado cambios significativos en la función pulmonar y fuerza muscular, sin embargo, se demostró variabilidad en los efectos ergogénicos en el rendimiento deportivo. Con gran heterogeneidad en los protocolos de entrenamiento muscular inspiratorio, también se documentaron diferentes dispositivos siendo el powerbreathe el de mayor uso y el RT2 se consideró como uno de los instrumentos con mayor precisión para la prescripción de la intensidad, demostrando sus beneficios en el rendimiento de este deporte.

Conclusión: Los resultados sugieren que el EMI es una herramienta que genera beneficios y puede mejorar la fuerza de los músculos inspiratorios de los deportistas, sin embargo, se sigue cuestionando su efecto ergogénico en el rendimiento deportivo, condición que puede estar relacionada en la variabilidad en la prescripción de los protocolos y dispositivos.

Palabras claves: Entrenamiento de los músculos inspiratorios, Ejercicios respiratorios, Entrenamiento respiratorio, Músculos respiratorios, Natación, Nadador, Ergogénico, Resistencia física, Entrenamiento de fuerza, Entrenamiento de resistencia, Consumo de oxígeno, Fatiga muscular.

Introducción

En los últimos tiempos las exigencias particulares de las actividades acuáticas han captado considerable atención en la investigación deportiva, especialmente en la búsqueda de comprender los efectos fisiológicos que contribuyen en el óptimo rendimiento deportivo del atleta. En este contexto, la natación exige regular los patrones de respiración en volúmenes y tasas de flujo mayores que en otros deportes (Cunha, et al., 2019), ya que se destaca como un deporte de gran relevancia global por su alta exigencia, donde el rendimiento depende de una sinergia entre la producción energética aeróbica y anaeróbica (Tan, M., et al., 2023). Los atletas dedicados a la natación han sido objeto de estudio para identificar los beneficios en torno a la mejoría de la función pulmonar (FP), la resistencia (R) y el rendimiento deportivo (RD). Sin embargo, estudios científicos han demostrado una falta de mejoras significativas en el rendimiento deportivo de los atletas de natación (Cunha, et al., 2019).

El sistema respiratorio es fundamental al proporcionar una fuente vital de oxígeno obtenido del ambiente externo para suministrar a las células de todo el cuerpo a través del sistema circulatorio

(Tan, M., et al.,2023). Este suministro de oxígeno además de liberar energía en el organismo produce desechos en forma de dióxido de carbono (CO₂) como resultado del metabolismo celular. Por consiguiente, en el ámbito deportivo la función de los músculos respiratorios, como los demás músculos esqueléticos, mejora en respuesta al entrenamiento, lo que puede determinar el progreso del RD y la FP, especialmente en atletas de natación.

La fatiga de los músculos inspiratorios puede aumentar después del entrenamiento de natación. De tal modo que, la intensificación del trabajo respiratorio lleva a factores limitantes como fatiga muscular (FTM), sensación de disnea y reflejo metabólico, relacionados con el entrenamiento de la musculatura respiratoria (Okrzymowska, P., et al., 2019). La FTM incide directamente en el RD a través del reflejo metabólico respiratorio. Durante el ejercicio de alta intensidad y prolongado el sistema nervioso simpático induce a una vasoconstricción de la musculatura periférica reduciendo el flujo sanguíneo y aumentando la FTM. Esta percepción intensificada del esfuerzo físico se debe a la redistribución del flujo sanguíneo para preservar las funciones del sistema respiratorio (Callegaro, Ribeiro, Tan y Taylor, 2011. La evidencia científica respalda que los nadadores son especialmente propensos a experimentar dichos factores respiratorios debido a la alta exigencia sobre los músculos inspiratorios inherentes a este deporte (González-Montesino, 2012; Dempsey,2006). También hay datos que sugieren que la expansión torácica en los nadadores debe ser mayor para vencer resistencias externas propiciadas por la presión del agua lo que exige tasas de flujo inspiratorio, espiratorio y volúmenes mayores, para dar respuesta a esta demanda de gran gasto energético. (Cunha, et al., 2019), condición que puede llevar a la fatiga rápidamente e impactar en el rendimiento (Kilding et al,2010).

Las investigaciones en este campo han demostrado que un protocolo de entrenamiento adecuado de los músculos respiratorios (MR) puede mejorar la tolerancia a la fatiga y eficiencia respiratoria, principalmente en deportes terrestres (Karsten, 2018), estos hallazgos han sido relacionados con efectos positivos fisiológicos como hipertrofia del diafragma, aumento de óxido nítrico en la vía respiratoria, alteración de tipo de fibra muscular, mejor control neuronal, retraso del metabo reflejo, disminución de la disnea percibida y mejora de la función pulmonar. (Wylegala, 2007; Held, 2014; Shei, 2018).

Esto ha conducido a la exploración de diferentes alternativas tecnológicas, e instrumentos para incentivar el entrenamiento de los músculos inspiratorios en los deportistas, entre los cuales se destacan dispositivos como el Powerbreathe, Ultrabreathe y Threshold con beneficios documentados,

que sugieren que el fortalecimiento del diafragma y los músculos accesorios facilitan la mecánica de la ventilación (González-Montesinos., et al., 2012).

Sin embargo, a pesar de estos avances científicos, no se cuenta con un estudio que compile la mejor evidencia respecto a esta intervención. Por lo tanto, se desarrolló una revisión sistemática de la literatura para determinar los efectos del entrenamiento muscular inspiratorio (EMI) en deportistas de natación, identificando los instrumentos y protocolos utilizados para esta estrategia.

