



Diferencias por sexo en el rendimiento de la musculatura inspiratoria y el salto durante un test de velocidad crítica en nadadores jóvenes

Sex differences in inspiratory muscle performance and jump height during a critical velocity test in young swimmers

Autores

Germán Monterrubio Fernández ^{1,2}
Borja Sañudo Corrales ^{2,3}
Adrián Feria Madueño ^{2,3}

¹ Universidad CEU Fernando III (España)

² Universidad de Sevilla (España)

³ Asociación de Investigación e Innovación en Ejercicio Físico y Tecnologías Aplicadas al Movimiento y la Salud (España)

Autor de correspondencia:
Adrián Feria Madueño
aferia1@us.es

Recibido: 11-12-25
Aceptado: 06-03-26

Cómo citar en APA

Monterrubio Fernández, G., Sañudo Corrales, B., & Feria Madueño, A. (2026). Diferencias por sexo en el rendimiento de la musculatura inspiratoria y el salto durante un test de velocidad crítica en nadadores jóvenes. *Retos*, 79, 151-162. <https://doi.org/10.47197/retos.v79.118340>

Resumen

Introducción: La musculatura inspiratoria desempeña un papel determinante en el rendimiento de los nadadores, influyendo en la eficiencia ventilatoria, la fatiga y la capacidad de recuperación. No obstante, la evidencia sobre diferencias por sexo en parámetros específicos de fuerza y flujo inspiratorio, como el Strength Index (S-INDEX) y el Peak Inspiratory Flow (PIF), sigue siendo limitada. **Objetivo:** Analizar las diferencias entre hombres y mujeres en la musculatura inspiratoria (S-INDEX y PIF) y el salto con contramovimiento (CMJ) durante un test de velocidad crítica (CSS) en nadadores jóvenes

Método: Treinta nadadores competitivos (17 mujeres, 13 hombres) realizaron un test de CSS (400 m y 100 m estilo libre). Se registraron S-INDEX y PIF con PowerBreathe K5 y las variables del CMJ con MyJump2 antes (E1), durante (E2) y después del test (E3).

Resultados: Los hombres presentaron valores significativamente superiores de S-INDEX y PIF en los tres momentos ($p < 0.001$). Se observó un efecto del tiempo en ambas variables, con incremento entre E1 y E2 y estabilización posterior, sin interacción sexo \times tiempo. La altura del CMJ fue mayor en hombres ($p < 0.001$) y disminuyó significativamente al final del protocolo ($p < 0.001$), sin interacción sexo \times tiempo. En el conjunto total de la muestra, S-INDEX y PIF mostraron asociaciones positivas moderadas y significativas con el CMJ ($r = 0.48-0.49$; $p = 0.007$) y con la CSS ($r = 0.53-0.56$; $p = 0.003-0.001$), mientras que las asociaciones estratificadas por sexo no alcanzaron significación estadística.

Conclusiones: Los varones presentan valores absolutos más altos de S-INDEX y PIF, con una evolución temporal similar en ambos sexos durante el test de CSS. La estabilidad de los índices inspiratorios junto con la disminución del CMJ sugiere una mayor carga neuromuscular que ventilatoria. S-INDEX y PIF se asocian moderadamente con CMJ y CSS en el total de la muestra y deben interpretarse de forma contextualizada por sexo.

Palabras clave

Musculatura inspiratoria; natación; PIF, S-INDEX; velocidad crítica.

Abstract

Introduction: Inspiratory musculature plays a decisive role in swimmers' performance, influencing ventilatory efficiency, fatigue, and recovery capacity. However, evidence on sex differences in specific parameters of inspiratory strength and flow, such as the Strength Index (S-INDEX) and Peak Inspiratory Flow (PIF), remains limited.

Objective: To analyze differences between men and women in inspiratory muscle strength (S-INDEX and PIF) and counter-movement jump (CMJ) during a critical speed swim (CSS) test in young swimmers.

Method: Thirty competitive swimmers (17 women, 13 men) performed a CSS test (400 m and 100 m freestyle). S-INDEX and PIF were recorded with PowerBreathe K5 and CMJ variables with MyJump2 before (E1), during (E2), and after the test (E3).

Results: Men had significantly higher S-INDEX and PIF values at all three time points ($p < 0.001$). A time effect was observed in both variables, with an increase between E1 and E2 and subsequent stabilization, without sex \times time interaction. The CMJ height was higher in men ($p < 0.001$) and decreased significantly at the end of the protocol ($p < 0.001$), with no sex \times time interaction. In the total sample, S-INDEX and PIF showed moderate and significant positive associations with CMJ ($r = 0.48-0.49$; $p = 0.007$) and with CSS ($r = 0.53-0.56$; $p = 0.003-0.001$), while the associations stratified by sex did not reach statistical significance.

Conclusions: Males have higher absolute values of S-INDEX and PIF, with a similar temporal evolution in both sexes during the CSS test. The stability of the inspiratory indices together with the decrease in CMJ suggests a greater neuromuscular than ventilatory load. S-INDEX and PIF are moderately associated with CMJ and CSS in the total sample and should be interpreted in context by sex.

Keywords

Critical velocity; inspiratory muscles; PIF; S-INDEX; swimming.

Introducción

La musculatura respiratoria desempeña un papel determinante en el rendimiento de los nadadores competitivos, no solo por su función ventilatoria, sino también por su contribución a la estabilidad del tronco y al mantenimiento de la eficiencia hidrodinámica durante el movimiento en el agua. En el contexto de la natación, donde la respiración se produce en condiciones de restricción mecánica y ritmo ventilatorio impuesto, la capacidad de generar presiones inspiratorias elevadas y flujos de aire rápidos se asocia con una mejor tolerancia al esfuerzo, una menor percepción de disnea y una mayor eficiencia técnica (Feria-Madueño et al., 2024; Karsten et al., 2018).

