

## Comparación de 2 métodos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC

Víctor Bustamante Madariaga<sup>a,b</sup>, Juan B. Gáldiz Iturri<sup>b,c</sup>, Amaia Gorostiza Manterola<sup>c</sup>, Jesús Camino Buey<sup>c</sup>, Nancy Talayero Sebastián<sup>c</sup> y Víctor Sobradillo Peña<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Servicio de Neumología. Hospital de Basurto. Osakidetza. Vizcaya. España.

<sup>b</sup>Departamento de Medicina. Facultad de Medicina. Universidad del País Vasco. Leioa. Bizkaia. España.

<sup>c</sup>Servicio de Neumología. Hospital de Cruces. Osakidetza. Barakaldo. Vizcaya. España.

**OBJETIVO:** Con el objetivo de comparar el entrenamiento muscular respiratorio (EMR) con dispositivos de umbral de presión (U) y de carga resistiva (CR) en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), se ha diseñado un estudio prospectivo y aleatorizado que incluyó ambas modalidades y un grupo control (C).

**PACIENTES Y MÉTODOS:** Los 33 pacientes con EPOC grave-moderada incluidos se asignaron aleatoriamente a realizar entrenamiento en el domicilio con un dispositivo de U, de CR o un nivel mínimo de ambos durante 6 semanas, a razón de 2 sesiones diarias de 15 min. En los grupos U (n = 12) y CR (n = 11) se ajustó semanalmente la carga hasta la máxima tolerada como estrategia más equitativa para no favorecer a ningún grupo. Se exploraron medidas de función respiratoria, musculares y de calidad de vida antes y después del EMR y se compararon los patrones de presión en el entrenamiento.

**RESULTADOS:** Mejoraron las presiones inspiratorias máximas y las puntuaciones del cuestionario para enfermedad respiratoria crónica (CRQ) en U y CR respecto a C: la presión inspiratoria estática máxima pasó de 86 a 104,25 cmH<sub>2</sub>O (p < 0,01) en el grupo U, y de 91,36 a 105,7 cmH<sub>2</sub>O (p < 0,01) en CR, que fue el grupo que presentó mayores incrementos en áreas de calidad de vida del CRQ. La diferencia respecto a la disnea fue de 3 puntos en CR, de 2,58 en U y de 2,5 en C. Se observaron diferencias significativas entre grupos en el ciclo respiratorio durante el EMR (de 0,31 en U, frente a 0,557 de CR), si bien las mayores presiones pico y media en U rindieron índices presión-tiempo finales equivalentes: de 0,11 en U y de 0,11 en CR.

**CONCLUSIONES:** Mediante el reajuste de carga se consiguieron intensidades de entrenamiento equivalentes con patrones de presión diferentes. Nuestro planteamiento demostró la eficacia de un EMR no controlado, pero no la superioridad de una modalidad de entrenamiento sobre otra.

**Palabras clave:** Entrenamiento muscular respiratorio. EPOC. Músculos respiratorios. Calidad de vida. Rehabilitación.

## Comparison of 2 Methods for Inspiratory Muscle Training in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease

**OBJECTIVE:** The aim of this study was to compare the use of threshold and resistive load devices for inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). A randomized prospective trial was designed to compare use of the 2 devices under training or control conditions.

**PATIENTS AND METHODS:** Thirty-three patients with moderate or severe COPD were randomly assigned to home treatment with a threshold device, a resistive load device, or a control situation in which either of those devices was maintained at a minimum load throughout the study. Training was performed daily in 2 sessions of 15 minutes each for 6 weeks. In the patients who underwent training with threshold (n=12) and resistive load (n=11) devices, the loads used were adjusted weekly until the maximum tolerated load was reached to ensure that the interventions were as equivalent as possible. Respiratory function, respiratory muscle function, and quality of life were assessed before and after training and the different inspiratory pressure profiles were compared between training groups.

**RESULTS:** Both peak inspiratory pressure and scores on the Chronic Respiratory Questionnaire (CRQ) improved in the groups that received inspiratory muscle training compared with control subjects: maximal static inspiratory pressure increased from 86 cmH<sub>2</sub>O to 104.25 cmH<sub>2</sub>O (P<.01) in the threshold device group and from 91.36 cmH<sub>2</sub>O to 105.7 cmH<sub>2</sub>O (P<.01) in the resistive load device group. The resistive load group showed the largest increase in CRQ quality-of-life scores. Differences between the dyspnea score on the CRQ at the beginning and end of the training period were as follows: 3 points in the resistive load group, 2.58 in the threshold group, and 2.5 in the control group. Significant differences in duty cycle measured during training sessions were observed between groups at the end of training (0.31 in the threshold group and 0.557 in the resistive load group), but the mean pressure-time index was similar (0.11) in both groups because of the greater peak and mean inspiratory pressures in the threshold device group.