Métodos

Este estudio es una revisión sistemática de artículos científicos, basado en la lista de verificación PRISMA (Page et al, 2021). La revisión se realizó entre 01/11/2023 al 01/03/2024 esta última como fecha final de inclusión. El protocolo se registró inicialmente en el registro Prospectivo internacional de revisiones sistemáticas PRÓSPERO. (CRD42024538115)

Estrategias de búsqueda y criterios de elegibilidad

Se realizó una búsqueda de artículos científicos utilizando las bases de datos PubMed, Springer, Taylor & Francis, ScienceDirect, LILACS, Web of Science y Scopus. Los términos MESH que se utilizaron en la búsqueda fueron: Entrenamiento de los músculos respiratorios, ejercicio respiratorio, entrenamiento muscular inspiratorio, músculos respiratorios, con los conectores AND, OR, con natación, nadador, ergogénico, resistencia física, entrenamiento de fuerza, fatiga muscular y consumo de oxígeno. Se incluyeron ensayos clínicos sin límite de tiempo. La elegibilidad de los artículos se determinó mediante la revisión de títulos y resúmenes inicialmente, posterior a ello se aplicaron criterios de inclusión y exclusión en texto completo para finalmente realizar la evaluación de calidad y riesgo de sesgo y así determinar finalmente los estudios a analizar, los cuales están representados en el flujograma de PRISMA.

Selección de estudios y extracción de datos

Se incluyó literatura sin límite de idioma ni límite de tiempo, que dentro de su diseño los describen como ensayos clínicos controlados y den respuesta a la pregunta PICO descrita en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de pregunta PICO

Población	Intervención	Comparación	Outcomes-Resultados
Deportistas de natación convencionales de entre 11 y 25 años en modalidad de carrera.	Entrenamiento de los músculos inspiratorios con dispositivos de carga lineal y no lineal.	Deportistas que no reciben tratamiento con EMI y grupo control o grupo placebo.	Cambios en función pulmonar, fuerza muscular inspiratoria y rendimiento deportivo.

Dentro de los criterios de exclusión se consideraron los estudios que dentro de su población incluyeron deportistas del sector paralímpico y sordolímpico, así como evidencia científica que no incluyeron los resultados de interés y los protocolos de EMI.

Cada revisor (MG, KM, CS) realizó de manera independiente la selección de los artículos durante el proceso de filtrado tras la búsqueda en las bases de datos que se definieron para la búsqueda. Posteriormente, los artículos seleccionados se registraron en una lista y fueron revisados en conjunto por los revisores, teniendo en cuenta los estudios donde no utilizaban dispositivos de resistencia, que no estuvieran descritos los protocolos, tuviera información incompleta o no incluyeran deportistas de natación; en caso de presentarse discrepancias, un tercer y cuarto revisor (MA, JD) evaluó el artículo para decidir su inclusión final. Luego, se aplicaron los criterios de elegibilidad al análisis del texto completo. Para llevar a cabo la filtración y eliminar duplicados, se utilizó la herramienta Ednote X7 (Thomson Reuters, EE. UU.).

Finalmente se clasificaron los datos por dos revisores independientes resumiendo los resultados primarios de cada estudio en dos tablas: La primera incluye variables como; 1) Autores, año de publicación y país; 2) tamaño de la muestra; 3) características iniciales de los grupos; 4) características del protocolo como la prescripción del entrenamiento para cada grupo (modelo de equipo, repeticiones, intensidad de la carga, y duración); 5) nombramiento de los resultados primarios. Y la tabla número dos, describe los resultados de manera específica relacionados con la función respiratoria, fuerza muscular respiratoria (presión inspiratoria o espiratoria máxima) y el rendimiento deportivo con otras variables fisiológicas.

Criterios de calidad y riesgo de sesgo

La escala de PEDro (Moseley, 2020), se utilizó como herramienta para la valoración de la calidad metodológica de los ensayos clínicos a incluir, esta consta de 11 criterios que evalúa la aleatorización, la ocultación de la asignación, la similitud de las características iniciales, el enmascaramiento del