El control de la carga de entrenamiento en natación ha incorporado históricamente parámetros fisiológicos como la velocidad crítica, la concentración de lactato o la frecuencia cardíaca (Arsoniadis et al., 2020; Funai et al., 2025; Nahar et al., 2025; Nahar et al., 2026; Rizzato et al., 2018). Sin embargo, la evaluación funcional de la musculatura inspiratoria mediante dispositivos portátiles como el *PowerBreathe K5* ha permitido obtener indicadores más específicos de la capacidad ventilatoria, como el Strength Index (S-INDEX) y el Peak Inspiratory Flow (PIF). Estas variables cuantifican, respectivamente, la fuerza y el flujo máximo de la inspiración y constituyen marcadores sensibles de la función respiratoria en deportistas (Lomax & McConnell, 2019). Su uso permite monitorizar la respuesta aguda y crónica al entrenamiento, así como detectar signos tempranos de fatiga inspiratoria o de sobrecarga respiratoria (Brown et al., 2023).

Diversos estudios han demostrado que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria (Inspiratory Muscle Training, IMT) mejora la eficiencia ventilatoria, reduce la disnea y favorece el rendimiento en pruebas de alta intensidad y corta duración, como los 100 y 200 metros en natación (Yáñez-Sepúlveda et al., 2021; Mickleborough et al., 2010). Estas adaptaciones parecen estar mediadas por un aumento de la fuerza diafragmática, una mejor sincronización entre los músculos respiratorios y una reducción del metabo-reflejo respiratorio, fenómeno que describe la redistribución del flujo sanguíneo hacia el diafragma en situaciones de fatiga, en detrimento de la musculatura locomotora (Sheel et al., 2018).

No obstante, a pesar del creciente interés por la musculatura inspiratoria como determinante del rendimiento, las diferencias fisiológicas entre hombres y mujeres en este ámbito no están completamente establecidas. Los hombres suelen presentar valores absolutos mayores de fuerza inspiratoria máxima, volumen pulmonar y diámetro de vías aéreas (Dominelli et al., 2019; Caruso et al., 2015), mientras que las mujeres tienden a mostrar una mayor eficiencia ventilatoria relativa y una fatigabilidad inspiratoria menor en condiciones submáximas (Molgat-Seon et al., 2018; Päivinen et al., 2021). Esta disparidad anatómico-funcional puede traducirse en un comportamiento diferenciado durante el ejercicio en medio acuático, donde las restricciones respiratorias son más pronunciadas y la coordinación ventilatoria influye directamente en la mecánica del nado.

En particular, las diferencias en el calibre de las vías aéreas, el volumen pulmonar total y la masa de la musculatura respiratoria generan un trabajo inspiratorio proporcionalmente mayor en las mujeres para una misma ventilación minuto (Dominelli & Sheel, 2023). Este fenómeno, conocido como *dysanapsis*, explica en parte la mayor resistencia al flujo aéreo y el incremento del trabajo de respiración observado en mujeres deportistas a intensidades submáximas (Molgat-Seon et al., 2018). Sin embargo, aún se desconoce si estas diferencias morfofuncionales se traducen en respuestas distintas en variables inspiratorias dinámicas como S-INDEX y PIF cuando se evalúan durante un test de esfuerzo específico de natación, ni cómo estas variables se relacionan con el rendimiento del salto o con indicadores de rendimiento acuático, como la velocidad crítica (CSS).

Por otro lado, la interacción entre la musculatura inspiratoria y el rendimiento neuromuscular ha sido objeto de creciente interés en el ámbito del entrenamiento y la fisiología aplicada. El diafragma y los músculos intercostales desempeñan un papel activo en la estabilización del tronco, facilitando la transmisión eficiente de fuerzas entre el tren superior e inferior (Kera & Maruyama, 2016). Estudios recientes han sugerido que una mayor fuerza inspiratoria se asocia con una mejor capacidad de salto y con una recuperación más rápida tras esfuerzos máximos, lo que refuerza la idea de una relación funcional entre la respiración y el rendimiento muscular global (Romer & Polkey, 2008; Lomax et al., 2022).

Pese a esta evidencia, existen pocos trabajos que analicen comparativamente la función inspiratoria y su relación con el rendimiento en nadadores hombres y mujeres. La mayoría de las investigaciones previas han agrupado las muestras por nivel competitivo o edad, sin considerar las diferencias de sexo como factor principal (Guenette et al., 2020). Este vacío limita la interpretación de los valores normativos de S-INDEXT y PIF y dificulta el desarrollo de programas de entrenamiento respiratorio adaptados a las necesidades fisiológicas de cada sexo.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar las diferencias entre hombres y mujeres en la fuerza y el flujo inspiratorio —medidos a través de S-INDEXT y PIF— y su relación con el CMJ durante un test de velocidad crítica (CSS) en nadadores jóvenes. Se planteó la hipótesis de que los hombres presentarían valores absolutos significativamente mayores de S-INDEXT y PIF, así como una correlación más alta entre estas variables y los indicadores de rendimiento neuromuscular, en comparación con las mujeres.

Método

Se llevó a cabo un estudio observacional de tipo transversal con medidas repetidas para analizar las diferencias por sexo en variables de S-INDEXT y PIF y CMJ durante un test de velocidad crítica (Critical Swim Speed, CSS). El protocolo se diseñó para examinar tanto los valores absolutos como las variaciones intraindividuales a lo largo de tres momentos de evaluación (pre, intermedia y post), así como las correlaciones entre los indicadores respiratorios y neuromusculares.