**CONCLUSIONS:** Load readjustment allowed equivalent training intensities to be achieved with different inspiratory pressure profiles. Our study demonstrated the effectiveness of inspiratory muscle training without control of breathing pattern but showed no superiority of one training method over another.

**Key words:** Respiratory muscle training. COPD. Respiratory muscles. Quality of life. Rehabilitation.

Correspondencia: Dr. V. Bustamante Madariaga.  
Servicio de Neumología. Hospital de Basurto.  
Avda. Montevideo, 18. 48013 Bilbao. España.  
Correo electrónico: VICTOR.BUSTAMANTE@HBASURTO.Osakidetza.net  
Recibido: 30-5-2006; aceptado para su publicación: 7-11-2006.

## Introducción

La limitación ventilatoria de los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es la consecuencia de una mecánica respiratoria desfavorable. La relación entre sobrecarga de los músculos inspiratorios y la percepción de retroalimentación periférica es interpretada neuropsicológicamente por el paciente como disnea<sup>1-3</sup>, el síntoma con mayor impacto en su vida diaria. Incrementar la fuerza y resistencia de los músculos debería, en teoría, mejorar la capacidad de los pacientes con EPOC para realizar actividades físicas y, como consecuencia, ofrecerles una mejor calidad de vida. Por ello el entrenamiento muscular inspiratorio ha sido objeto de discusión como un método posible de rehabilitación para estos pacientes. Los metaanálisis de Smith et al<sup>4</sup> y Lötters et al<sup>5</sup>, así como las publicaciones de otros grupos de expertos<sup>6,7</sup>, han establecido un grado de evidencia B para esta medida en pacientes con EPOC. Sin embargo, teniendo en cuenta las grandes discrepancias metodológicas entre estudios, a partir de Smith et al<sup>4</sup> se establece que sólo los estudios con "entrenamiento controlado" garantizaban la efectividad del entrenamiento, una condición muy limitante para difundir el uso generalizado de este tratamiento.

Sobre la base de los principios generales de entrenamiento<sup>8,9</sup>, parece que la ausencia de carga muscular suficiente debe de ser la explicación más plausible de la ineficacia de los protocolos no controlados. Además, la posibilidad de cargar los músculos con dispositivos de carga resistiva o de umbral de presión añade más complejidad a esta cuestión. Pese a que se han publicado estudios funcionales exhaustivos<sup>10</sup> que diferencian las características del entrenamiento en términos de velocidad de contracción, presión y tiempo, no existe correspondencia conocida de valores de carga, y tampoco hay estudios adecuados que comparen ambos métodos, como queda de manifiesto en el documento sobre reha-

bilitación de la American Thoracic Society<sup>6</sup>. Nuestra hipótesis es que la carga máxima de entrenamiento que el paciente fuese capaz de sostener sería un índice representativo y un parámetro no sujeto a ningún prejuicio de equivalencia de intensidad.

Así pues, nos propusimos realizar un estudio con carga no controlada pero supervisada para permitir el uso libre de los dispositivos de entrenamiento por pacientes con EPOC, evitando que la carga fuera insuficiente mediante su reajuste periódico, a fin de poder observar las adaptaciones del paciente al dispositivo utilizado de forma libre.

## Pacientes y métodos

Se ha realizado un estudio aleatorizado y comparativo con grupo control.

### Pacientes

Se incluyó en el estudio a 34 pacientes con diagnóstico de EPOC moderada-grave, procedentes de las consultas ambulatorias del área de cobertura de nuestro hospital. Los candidatos se encontraban clínicamente estables durante el mes anterior a la inclusión en el estudio. Se consideraron criterios de exclusión la presencia de hipoxemia grave (presión arterial de oxígeno < 60 mmHg), diagnóstico de asma, enfermedad coronaria, metabólica crónica, enfermedades ortopédicas, cirugía previa torácica o abdominal reciente, así como tratamiento corticoide, hormonal o quimioterapia. El estudio fue aprobado por el Comité Ético del hospital. Los pacientes se distribuyeron en 3 grupos: a) entrenamiento con dispositivo umbral (grupo U; n = 12); b) entrenamiento con carga resistiva (grupo CR; n = 11), y grupo control (C; n = 10). Las características de los pacientes se muestran en la tabla I. La duración del período de entrenamiento fue de 6 semanas.

### Sistemas de entrenamiento

Se utilizaron 2 sistemas de entrenamiento:

1. *Dispositivo umbral* (Inspiratory Pressure Threshold Device®, Threshold, Healthscan, Cedar Grove, NJ, EE.UU.). Es un dispositivo inspiratorio que puede ajustarse mediante la tensión de un muelle o resorte. La tensión del muelle determina la apertura de la válvula a una presión prefijada, con un rango entre 0 y 45 cm de agua. El dispositivo está concebido para que no haya flujo significativo por debajo del valor umbral; una vez superado éste y abierta la válvula, la resistencia lineal al incremento de flujo debe ser inapreciable (fig. 1).