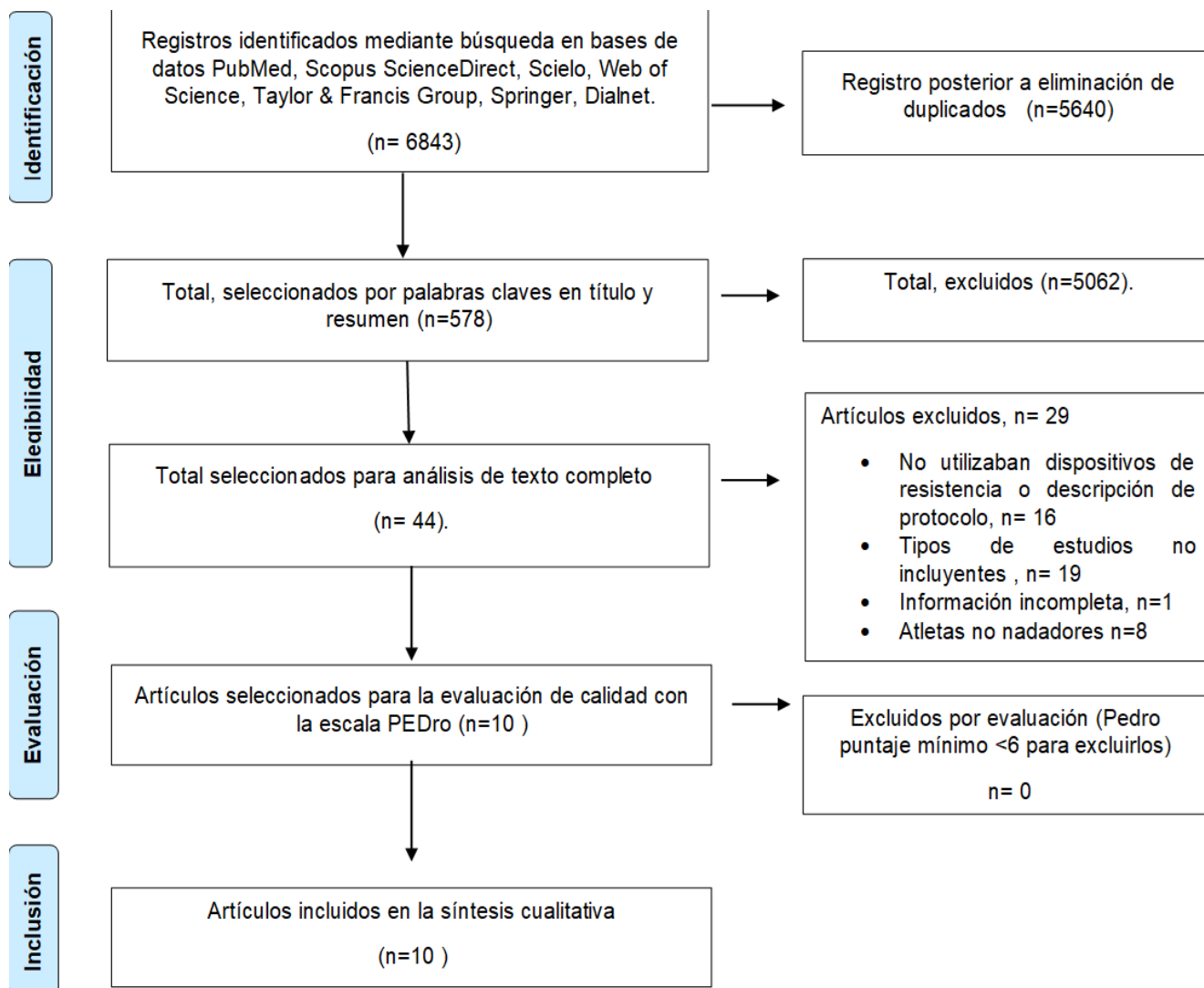
participante, el enmascaramiento del terapeuta, el enmascaramiento del evaluador. En esta revisión se consideró de buena calidad metodológica los estudios que obtuvieron un puntaje mayor a 6 puntos.

El sesgo de los estudios se evaluó utilizando los criterios descritos por el Instituto Joanna Briggs (Baker, et al , 2023) . El propósito de esta herramienta es determinar en qué medida un estudio ha abordado tanto la posibilidad de sesgo en su diseño, como la realización o análisis utilizados en revisiones sistemáticas de estudios experimentales; permitiendo así que el resultado sintetizado se interprete correctamente y que el análisis individual no impacte en el resultado de la síntesis de evidencia.

Resultados

Se encontraron 6,843 artículos utilizando las palabras Mesh. Después de la revisión de los títulos y eliminación de duplicados, se descartaron 6,799 quedando 44 para análisis de texto completo, se excluyen 29 artículos que no cumplen criterios de inclusión de los cuales ingresan 10 para síntesis cualitativa. (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo de selección de estudios PRISMA.



Calidad de los estudios y riesgo de sesgo

La escala PEDro aplicada tuvo una puntuación media de 10. En todos los estudios se implementaron la elegibilidad y la aleatorización, aunque en tres artículos no fueron especificados los criterios de selección. Por otro lado, los profesionales que intervinieron en la mayoría de los ensayos fueron cegados.

La evaluación del riesgo de sesgo se representó por medio del software Review Manager versión 5.4 (Figuras 2 y 3), concluyendo que la mayoría de los estudios describen de manera adecuada en su metodología el control de sus sesgos. Los elementos que obtuvieron un porcentaje menor al 25% para alto riesgo, fue determinado por aleatorización en la asignación de los grupos de los participantes,

seguido de la asignación de los grupos de tratamiento, y en menor porcentaje para el cegamiento oculto de participantes, terapeutas y evaluadores.

Figura 2. Gráfico de riesgo de sesgo presentado en porcentajes



Figura 3. Resumen del riesgo de sesgo

	Se utilizó aleatorización en la asignación de participantes	Se ocultó la asignación a los grupos de tratamiento	Los grupos de tratamiento fueron similares al inicio	Los participantes fueron cegados	Los que administraron el tratamiento fueron cegados	Los grupos de tratamiento fueron tratados igual que al grupo control	Los evaluadores fueron cegados	Los resultados se midieron por igual en los grupos	Se midieron los resultados de manera confiable	Se completó el seguimiento	Se analizaron los participantes	Se utilizó un análisis estadístico apropiado	Fue apropiado el diseño del ensayo
Albareda 2023	●	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ando 2020	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cunhaa 2019	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Kilding 2009	+	●	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lemaitre 2013	●	+	+	●	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lomax 2019	+	+	+	+	●	+	●	+	+	+	+	+	+
Mickleborough 2008	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tan 2023	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Vasickova 2017	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Wilson 2013	+	+	+	+	?	+	?	+	+	+	+	+	+

Características de la población incluida en los estudios

De los artículos analizados, el total de la población fue de 233 atletas de natación en la modalidad de carrera, la población tratada de deportistas tuvo un promedio en la edad de 18 años. El género más prevalente fue el masculino, aunque la mayoría de los artículos también incluían atletas femeninas. El país que mostró mayor participación fue el Reino Unido.