El diseño fue desarrollado siguiendo las directrices STROBE para estudios observacionales y conforme a los principios éticos de la Declaración de Helsinki.

Participantes

Treinta nadadores jóvenes (17 mujeres y 13 hombres) participaron voluntariamente en el estudio. El tamaño muestral se evaluó mediante un análisis de sensibilidad a priori con el software G*Power (v3.1.9.7), dado que el número de nadadores disponibles estuvo condicionado por la accesibilidad a deportistas federados durante el periodo de recogida. Para el contraste principal del estudio (ANOVA de medidas repetidas con interacción sexo \times tiempo, 2 grupos y 3 mediciones: E1-E3), se fijó $\alpha = 0,05$, potencia $(1-\beta) = 0,80$, una correlación esperada entre medidas repetidas de 0,50 y $\epsilon = 1$ (esfericidad asumida). Bajo estos supuestos, el tamaño muestral disponible ($n = 30$; 17 mujeres y 13 hombres) permite detectar de forma adecuada efectos de magnitud moderada a grande en el efecto de interacción (umbral mínimo detectable aproximado $f \geq 0,30$).

Los criterios de inclusión fueron: (a) estar federado y participar en competiciones regionales o nacionales; (b) realizar un mínimo de cinco sesiones semanales de entrenamiento acuático (≥ 6 h semanales); (c) no presentar lesiones musculoesqueléticas ni patología respiratoria en los tres meses previos al estudio; (d) no haber participado en programas de entrenamiento específico de musculatura inspiratoria durante los seis meses previos.

Los criterios de exclusión incluyeron: (a) diagnóstico de asma, bronquitis crónica u otra enfermedad respiratoria; (b) uso de medicación que afectase la función pulmonar; (c) omisión de alguna de las tres mediciones requeridas.

Las características generales de la muestra se presentan en la Tabla 1. No se observaron diferencias significativas entre grupos en edad ni experiencia competitiva, aunque sí en talla y masa corporal, lo que permitió calcular el índice de masa corporal (IMC) como covariable exploratoria.

Tabla 1. Características antropométricas y deportivas de la muestra

Variable	Hombres (n=13)	Mujeres (n=17)	Valor p
Edad (años)	17.2 \pm 2.1	16.9 \pm 2.3	0.68
Talla (cm)	178.0 \pm 7.8	165.2 \pm 6.4	<0.001
Masa corporal (kg)	70.8 \pm 8.3	59.4 \pm 7.2	<0.001
IMC (kg/m ²)	22.4 \pm 1.9	21.8 \pm 2.1	0.47
Experiencia (años)	9.1 \pm 2.5	8.8 \pm 3.0	0.79

Cm = centímetros; Kg = Kilogramos; Kg/m² = Kilogramos entre metros al cuadrado; Datos en media \pm DE; *Diferencias significativas ,p \leq 0.05.



Todos los participantes y sus tutores (en el caso de menores de edad) firmaron un consentimiento informado. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética del Club Natación Mairena del Aljarafe (Ref. 2022/5483).

Procedimiento

El protocolo experimental se llevó a cabo en una piscina cubierta de 25 m (temperatura del agua 27.5 °C, humedad relativa 60 %). Las sesiones se realizaron en horario matutino (entre 9:00 y 11:30 h) para minimizar el efecto del ritmo circadiano sobre la función neuromuscular y respiratoria. Antes de iniciar el test, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de 10 min que incluyó movilidad articular, respiraciones diafragmáticas submáximas y 200 m de nado libre a intensidad moderada (60–70 % del esfuerzo percibido).

Posteriormente, se desarrolló el test de CSS, consistente en dos esfuerzos máximos de 400 m y 100 m estilo libre, separados por un intervalo pasivo de 30 min para permitir la recuperación parcial. La velocidad crítica (CSS, en $m \cdot s^{-1}$) se estimó mediante la ecuación lineal:

$$CSS = \frac{D_2 - D_1}{t_2 - t_1}$$

donde D_1 y D_2 representan las distancias (100 y 400 metros) y t_1 , t_2 los tiempos registrados (en segundos).

Las mediciones se realizaron en tres momentos: E1 (pre-test): antes del inicio del test de 400 m, tras 5 min de reposo sentado; E2 (intermedia): inmediatamente después de completar los 400 m; E3 (post-test): tras finalizar los 100 m del CSS.

Las pruebas fueron realizadas por el mismo investigador con más de 5 años de experiencia en evaluación de fuerza respiratoria y rendimiento en natación. El coeficiente de correlación intraclase (ICC) calculado a partir de 10 mediciones piloto fue de 0.93 para S-INDEX y 0.95 para PIF, confirmando la fiabilidad test-retest del protocolo. Los participantes fueron instruidos para evitar ejercicio vigoroso, consumo de cafeína o bebidas energéticas y exposición a climas fríos en las 24 h previas.

Instrumentos

Fuerza y flujo inspiratorio

Las mediciones se realizaron con un dispositivo *PowerBreathe K5* (HaB International Ltd., Reino Unido), validado para la evaluación de la fuerza y la velocidad de flujo inspiratorio en deportistas (Lomax & McConnell, 2019). El S-INDEX (cmH_2O) se definió como la máxima presión inspiratoria alcanzada durante una inspiración forzada de 2–3 s desde volumen residual, y el PIF ($L \cdot s^{-1}$) como el flujo pico de esa misma inspiración. Cada sujeto realizó tres intentos válidos, registrándose el mejor valor alcanzado. El software *BreatheLink v1.1* permitió el almacenamiento y análisis de las curvas de presión-tiempo y flujo-tiempo.