2. *Dispositivo de carga resistiva* (PFlex® resistive trainer, Respironics HealthScan Inc., Cedar Grove, Nueva Jersey). Cuenta con 6 resistencias inspiratorias u orificios que adaptan la entrada del aire al cuerpo del dispositivo. Los diámetros medidos fueron de 0,45 mm (orificio 6), de 1,9 mm (orificio 5), de 2,7 mm (orificio 4), de 3,5 mm (orificio 3), de 4,5 mm (orificio 2) y de 5,35 mm (orificio 1). Estas resistencias no lineales condicionan curvas parabólicas de presión-flujo (fig. 1).

La limitación progresiva al incremento de flujo se ajusta a expresiones del tipo:  $Fl (pr) = a \sqrt{pr}$  (donde *Fl* significa flujo y *pr*, presión), cada nivel (orificio) caracterizado por un valor diferente de *a* (fig. 1).

En la figura 1 se representan gráficamente la presión y el flujo en los dispositivos conectados a una bomba de vacío, capaz de generar flujos estables. Para dicha medida se empleó el programa LABDAT-ANADAT (RHT-Infodat Inc., Montreal, Quebec, Canadá).

TABLA I

**Características iniciales de los pacientes en los 3 grupos: datos generales, función respiratoria, gases arteriales y función muscular respiratoria**

Parámetro	Grupo U (n = 12)	Grupo CR (n = 11)	Controles (n = 10)
Edad (años)	62 ± 13,7	66 ± 7,2	61,5 ± 8,6
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	26,03 ± 3,46	28,03 ± 4,08	26,9 ± 4,41
FVC (l)	3,16 ± 0,52	3,31 ± 0,71	2,9 ± 0,52
FEV <sub>1</sub> (l)	1,33 ± 0,27	1,34 ± 0,33	1,48 ± 0,48
FEV <sub>1</sub> (%)	45 ± 9	47 ± 11,6	49 ± 7,4
FEV <sub>1</sub> /FVC	0,43 ± 0,08	0,4 ± 0,066	0,46 ± 0,057
TLC (l)	8 ± 1,57	8,99 ± 2,12	7,53 ± 1,79
TLC (%)	115 ± 28,9	141 ± 22	123 ± 21
RV/TLC (%)	58,8 ± 8,81	59,26 ± 10,84	57,9 ± 7,5
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	68,9 (59-89)	76,4 (63-94)	75,4 (63-85)
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	41,2 (36-47)	41,4 (38-50)	40,7 (36-48)
Pi <sub>máx</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	86 ± 18	91 ± 22,6	88,5 ± 27,7

Valores expresados como media ± desviación o media (límites). CR: dispositivo de carga resistiva; FEV<sub>1</sub>: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; IMC: índice de masa corporal; PaCO<sub>2</sub>: presión arterial de anhídrido carbónico; PaO<sub>2</sub>: presión arterial de oxígeno; Pi<sub>máx</sub>: presión inspiratoria estática máxima; RV: volumen residual; TLC: capacidad pulmonar total; U: dispositivo de umbral de presión. No hubo diferencias significativas entre grupos en ninguno de los parámetros.