Tabla 2. Características de los estudios de IMT swimming

Autor	Año / País	Número de participantes por grupo	Edad por grupo (años)	Intervención 1	Intervención 2	Intervención 3	Intervención 4	Medidas de resultado
Mickleborough et al, (2008)	2008 Reino Unido	G1: 10 G2: 10 G3: 10	18,2 (±1,6)	EN + EMI Carga del 80% de la PIM 6 inspiraciones -descanso de 5 s 3 veces por semana 2 semanas Dispositivo RT2	EN + EMI DISPOSITIVO FALSO Carga del 30% de la PIM 6 inspiraciones -descanso de 5 s 3 veces por semana 12 semanas Dispositivo RT2	EN habitual 3 veces por semana 12 semanas No utilizó ningún dispositivo		El G1 obtuvo una mejora significativa (P<0,05) de 11,6 ± 5,6 13,3 ± 6,1, 7,3 ± 4,8, 7,4 ± 4,0 y 13,1 ± 5,5% en CVF, VEF1, FIV1. El G2 obtuvo mejoras en (P<0,05) de 10,9 ± 4,9, 12,7 ± 5,6, 6,5 ± 5,1 6,6 ± 3,9 y 11,2 ± 4,7% en CVF, VEF1, FIV1 El G3 obtuvo mejoras en CVF, VEF1, FIV1 de 11,2 ± 5,2, 11,1 ± 6,5, 7,5 ± 5,4 6,4 ± 4,6 y 8,9 ± 4,4%
Kilding et al, (2009)	2009 Reino Unido	G1: 8 G2: 8	G1: 19,1 (± 2,6) G2: 19,0 (± 2,1)	EMI Carga del 50% de la PIM 30 inspiraciones 2 veces al día 6 semanas Dispositivo PowerBreathe	EMI FALSO Carga del 15% de la PIM 60 inspiraciones lentas y prolongadas 1 vez al día 6 semanas Dispositivo PowerBreathe falso			El G1 tuvo un aumento sustancial de la PIM (8,9 ± 3,6 %; 0,41 ± 0,15; P<0,01) En VEF1 y CVF los resultados que tuvieron fueron pocos claros
Lemaitre, et al, (2013)	2013 Francia	G1: 10 G2: 10	G1: 16,5 (± 2,4) G2: 16,1 (± 2,0)	EN+ RMET Carga del 60% de la PIM 30 minutos de EN al día 5 días a la semana 8 semanas Dispositivo SpiroTiger	EN habitual sin RMET 8 semanas			En el G1 únicamente aumentaron CVF (F1.15 = 4.16, p = 0.04 y F1.15 = 4.56, p = 0,02. La PIM aumento solo en el grupo 1 después del programa con una diferencia entre los grupos después del período experimental (F1.15 = 8.11, p = 0.012 y F1.15 = 13.55, p = 0.002
Wilson et al, (2013)	2013 Reino Unido	G1: 3 G2: 2 G3: 3 G4: 7	21,2 (±1,6)	EN habitual 2500 metros cuatro estilos (mariposa, espalda, pecho y estilo libre) piernas (pateando con un flotador) brazos (usando una boya de tracción) trabajo bajo el agua 4 semanas	EMI Carga del 40% de la PIM 2 series de 30 inspiraciones 4 semanas Dispositivo PowerBreathe	EN habitual + EMI FALSO Carga del 15% de la PIM 4 semanas Dispositivo PowerBreathe	EN habitual + EMI Carga del 40% de la PIM 2 series de 30 repeticiones 4 semanas Dispositivo PowerBreathe	Hubo mejoría en rendimiento en 100 metros de estilo libre con el protocolo 4 No hubo cambios fisiológicos en ninguno de los 4 grupos