Rendimiento neuromuscular

El rendimiento del salto se evaluó mediante un test de CMJ empleando la aplicación MyJump2 (Apple Inc., España), validada para la medición de la altura de salto con una fiabilidad interevaluador > 0.97 (Gallardo-Fuentes et al., 2016). Los participantes realizaron tres saltos máximos con un descanso de 45 segundos entre ellos, seleccionándose el valor más alto.

Velocidad crítica

La CSS se determinó a partir de los tiempos oficiales cronometrados por jueces experimentados utilizando cronómetros digitales Seiko S141 (precisión ± 0.01 s).

Variables antropométricas

La talla se midió con estadiómetro Seca 213 (precisión 0.1 cm) y la masa corporal con báscula digital Tanita BC-730 (precisión 0.1 kg). Con ambos parámetros se calculó el índice de masa corporal (IMC, kg/m^2).



Análisis de datos

Los datos fueron analizados con el software IBM SPSS Statistics v.29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Se verificó la normalidad de las distribuciones mediante la prueba de Shapiro–Wilk y la homogeneidad de varianzas con Levene. Dado que la mayoría de las variables presentaron una distribución normal, se aplicaron análisis paramétricos. Se realizó un ANOVA mixto de dos factores (sexo × tiempo) con medidas repetidas en el segundo factor para comparar los valores de S-INDEX, PIF y CMJ a lo largo de las tres mediciones (E1–E3). En caso de interacción significativa, se realizaron comparaciones post hoc con corrección de Bonferroni. El tamaño del efecto se expresó como η^2 parcial, interpretándose como pequeño (0.01–0.06), moderado (0.06–0.14) o grande (>0.14).

Asimismo, se calcularon correlaciones de Pearson (r) entre S-INDEX, PIF, CMJ y CSS para cada sexo por separado, reportándose además intervalos de confianza del 95%. La magnitud de las correlaciones se clasificó como débil (0.10–0.39), moderada (0.40–0.69) o fuerte (≥ 0.70) (Cohen, 1988). El nivel de significación estadística se estableció en $p \leq 0.05$. Todos los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (DE).

El nivel de significación estadística se estableció en $p \leq 0.05$. Todos los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (DE).

Resultados

La Tabla 2 muestra las diferencias por sexo e interacción del tiempo para las variables inspiratorias analizadas en los tres momentos evaluados. El análisis de medidas repetidas mostró un efecto principal del sexo significativo en ambas variables inspiratorias. Los hombres presentaron valores consistentemente superiores de S-INDEX ($F(1,28) = 45.7, p < 0.001, \eta^2 p = 0.62$) y PIF ($F(1,28) = 53.2, p < 0.001, \eta^2 p = 0.65$).

Asimismo, se observó un efecto del tiempo moderado en S-INDEX ($F(2,56) = 3.42, p = 0.042, \eta^2 p = 0.11$) y PIF ($F(2,56) = 3.22, p = 0.049, \eta^2 p = 0.10$). El análisis post hoc reveló un incremento significativo entre E1 y E2 ($p = 0.031$), sin diferencias entre E2 y E3 ($p = 0.72$), indicando una adaptación funcional más que una fatiga inspiratoria. No se detectó interacción sexo × tiempo significativa en S-INDEX ($F(2,56) = 1.38, p = 0.26$) ni en PIF ($F(2,56) = 1.05, p = 0.35$), lo que sugiere un patrón de respuesta temporal similar en ambos grupos.

Tabla 2. Valores medios de S-INDEX y PIF en los tres momentos de evaluación.

Variable	Momento	Hombres	Mujeres	p (sexo)	p (tiempo)
S-INDEX (cmH ₂ O)	E1	135 \pm 31.1	85.0 \pm 13.7	<0.001	0.042*
	E2	148 \pm 32.3	87.0 \pm 12.7	<0.001	
	E3	147 \pm 31.0	85.5 \pm 16.1	<0.001	
PIF (L·s ⁻¹)	E1	7.36 \pm 1.38	4.86 \pm 0.75	<0.001	0.049*
	E2	7.98 \pm 1.60	4.96 \pm 0.69	<0.001	
	E3	7.95 \pm 1.43	4.88 \pm 0.86	<0.001	

cmH₂O = centímetros de agua; L·s⁻¹ = litros entre segundos; Valores en media \pm DE; *Diferencias significativas, $p \leq 0.05$.

Por otro lado, la Figura 1 muestra la evolución de S-INDEX y PIF a lo largo de las tres mediciones. En ambos sexos se aprecia un incremento inicial entre E1 y E2 seguido de estabilización, con valores consistentemente más altos en los hombres.

Figura 1. Evolución del S-INDEX y PIF durante los tres momentos evaluados.

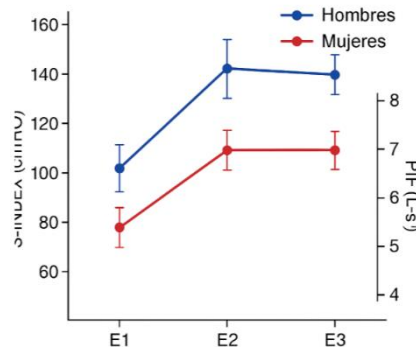
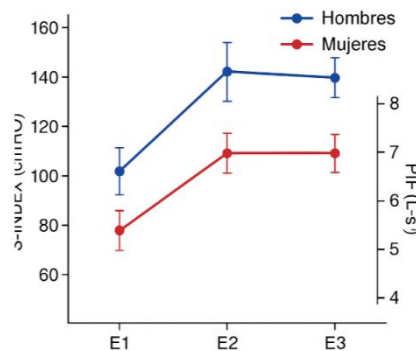


Figure 2. Number of visibility and gender firstness in PE Textbooks from Grade 2.