Vašíčková et al. (2013)	2017 República Checa	G1: 12 G2: 8	G1: 12,0 ($\pm 1,7$) G2: 11,5 ($\pm 2,4$)	EN + RMT Carga al 30% de la PIM y PEM 1 vez al día entrenamiento regular con RMST y RMET 1 mes Dispositivo Threshold IMT y Threshold PEP -RMST: 10 repeticiones de inspiración máxima - Threshold EMI 10 repeticiones de espiración máxima - Threshold PEP -RMET: respirar continuamente contra la resistencia 15 minutos cada dispositivo	EN habitual Después de 1 mes, realizó entrenamiento con dispositivos respiratorios 1 mes			En el G2 el volumen espiratorio forzado en 1 segundo y el flujo espiratorio máximo fueron mayores después del RMT $104,5 \pm 104,8 - 115,6 \pm 118,3$ y $87,9 \pm 100,3 - 95,3 \pm 91,1$ El G1 el valor de PIM aumentó significativamente (20,8%) y el valor de PEM aumentó en un 10,6% El 21% de los participantes tuvieron una fuerza reducida de los músculos espiratorios.
Lomax, et al. (2019)	2019 Reino Unido	G1: 9 G2: 8 G3: 9 G4: 7	G1: 16 (± 3) G2: 16 (± 1)	EMI Carga del 50% de la PIM 30 respiraciones 2 veces al día 7 días a la semana 6 semanas Dispositivo PowerBreathe y PowerLung	EMI Carga del 50% de la PIM 30 respiraciones 2 veces al día 7 días a la semana 6 semanas Dispositivo PowerBreathe y PowerLung	EN habitual 6 semanas	EN habitual 6 semanas	El G1 tuvo mejora en PIM ($98 \pm 4\%$) El G2 mejoró la PIM ($91 \pm 3\%$ de cumplimiento de EMI) ($F = 16,355$, $p = 0,001$, $d = 0,97-1,29$)
Cunhaa et al. (2019)	2019 Portugal	G1: 17 G2: 12	G1: 15 [14;16]* G2: 14 [13;16]*	EN + EMI Carga del 50% de la PIM 30 inspiraciones 2 ciclos 5 días a la semana 12 semanas Dispositivo PowerBreathe	EN + EMI Carga del 15% de la PIM 30 inspiraciones 2 ciclos 5 días a la semana 12 semanas Dispositivo PowerBreathe			En el G1 se encontró cambios modestos en CVF ($p = 0,011$) y VEF1 ($p = 0,061$)

Ando, et al. (2019)	2020 Japón	G1: 10 G2: 9	G1: 19,3 (±0,1) G2: 19,3 (±0,1)	EN + EMI Carga del 50% de la PIM 30 inspiraciones 2 veces al día 6 días a la semana 6 semanas Dispositivo PowerBreathe Plus Respiratory Trainer, HaB International Ltd, Warwickshire, Reino Unido	EN habitual 6 semanas			Hubo un cambio significativo en la PIM en ambos grupos de intervención después de 6 semanas de entrenamiento. Sin embargo, se obtuvo un cambio relativamente mayor desde el inicio de la intervención en el grupo experimental.
Albareda et al, (023)	2023 España	G1: 4 G2: 4	G1: 21.0 (± 2.6) G2: 18.3 (± 1.3)	EMI + músculos centrales Carga del 60% con incrementos hasta el 80% de la PIM 3 series de 10 repeticiones 2 veces al día 6 días a la semana 6 semanas Dispositivo PowerBreathe Plus 1 sesión de ejercicios de músculos centrales 3 series de 4 ejercicios	EMI Carga del 60% de la PIM 3 series de 10 repeticiones 1 vez al día 6 días a la semana 6 semanas Dispositivo PowerBreathe Plus			Ambos grupos aumentaron la PIM desde antes de la intervención hasta después de la intervención, respectivamente, G1: ($\Delta 15,3\%$; $P = 0,010$; $d = 0,967$) y G2: ($\Delta 13,0\%$; $P = 0,013$; $d = 0,955$).
Tan, et al 2023	2023 China	G1: 20 G2: 23	G1: 21,21 (±0,61) G2: 21,26 (±0,74)	EMI 15 a 20 minutos por sesión 3 series de 30 inhalaciones 3 veces por semana 6 semanas Dispositivo PowerBreathe	EN habitual 3 veces por semana 6 semanas			G1 mostró mejoras significativas en el rendimiento de natación y en la CVF, la PIM, el FIM y la CIM

Abreviaturas: G1 (Grupo 1 - intervención), G2 (Grupo 2 - comparación), G3 (Grupo 3), G4 (Grupo 4), EN (Entrenamiento de natación), EMI (Entrenamiento músculos inspiratorios), RMET (Entrenamiento de resistencia de los músculos respiratorios), RMT (Entrenamiento de los músculos respiratorios), RMST (Entrenamiento de fuerza de los músculos respiratorios), PIM (Presión inspiratoria máxima), PEM (Presión espiratoria máxima), CVF (Capacidad vital forzada), VEF1 (Volumen espiratorio forzado), VIF1 (Volumen inspiratorio forzado), MVV12s (Ventilación voluntaria máxima), CIM (Capacidad inspiratoria máxima). *rango dado en mediana

Ando, et al. (2019)	PIM PRE 139 ± 9 cm H2O PIM POST 155 ± 7 cm H2O	PIM PRE 129 ± 6 cm H2O PIM POST 163 ± 7 cm H2O							Electr omio grafia Ester nuclei doma stoide o e interc ostal	Electr omio grafia Ester nuclei doma stoide o e interc ostal		
Albareda et al, (023)	PIM PRE 132,75 ± 27,42 cm H2O PIM POST 156,75 ± 21,88 cm H2O	PIM PRE 149.25 ± 22.82 cm H2O PIM POST 171.50 ± 23.74 cm H2O			T- 3000, min:s PRE 32:34. 50 (01:09 .26) POST 32:17. 50 (01:28 .49)	T- 3000, min:s PRE 33:26. 00 (00:49 .41) POST 32:42. 25 (01:21 .34)			Lac 1, mmo 1-L- 1 PRE 2.98 (0.49) POST 3.75 (1.51) Lac 5, mmo 1-L- PRE 2.50 (1.67) POST 2.50 (1.67)	Lac 1, mmo 1-L- 1 PRE 2.65 (0.33) POST 3.72 (0.56) Lac 5, mmo 1-L- PRE 2.03 (0.21) POST 3.00 (0.32)		
Tan, et al (2023)	PIM PRE 117,70 ± 14,83 cm H2O PIM POST 162,87 ± 10,77 cm H2O	PIM PRE 126,61 ± 20,69 cm H2O PIM POST 144,19 ± 16,14 cm H2O FIM PRE 6,51 ± 0,89			Estilo libre 50 metro s 39,6 sa 35,4 s (p =	Estilo libre 50 metro s 42 sa			MIC PRE 5,97 ± 0,84 MIC POST 8,52 ± 0,83	MIC PRE 2,08 ± 0,76 MIC POST 3,34 ± 0,80.		

	FIM PRE 5,97 ± 0,84	FIM POST a 7,54 ± 0,99			0,001 8)	40,4 s (p = 0,28)						
	FIM POST 8,52 ± 0,83				Estilo libre	Estilo libre						
					27 m a 30,95 m (p = 0,013)	31,34 m vs. 29,25 m (p = 0,39)						
					Exp	contro l						
					Estilo libre 100 metro s	Estilo libre 100 metro s						
					112,2 5 sa 102,3 s (p = 0,004	121,4 7 sa 114,6 5 s (p = 0,203)						

Abreviaturas: G1 (Grupo 1 - intervención), G2 (Grupo 2 - comparación), G3 (Grupo 3), G4 (Grupo 4), PRE (Antes de la intervención), POST (Después de la intervención), VEF1 (Volumen espiratorio forzado), VIF1 (Volumen inspiratorio forzado), CVF (Capacidad vital forzada), PIM (Presión), S (segundos), inspiratoria máxima), PEM (Presión espiratoria máxima), PEF (Pico flujo espiratorio), FIM (Flujo inspiratorio máxima)

Protocolo de EMI de los músculos inspiratorios

Dentro de la búsqueda de los artículos se evidencia una heterogeneidad en la duración de los protocolos con un promedio de 7 semanas, el promedio de series descritas en los artículos está en dos series de 24 ± 30 repeticiones, 3 veces al día, 4 ± 5 días a la semana y una carga inspiratoria aproximadamente de 40% con incrementos descritos hasta el 80% de la PIM. Dentro de los dispositivos referenciados se encontró el RT2 device De Vilbiss UK Ltd, PowerBreathe®, SpiroTiger (Idiag®, Fehraltorf, Suiza), Threshold IMT, Threshold PEP y PowerLung®

El dispositivo que fue más utilizado para el EMI fue el PowerBreathe, dando así que el 60% de los artículos utilizaron este dispositivo, ya que este ha demostrado a través de varios estudios tener una gran eficacia. Uno de los autores (Mickleborough, 2008) utilizó el dispositivo de entrenamiento RT2, el cual es un manómetro de presión con una fuga de 2 mm, que utiliza un enlace infrarrojo a un computador, el cual tiene integrado el software del régimen de TIRE (prueba de resistencia respiratoria incremental). El protocolo TIRE necesita que cada deportista exhale con fuerza hasta el Volumen residual (VR), (expiración sin carga), consecutivo de que cada individuo inhale al máximo contra la resistencia (fuga de 2 mm) desde la VR hasta la capacidad pulmonar total.

Efectos del EMI en la función pulmonar y fuerza muscular respiratoria

Los estudios que abordan el entrenamiento habitual de natación con un protocolo estandarizado de EMI, evidencian que han tenido cambios significativos en la función pulmonar, expresados principalmente por la mejora de la PIM, con una media de 132.5 cmH₂O inicial y 145.1 cmH₂O final, además el 63,6% de los estudios indicaron que la espirometría fue una de las pruebas más utilizadas para medir la función pulmonar evidenciando mejoras en la capacidad vital forzada con una media inicial de 69.5 ml y final de 40.3 ml, el volumen espiratorio forzado obtuvo una media inicial de 54,2 y final de 55,1 y el pico flujo respiratorio de los atletas, sin embargo, un estudio donde utilizaron el entrenamiento de EMI como estrategia de calistenia de la musculatura respiratoria, no evidencio efectos en la función pulmonar, pero si en el rendimiento de las pruebas contrarreloj de los nadadores.

Efectos del EMI en el rendimiento deportivo

Con respecto a el rendimiento deportivo, el 89% de los artículos mostraron que los sujetos entrenados con EMI presentaron mejoras en pruebas contrarreloj, no obstante, el 60% de los artículos en sus resultados refieren que los sujetos tuvieron cambios en el rendimiento deportivo, pero estos no fueron significativos frente al grupo control. Dentro de las pruebas descritas en los estudios para evaluación del rendimiento, utilizaron las siguientes: prueba de distancia sprint estilo libre o crol frontal (50 o 100 m), media distancia (200 o 400 m), larga distancia (800 a 1500 m) y 3000 m (T-3000).

Discusión

Esta revisión sistemática reveló que el uso del EMI con dispositivos como el PowerBreathe y el RT2 proporciona beneficios significativos en la función pulmonar y fuerza muscular respiratoria de los nadadores. Además, algunos estudios revisados indican que la relación del EMI y el entrenamiento habitual de los nadadores podrían mejorar el rendimiento del gesto deportivo. Sin embargo, los hallazgos en este aspecto aún muestran cierta variabilidad. De los 10 ensayos clínicos incluidos en la revisión, todos utilizan como comparativo grupos control y/o simulación, adicional se cree que una de las características de estas publicaciones al ser predominante el país de realización el Reino Unido se debe a que la mayoría de las fábricas promotoras de los dispositivos son nativas de esa nación.