El análisis del CMJ evidenció diferencias significativas por sexo en todas las mediciones (Tabla 3) ($F(1,28) = 19.8$, $p < 0.001$, $\eta^2 p = 0.41$). La altura de salto fue mayor en hombres (E1: 33.8 ± 5.4 cm; E3: 31.8 ± 5.6 cm) que en mujeres (E1: 27.0 ± 6.0 cm; E3: 25.4 ± 5.6 cm).

El efecto del tiempo fue significativo ($F(2,56) = 8.63$, $p < 0.001$, $\eta^2 p = 0.24$), reflejando una reducción de la altura de salto entre E2 y E3 en ambos sexos ($p = 0.003$). No se halló interacción sexo \times tiempo significativamente ($F(2,56) = 1.09$, $p = 0.34$).

Tabla 3. Altura de salto (CMJ) en las tres mediciones (media \pm DE)

Variable	Momento	Hombres	Mujeres	p (sexo)	p (tiempo)
Altura (cm)	E1	33.8 ± 5.4	27.0 ± 6.0	<0.001	<0.001
	E2	34.7 ± 5.7	27.3 ± 5.8	<0.001	
	E3	31.8 ± 5.6	25.4 ± 5.6	<0.001	

Cm = centímetros; $p \leq 0.05$

En el conjunto total de la muestra, tanto S-INDEX como PIF mostraron asociaciones positivas moderadas con la altura del CMJ y con la CSS (Tabla 4). En particular, S-INDEX se asoció con la altura del CMJ ($r = 0.48$, $p = 0.007$) y con la CSS ($r = 0.53$, $p = 0.003$), mientras que PIF se asoció con la altura del CMJ ($r = 0.49$, $p = 0.007$) y con la CSS ($r = 0.55$, $p = 0.002$).

Tabla 4. Correlación de S-INDEX y PIF con CMJ en función del sexo.

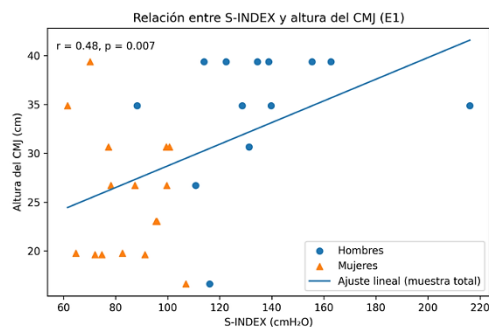
Sexo	Variable	CMJ altura (r [IC95%])	p	CSS (r [IC95%])	p
Total (n=30)	S-INDEX	0.48 [0.15, 0.72]	0.007*	0.54 [0.22, 0.75]	0.002*
Total (n=30)	PIF	0.49 [0.15, 0.72]	0.007*	0.56 [0.25, 0.77]	0.001*
Hombres (n=13)	S-INDEX	0.26 [-0.34, 0.71]	0.399	0.10 [-0.48, 0.62]	0.741
Hombres (n=13)	PIF	0.28 [-0.32, 0.72]	0.353	0.13 [-0.46, 0.63]	0.684
Mujeres (n=17)	S-INDEX	-0.23 [-0.64, 0.28]	0.377	0.24 [-0.27, 0.65]	0.350
Mujeres (n=17)	PIF	-0.24 [-0.65, 0.27]	0.353	0.25 [-0.27, 0.65]	0.343

*Diferencias significativas, $p < 0.05$; IC=intervalo de confianza

No obstante, al estratificar por sexo, estas asociaciones no alcanzaron significación estadística en ninguno de los grupos.

Con el objetivo de visualizar de forma sintética la asociación principal, se presenta gráficamente la relación entre S-INDEX y la altura del CMJ, diferenciando por sexo (Figura 3). A nivel global se aprecia una tendencia ascendente, coherente con la correlación observada en el conjunto de la muestra, si bien con dispersión considerable dentro de cada grupo.

Figura 3. Relación entre S-INDEX y altura del CMJ con puntos diferenciados por sexo y línea de ajuste para la muestra total.



Con el fin de valorar si las diferencias antropométricas entre sexos podían sobredimensionar las diferencias observadas en los parámetros inspiratorios, se llevó a cabo un análisis complementario (Suplemento 1), en el que S-INDEX y PIF fueron reexpresados de forma relativa a la masa corporal y a la talla utilizando las medias antropométricas de la muestra. Este análisis descriptivo mostró que las diferencias por sexo se atenúan parcialmente tras la normalización, pero permanecen consistentes en los tres momentos de evaluación, lo que sugiere que la antropometría contribuye a las diferencias absolutas, aunque no las explica de manera exclusiva.

Discusión

La principal aportación de este estudio es la demostración de diferencias claras entre hombres y mujeres en los indicadores de musculatura inspiratoria como el S-INDEX y PIF en jóvenes nadadores competitivos, junto con la descripción de su comportamiento temporal durante un protocolo de velocidad crítica (400 m + 100 m). Los hombres mostraron valores absolutos de S-INDEX y PIF significativamente superiores en los tres momentos del test, mientras que ambos sexos compartieron un patrón temporal similar, con incremento entre la evaluación previa (E1) y la intermedia (E2) y posterior estabilización en la evaluación final (E3). Paralelamente, la altura de salto en el CMJ fue mayor en los varones, y el descenso observado al finalizar el protocolo sugiere que, en las condiciones de este test, la limitación neuromuscular periférica fue más manifiesta que una hipotética fatiga de la musculatura inspiratoria.