Otra característica positiva son los resultados de la evaluación integral del riesgo de sesgo de cada estudio, demostrando que los artículos analizados poseen calidad metodológica, y los sesgos que pueden derivarse pueden ser producto del mismo diseño del estudio donde el ocultamiento de la intervención al profesional puede ser compleja ya que este debe estar capacitado para la aplicación de la técnica.

En vista de los resultados, se deduce que no hay estandarización de los protocolos frente a la frecuencia y periodo de intervención, intensidad, descanso y progresión de la carga, por lo cual, ha sido una controversia si la intensidad del entrenamiento que está siendo utilizada es insuficiente para ver mejoras en los nadadores, ya que en la literatura se evidencia protocolos con una carga mínima de 30% y máxima de 80%, asimismo, hay protocolos con duraciones de 6 semanas y 12 semanas, por ende, los cambios en la fuerza son dependientes del entrenamiento. En la mayoría de los artículos de la revisión, refiere que el 60% de los nadadores tuvieron mejoría en el VEF1. La mejoría de la CVF puede estar asociada al mejoramiento de la capacidad respiratoria inmediata al final del entrenamiento del atleta.

Igualmente, los cambios de adaptación en los nadadores frente al entrenamiento habitual de natación se ven condicionados por factores como: la edad, el sexo, el tipo de esfuerzo y el estado de entrenamiento. Los procesos que participan e interactúan para conseguir una adaptación se amplifican de forma continua durante el entrenamiento, de tal modo, que tras el uso de una carga planificada se origina un estado controlado de fatiga, el cual necesita un periodo adecuado de recuperación para así poder alcanzar un rendimiento elevado y estable. Los nadadores manifiestan una mayor respuesta de

adaptabilidad siempre y cuando se manejan las cargas de entrenamiento moderadas de acuerdo con el desarrollo biológico y preparación deportiva de cada individuo, ya que esto permite generar estímulos de adaptación cuando sea necesario implementar entrenamientos con cargas vigorosas (Sepulveda, R, et al, 2021). Por otro lado, es importante conocer la relación entre la fisiología de la respiración en natación y el rendimiento de los nadadores (Selim 2022). La mecánica respiratoria es un determinante para aumentar la velocidad y la efectividad en el momento de la competencia en natación. El EMI tiene un impacto muy valioso frente a la capacidad pulmonar, ya que, gracias a ello, los nadadores pueden mejorar la movilidad del diafragma y por consiguiente aumentar su resistencia de apnea y verse reflejado en mayor rendimiento deportivo bajo el agua por períodos más largos. Esta interpretación es útil para maximizar la cantidad de oxígeno utilizable para los músculos, lo que hace que el rendimiento sea aún mucho más impecable (Abara E, et al, 2022).

En actividades con alta demanda energética, como la natación, se limita el flujo de sangre a las extremidades y lo redirecciona a los músculos respiratorios, para impedir la fatiga respiratoria. Igual que se presenta la acumulación de metabolitos en los músculos respiratorios en funcionamiento generando una vasoconstricción simpática en las extremidades y una restricción del flujo de sangre. Esto hace que el diafragma esté dispuesto a un mayor tiempo en actividad intensa antes de la fatiga. En los artículos utilizados para la revisión se demostró que el EMI mejora significativamente el reparto del flujo sanguíneo a los músculos durante la actividad, por lo que pospone la fatiga con el aumento del rendimiento. Entonces exponer los músculos inspiratorios a un entrenamiento de presión constante independiente del flujo de aire con una carga vigilada e individualizada, proporciona ganancias en su función pulmonar, principalmente en la PIM. (González, et al, 2012).

Autores que han documentado (Hellyer et al., 2015, Segizbaeva et al., 2015) el uso de EMI concomitante con el ciclismo en una sola sesión de entrenamiento en comparación con el EMI aislado por medio de electromiografía, destacaron una mayor actividad en el diafragma y los músculos esternocleidomastoideos al igual que disminución en la fatiga. Resultados que pueden ser explicativos a la hora de comparar los hallazgos de esta revisión donde se documentan mejoras en la PIM.

Por lo tanto, se puede diferir que mientras la prescripción de EMI se siga derivando del modelo utilizado en sujetos con deficiencias cardiopulmonares (Cahalin et al., 2013), la mayoría de los protocolos aplicados hasta el momento generan una carga insuficiente para este tipo de deportistas.

Dentro de los hallazgos interesantes identificados en esta revisión sistemática está documentado por (Wilson, et al, 2014), quien muestra en sus resultados, que el uso de EMI combinado con un calentamiento de natación estándar mejora significativamente el rendimiento en natación de 100 m estilo libre en nadadores de élite, sin realizar un protocolo de entrenamiento en el tiempo.

Finalmente, esta revisión nos abre la mirada a los profesionales relacionados con el ejercicio, fisioterapeutas y equipos relacionados con la natación para seguir buscando lineamientos que mejoren el desempeño deportivo siendo el EMI una estrategia asertiva con efectos ergogénicos en los nadadores.

De igual manera se invita a incluir esta intervención en los nadadores con intensidades elevadas y dispositivos que generen cargas individualizadas, un ejemplo de ello es el RT2

Conclusión

Esta revisión sistemática ha evidenciado que el uso de un protocolo de entrenamiento de los músculos inspiratorios con dispositivos en los deportistas de natación beneficia la función pulmonar y la fuerza muscular, por otro lado, son heterogéneos los hallazgos en cuanto a la mejoría del rendimiento deportivo en los pacientes que realizan EMI, sin embargo, la utilización de protocolos y dispositivos que generan cargas elevadas pueden mejorar los efectos en nadadores.