Las diferencias observadas en S-INDEX y PIF entre sexos se insertan en un marco de dimorfismo anatómico y funcional ampliamente descrito. En general, los varones presentan mayores volúmenes pulmonares y menor resistencia de las vías aéreas, lo que facilita la generación de mayores flujos y presiones inspiratorias, incluso en población deportista (Dominelli et al., 2019). En esta línea, nuestros valores medios de S-INDEX (~135 cmH₂O en hombres y ~85 cmH₂O en mujeres) son comparables a los descritos en revisiones sobre fuerza inspiratoria en poblaciones deportivas, donde se reportan diferencias absolutas del 30–40% a favor de los varones (Caruso et al., 2015). De forma coherente, en una muestra de 52 nadadores se observaron diferencias significativas por sexo en variables respiratorias relevantes, incluyendo PIF, junto con variaciones asociadas al estilo de nado y la distancia en parámetros espirométricos como FEV₁ y FVC (Stavrou et al., 2018).

No obstante, conviene subrayar que en el presente trabajo S-INDEX y PIF se analizaron en términos absolutos, sin normalizarlos por masa corporal, talla, volúmenes pulmonares o área de sección torácica. Es probable que una parte sustancial de las diferencias por sexo observadas en estos indicadores se

deba precisamente a estas variables antropométricas. En el análisis complementario (Suplemento 1), se sugiere que, aunque la antropometría contribuye a las diferencias absolutas, el efecto por sexo no parece explicarse únicamente por el tamaño corporal, siendo coherente con el objetivo del estudio de describir perfiles diferenciales por sexo en nadadores jóvenes.

En relación con la fatiga de la musculatura inspiratoria, algunos trabajos han descrito diferencias de fatigabilidad en función del contexto y la carga ventilatoria, incluyendo escenarios donde determinadas condiciones pueden incrementar la propensión a desarrollar fatiga diafragmática (Molgat-Seon et al., 2018). En nuestro estudio, la ausencia de un descenso significativo de S-INDEX y PIF en E3 pese a la demanda del protocolo sugiere que, en nadadores jóvenes, el estímulo ventilatorio impuesto por el test 400 m + 100 m no fue suficiente para provocar una fatiga inspiratoria detectable con estas métricas, mientras que el CMJ sí reflejó un deterioro neuromuscular. Esta disociación apoya que, bajo estas condiciones, el componente periférico locomotor podría ser más sensible para detectar carga aguda.

Respecto a la relación entre capacidad inspiratoria y rendimiento, nuestros resultados muestran asociaciones positivas moderadas y significativas entre S-INDEX/PIF y el CMJ y la CSS cuando se analiza el conjunto total de la muestra. Sin embargo, al estratificar por sexo, las asociaciones no alcanzaron significación estadística, con intervalos de confianza amplios, lo que sugiere que las inferencias por subgrupos deben interpretarse con prudencia y que se requieren muestras mayores para precisar si existen diferencias reales entre sexos en la magnitud de estas asociaciones. En cualquier caso, el patrón global es compatible con la hipótesis de que una mayor capacidad inspiratoria puede actuar como marcador funcional asociado al rendimiento, si bien, por el diseño correlacional, no permite establecer relaciones causales.

Desde un punto de vista aplicado, estos hallazgos respaldan el interés de la espirometría inspiratoria dinámica (S-INDEX y PIF) como herramienta complementaria para la monitorización del estado funcional en natación, especialmente cuando se interpreta longitudinalmente y en combinación con indicadores neuromusculares como el CMJ. Asimismo, la literatura sugiere que los programas de entrenamiento de musculatura inspiratoria (IMT) pueden mejorar el rendimiento en pruebas de 100–200 m, reducir la disnea percibida y retrasar la fatiga (Karsten et al., 2018; Yáñez-Sepúlveda et al., 2021). En este contexto, futuros ensayos controlados deberían determinar si mejoras en S-INDEX/PIF se traducen en cambios de rendimiento en piscina y si estos efectos dependen de variables como el sexo, la distancia predominante o factores técnicos, que en nadadores pueden explicar una parte sustancial de la variabilidad del rendimiento (Strzała et al., 2022). La mayor magnitud de las correlaciones en hombres puede interpretarse como un indicio de que, en este grupo, el rendimiento está más estrechamente ligado a la capacidad de fuerza global, incluido el componente respiratorio. En mujeres, el peso relativo de la musculatura inspiratoria dentro del perfil de rendimiento podría ser menor, dejando más espacio a factores como la eficiencia técnica, la economía de nado o la capacidad aeróbica relativa. Esto es congruente con trabajos que muestran que, en nadadoras, variables técnicas como la frecuencia y longitud de brazada explican una proporción muy alta de la variabilidad del rendimiento, en ocasiones superior a la explicada por indicadores de fuerza o potencia en seco (Strzała et al., 2022).

Finalmente, los resultados indican que la musculatura inspiratoria constituye un componente relevante del perfil de rendimiento en nadadores jóvenes, y que su evaluación mediante S-INDEX y PIF proporciona información útil para el control de la carga y la individualización del entrenamiento. En el conjunto de la muestra, ambos índices se asociaron de forma moderada con el rendimiento neuromuscular y con el rendimiento específico en el agua, lo que respalda su utilidad como marcadores prácticos cuando se interpretan de manera integrada con otras medidas de rendimiento. Al mismo tiempo, las diferencias por sexo observadas en valores absolutos ponen de manifiesto la necesidad de interpretar estos indicadores de forma contextualizada, evitando comparaciones directas entre hombres y mujeres y priorizando, en su aplicación, referencias específicas (por sexo y/o expresadas en términos relativos), así como el seguimiento longitudinal individual.

Conclusiones

El presente estudio muestra diferencias significativas entre hombres y mujeres en la fuerza y el flujo inspiratorio evaluados mediante S-INDEX y PIF en nadadores jóvenes competitivos, con valores absolutos consistentemente más elevados en el grupo masculino. En ambos sexos, S-INDEX y PIF aumentaron entre la evaluación inicial (E1) y la intermedia (E2), estabilizándose posteriormente en E3, sin evidencias de fatiga inspiratoria aguda asociada al protocolo de velocidad crítica. En contraste, el rendimiento neuromuscular evaluado mediante CMJ mostró una reducción significativa al final del test, lo que sugiere que, en estas condiciones (400 m + 100 m), la carga inducida es más manifiesta a nivel neuromuscular periférico que a nivel ventilatorio.

En el conjunto total de la muestra, S-INDEX y PIF se asociaron de forma moderada y significativa con el CMJ y con la CSS, apoyando su utilidad como indicadores funcionales complementarios relacionados con el rendimiento. Sin embargo, al estratificar por sexo, estas asociaciones no alcanzaron significación estadística, por lo que la interpretación de relaciones específicas por subgrupos debe realizarse con cautela. En términos aplicados, estos resultados refuerzan la conveniencia de considerar el sexo en la interpretación de valores absolutos de S-INDEX y PIF, y sugieren que el uso de indicadores inspiratorios dinámicos puede contribuir a la monitorización del estado respiratorio y a la individualización del control de la carga cuando se integran con otras medidas de rendimiento.

Limitaciones

Este estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, el tamaño muestral relativamente reducido ($n = 30$) y la distribución desigual entre sexos limitan la potencia estadística para detectar interacciones complejas y reducen la generalización de los hallazgos a poblaciones de diferente edad, nivel competitivo o modalidad de nado. Aunque los tamaños del efecto observados fueron grandes para las diferencias principales, futuros estudios con muestras más amplias y estratificadas por categorías competitivas y madurativas son necesarios para consolidar los rangos de referencia por sexo.

En segundo lugar, las mediciones de S-INDEX y PIF se analizaron en valores absolutos, sin normalización respecto a masa corporal, superficie torácica o volumen pulmonar. Dado que parte de las diferencias entre hombres y mujeres en fuerza inspiratoria pueden atribuirse al tamaño corporal, la ausencia de una corrección morfofuncional podría sobreestimar la magnitud del dimorfismo sexual observado.

Una tercera limitación se refiere a la naturaleza transversal y de laboratorio del protocolo. Aunque el test de CSS es una herramienta validada y ampliamente utilizada para estimar el rendimiento aeróbico en natación, no permite extrapolar directamente los resultados a condiciones de competición real ni a distancias superiores. La inclusión de pruebas más prolongadas o de series repetidas podría haber revelado la aparición de fatiga inspiratoria o diferencias de sexo en la resistencia ventilatoria sostenida.

Otra limitación metodológica radica en la no consideración del ciclo menstrual y del estado hormonal en las participantes femeninas. La literatura reciente señala que las fluctuaciones de estrógenos y progesterona pueden modificar la sensibilidad quimiorreceptora y la mecánica ventilatoria, afectando potencialmente la función respiratoria, la respuesta al esfuerzo y, en consecuencia, el rendimiento (Guenette et al., 2020). En este sentido, no se controló la fase del ciclo menstrual, lo que introduce una fuente potencial de variabilidad intra e interindividual en el grupo femenino y podría influir en la magnitud de algunas comparaciones por sexo. Aunque se procuró estandarizar las condiciones de evaluación (horario, calentamiento y entorno) y la muestra presentó características de entrenamiento relativamente homogéneas, no es posible descartar que parte de la variación observada esté mediada por diferencias en el estado hormonal. Por ello, futuros estudios deberían registrar y estratificar la fase del ciclo (o emplear métodos de verificación hormonal cuando sea posible) y, en su caso, considerar el uso de anticonceptivos hormonales como factor de control, con el fin de mejorar la precisión en la interpretación de las diferencias fisiológicas entre sexos.

Finalmente, la evaluación neuromuscular mediante CMJ proporciona un indicador indirecto de la fatiga y de la potencia global, pero no discrimina entre contribuciones centrales y periféricas ni entre grupos

musculares específicos. La inclusión de otras pruebas complementarias como mediciones de fuerza isocinética, electromiografía de miembros inferiores o evaluación de la cinemática subacuática habría aportado una visión más completa de la relación entre función inspiratoria y rendimiento locomotor.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Club Natación Mairena del Aljarafe.

Financiación

Ninguna.