Referencias

- Barker, T. H., Stone, J. C., Sears, K., Klugar, M., Tufanaru, C., Leonardi-Bee, J., Aromataris, E., & Munn, Z. (2023). The revised JBI critical appraisal tool for the assessment of risk of bias for randomized controlled trials. *JBI Evidence Synthesis*, 21(3), 494–506. <https://doi.org/10.11124/jbies-22-00430>
- Callegaro, C. C., Ribeiro, J. P., Tan, C. O., & Taylor, J. A. (2011). Attenuated inspiratory muscle metaboreflex in endurance-trained individuals. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 177(1), 24–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resp.2011.03.001>
- Cahalin, R. Arena, M. Guazzi, J. Myers, G. Cipriano, G. Chiappa, et al. (2013), Inspiratory muscle training in heart disease and heart failure: A review of the literature with a focus on method of training and outcomes. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 11 pp. 161-177

- Cunha, M., De Castro Mendes, F., Paciência, I., Rodolfo, A., Carneiro-Leão, L., Rama, T. A., Rufo, J. C., Delgado, L., & Moreira, A. (2019). The effect of inspiratory muscle training on swimming performance, inspiratory muscle strength, lung function, and perceived breathlessness in elite swimmers: a randomized controlled trial. *Porto Biomedical Journal/Porto Biomedical Journal*, 4(6), e49. <https://doi.org/10.1097/j.pbj.0000000000000049>
- Dempsey, J. A., Romer, L., Rodman, J., Miller, J., & Smith, C. (2006). Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 151(2–3), 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2005.12.015>
- González-Montesinos, J. L., Pardal, C. V., Santos, J. R. F., Muñoz, A. A., Sepúlveda, J. L. C., & De los Monteros, R. G. E. (2012). Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323327672007>
- Held, H. E., & Pendergast, D. R. (2014). The effects of respiratory muscle training on respiratory mechanics and energy cost. *Respiratory physiology & neurobiology*, 200, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2014.05.002>
- Hellyer, I.A. Folsom, D.V. Gaz, A.C. Kakuk, J.L. Mack, J.A. Ver Mulm (2015)
Respiratory muscle activity during simultaneous stationary cycling and inspiratory muscle training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, pp. 3517-3522
- Karsten, M., Ribeiro, G. S., Esquivel, M. S., & Matte, D. L. (2018). The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 34, 92–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.09.004>
- Kilding, A. E., Brown, S., & McConnell, A. K. (2010). Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *European journal of applied physiology*, 108(3), 505–511. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1228-x>
- Mickleborough, T. D., Stager, J. M., Chatham, K., Lindley, M. R., & Ionescu, A. A. (2008). Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *European Journal of Applied Physiology*, 103(6), 635–646. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0759-x>
- Moseley, A. M., Elkins, M. R., Van der Wees, P. J., & Pinheiro, M. B. (2020). Using research to guide practice: The Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Brazilian journal of physical therapy*, 24(5), 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.11.002>

- Okrzymowska, P., Kurzaj, M., Seidel, W., & Rożek-Piechura, K. (2019). Eight weeks of inspiratory muscle training improves pulmonary function in disabled swimmers—A randomized trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1747. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101747>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, *BMJ* 2021, 372, n71. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Selim Abara E., Javier Cepeda S. (2022). Fisiología respiratoria - el control de la respiración. 17(4):117-121 <https://doi.org/10.51451/np.v17i4.511>
- Segizbaeva, N.N. Timofeev, Zh A. Donina, E.N. Kur'yanovich, N.P. Aleksandrova (2015) Effects of inspiratory muscle training on resistance to fatigue of respiratory muscles during exhaustive exercise. *Advances in Experimental Medicine & Biology*, pp. 35-43
- Shei R. J. (2018). Recent Advancements in Our Understanding of the Ergogenic Effect of Respiratory Muscle Training in Healthy Humans: A Systematic Review. *Journal of strength and conditioning research*, 32(9), 2665–2676. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002730>
- Tan, M., Liang, Y., Lü, W., Ren, H., & Cai, Q. (2023). The effects of inspiratory muscle training on swimming performance: A study on the cohort of swimming specialization students. *Physiology & Behavior*, 271, 114347. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114347>
- Wilson, E. E., McKeever, T. M., Lobb, C., Sherriff, T., Gupta, L., Hearson, G., Martin, N., Lindley, M. R., & Shaw, D. E. (2014). Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. *British Journal of Sports Medicine*, 48(9), 789–791. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092523>
- Wylegala, J. A., Pendergast, D. R., Gosselin, L. E., Warkander, D. E., & Lundgren, C. E. (2007). Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers. *European journal of applied physiology*, 99(4), 393–404. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0359-6>
- Yañez-Sepulveda, R., Alvear-Ordenes, I., Tapia-Guajardo, A., Verdugo-Marchese, H., Cristi-Montero, C., & Tuesta, M. (2021). El entrenamiento de los músculos inspiratorios mejora el rendimiento en natación de nadadores de velocidad masculinos jóvenes competitivos. *La Revista de Medicina Deportiva y Aptitud Física*, 61 (10). <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.21.11769-4>