Referencias

- Arsoniadis, G. G., Nikitakis, I. S., Botonis, P. G., Malliaros, I., & Toubekis, A. G. (2020). Validating Physiological and Biomechanical Parameters during Intermittent Swimming at Speed Corresponding to Lactate Concentration of 4 mmol·L⁻¹. *Sports (Basel, Switzerland)*, 8(2), 23. <https://doi.org/10.3390/sports8020023>
- Brown, P. I., Johnson, M. A., Sharpe, G. R., & McConnell, A. K. (2023). Inspiratory muscle training in competitive athletes: Physiological basis and practical applications. *Sports Medicine*, 53(1), 45–60. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01794-9>
- Caruso, P., Albuquerque, A. L., Santana, P. V., Cardenas, L. Z., Ferreira, J. G., Prina, E., ... & Pletsch, R. (2015). Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 41(2), 110–123. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000004544>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Dominelli, P. B., & Sheel, A. W. (2023). The influence of sex on respiratory mechanics and the work of breathing during exercise. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1122851. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1122851>
- Dominelli, P. B., Molgat-Seon, Y., Bingham, D., Swartz, P. M., Road, J. D., Foster, G. E., & Sheel, A. W. (2019). Dysanapsis and the sex difference in maximal airway flow in humans. *Journal of Applied Physiology*, 127(2), 365–372. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00248.2019>
- Feria-Madueño, A., Batalha, N., Monterrubio-Fernández, G., & Parraca, J. A. (2024). Exploring indicators for training load control in young swimmers: The role of inspiratory spirometry outcomes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(1), 53. <https://doi.org/10.3390/jfmk9010053>
- Funai, Y., Taba, S., Kanegawa, Y., Taimura, A., & Matsunami, M. (2025). Biophysical analyses of various interval training sets at critical swimming velocity. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 65(2), 163–170. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.24.15931-2>
- Gallardo-Fuentes, F., et al. (2016). Reliability and validity of the MyJump app for measuring vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2579–2584. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001316>
- Guenette, J. A., & Sheel, A. W. (2007). Physiological consequences of a high work of breathing during heavy exercise in humans. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(6), 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.02.002>
- Guenette, J. A., Romer, L. M., & Dominelli, P. B. (2020). Sex differences in the human respiratory system and exercise responses. *Comprehensive Physiology*, 10(4), 947–967. <https://doi.org/10.1002/cphy.c190033>
- Karsten, M., Ribeiro, G. S., Esquivel, M. S., & Matte, D. L. (2018). The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on athletic performance: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 34, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.09.001>
- Kera, T., & Maruyama, H. (2016). The effect of inspiratory muscle fatigue on trunk muscle activity during dynamic postural control. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 28, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.03.006>

- Lomax, M., Davis, M., & McConnell, A. K. (2022). Inspiratory muscle strength and fatigue in elite swimmers: Implications for training and performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 32(8), 1307–1317. <https://doi.org/10.1111/sms.14212>
- Lomax, M., & McConnell, A. K. (2019). Inspiratory muscle fatigue in swimmers: The effect of breathing pattern. *European Journal of Applied Physiology*, 119(5), 1143–1151. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04106-9>
- Mickleborough, T. D., Nichols, T., Lindley, M. R., Chatham, K., & Enright, S. (2010). Inspiratory flow resistive loading improves respiratory muscle function and endurance capacity in recreational runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(3), 458–469. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00957.x>
- Molgat-Seon, Y., Dominelli, P. B., Ramsook, A. H., Schaeffer, M. R., Guenette, J. A., & Sheel, A. W. (2018). Sex differences in the resistive and elastic work of breathing during exercise in healthy adults. *Journal of Applied Physiology*, 124(5), 1421–1430. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01078.2017>
- Nahar, N., González-Jurado, J. A., Fernandes da Silva, S., & Sánchez-Oliver, A. J. (2025). Análisis del rendimiento en jóvenes nadadores tras un entrenamiento de alto volumen de 12 semanas. *Sportis. Scientific Journal of School Sport, Physical Education and Psychomotricity*, 11(2), 1–25. <https://doi.org/10.17979/sportis.2025.11.2.11344>
- Nahar, N.; Sanchez-Oliver, A. J.; González-Jurado, J. A. (2025). Effects of low-volume, highintensity training program on sport performance in competitive young swimmers. *Journal of Sport and Health Research*. 18(1):107-121. <https://doi.org/10.58727/jshr.113735>
- Päivinen, M., Keskinen, K., & Tikkanen, H. (2021). Swimming-induced changes in pulmonary function: special observations for clinical testing. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 13(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00277-1>
- Pérez-Olea, J. I., Valenzuela, P. L., Aponte, C., & Izquierdo, M. (2018). Relationship between dry-land strength and swimming performance: Pull-up mechanics as a predictor of swimming speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1637–1642. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002058>
- Rizzato, A., Marcolin, G., Rubini, A., Olivato, N., Fava, S., Paoli, A., & Bosco, G. (2018). Critical velocity in swimmers of different ages. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 58(10), 1398–1402. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07570-3>
- Romer, L. M., & Polkey, M. I. (2008). Exercise-induced respiratory muscle fatigue: Implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, 104(3), 879–888. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01157.2007>
- Sheel, A. W., Boushel, R., & Dempsey, J. A. (2018). Competition for blood flow distribution between respiratory and locomotor muscles: Implications for muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 125(3), 820–831. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01050.2017>
- Stavrou, V., Vavougiou, G., Karetsi, E., Adam, G., Daniil, Z., & Gourgoulianis, K. I. (2018). Evaluation of respiratory parameters in finswimmers regarding gender, swimming style and distance. *Respiratory physiology & neurobiology*, 254, 30–31. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2018.04.003>
- Strzała, M., Stanula, A., Krezalek, P., & Maciejczyk, M. (2022). Correlations between crawl kinematics and speed with morphologic, functional, and anaerobic parameters in competitive swimmers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 4595. <https://doi.org/10.3390/ijerph19094595>
- Voliotis, S., Kasahara, K., Dempsey, J. A., & Romer, L. M. (2021). Sex differences in respiratory muscle fatigue: The role of the metaboreflex. *Experimental Physiology*, 106(8), 1603–1614. <https://doi.org/10.1113/EP089706>
- Yáñez-Sepúlveda, R., Alvear-Ordenes, I., Tapia-Guajardo, A., Verdugo-Marchese, H., Cristi-Montero, C., & Tuesta, M. (2021). Inspiratory muscle training improves the swimming performance of competitive young male sprint swimmers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 61(10), 1348–1353. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11447-0>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:



Germán Monterrubio Fernández
Borja Sañudo Corrales
Adrián Feria Madueño

gmonterrubio@ceu.es
bsancor@us.es
aferia1@us.es

Autor
Autor
Autor