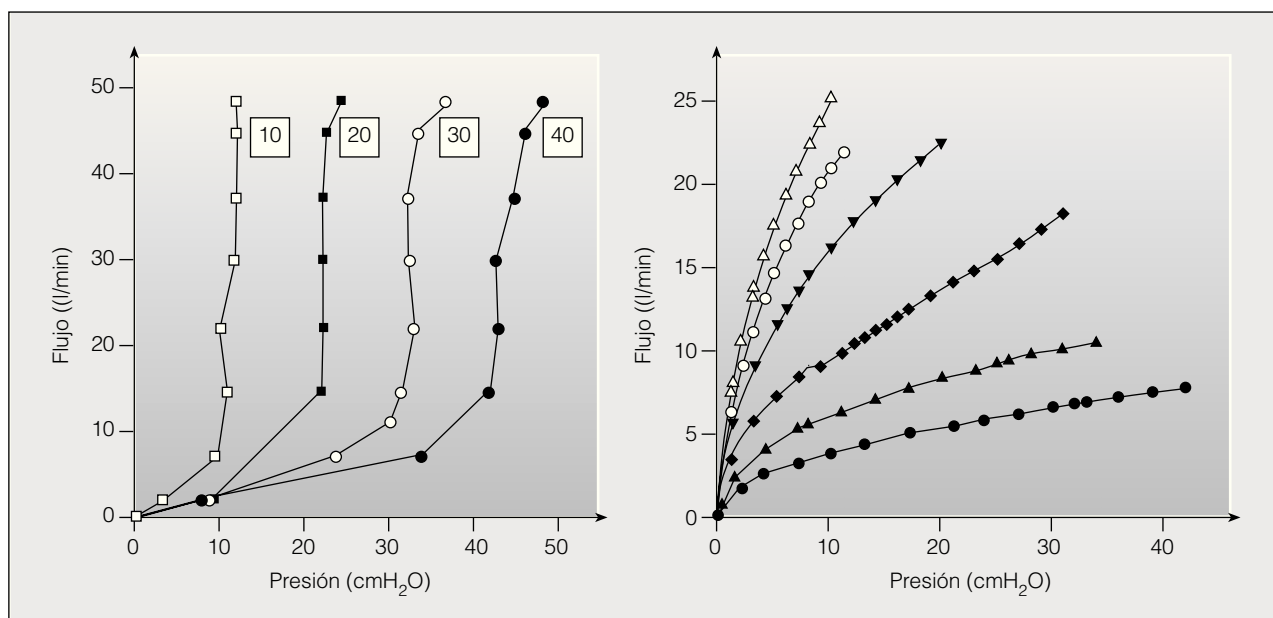


Fig. 1. Diagramas de presión-flujo para los dispositivos umbral (izqda.), ajustado a 10, 20, 30 y 40 cm de agua, y de carga resistiva (dcha.), donde la curva inferior corresponde al orificio 6 y las superiores correlativamente hasta el 1.

Las curvas de la derecha se ajustan a una función cuadrática inversa del flujo (FI) respecto de la presión (pr):  $FI(pr) = a \sqrt{pr}$ , donde a tiene un valor específico para cada orificio, del 1 al 6: 7,836; 6,58; 5,04; 3,102; 1,788 y 1,17; siempre con  $r^2 > 0,998$ , lo que expresa un ajuste ideal.

#### Protocolo de entrenamiento

Tanto al inicio como al final del período de entrenamiento, de 6 semanas, se realizaron las siguientes mediciones:

–*Pruebas de función pulmonar*: espirometría forzada, con un laboratorio de función respiratoria Masterlab (Jaeger, Würzburg, Alemania), que incluyó volúmenes pulmonares estáticos, resistencia de las vías aéreas y capacidad de difusión pulmonar de monóxido de carbono por respiración única, según procedimientos<sup>11</sup> y valores de referencia<sup>12-14</sup> de la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR).

–*Gases arteriales*: punción de arteria radial según normativa SEPAR<sup>14</sup> y procesamiento de la muestra en ABL-500 (Radiometer, Copenhagen, Dinamarca).

–*Función muscular respiratoria*. Las presiones estáticas inspiratorias ( $P_{i,max}$ ) y espiratorias máximas en boca se registraron con la técnica estándar<sup>15</sup> y manómetro específicamente diseñado (Sibelmed 163, SIBEL, Barcelona, España). Las presiones máximas esofágicas con maniobras de inspiración nasal máxima (*sniff*) y Müller<sup>15,16</sup> se registraron tras la colocación de un balón esofágico conectado mediante un catéter a un transductor de presión (Transpac II, Abbott Critical Care Systems, North Chicago, Illinois, Estados Unidos; rango  $\pm 150$  cm de agua, calibrado con una columna de agua). El mejor de 3 valores con una variación menor del 10% se consideraron valores máximos de  $P_{i,max}$ , de presión espiratoria máxima y de *sniff* y Müller esofágicas.

El tiempo sostenido con una carga de umbral del 66% de la  $P_{i,max}$  ( $T_{lim,66\%}$ ) se valoró con el dispositivo umbral Healthscan, si el 66% de la  $P_{i,max}$  correspondía a su rango, o con una válvula inspiratoria cargada mediante pesos, según lo descrito por Nickerson y Keens<sup>17</sup>. Este límite de tiempo se alcanzó si el paciente era incapaz de continuar después de realizar 3 esfuerzos consecutivos inefectivos, en los que no conseguía abrir la válvula de umbral, o si se observaba un descenso de la saturación de oxígeno (menos del 90% o una caída superior al 4% respecto al valor de base). No se impuso ningún patrón respiratorio durante las maniobras de resistencia y como límite máximo de tiempo sostenible se consideró el de 15 min.

–*Calidad de vida*. Utilizamos el cuestionario de enfermedades respiratorias crónicas (CRQ) desarrollado por Guyatt et al<sup>18</sup> y validado en español por Guell et al<sup>19</sup>. La mínima diferencia entre 2 cuestionarios que se consideró clínicamente significativa fue de 0,5 puntos por ítem<sup>20</sup> en cualquiera de las áreas (disnea, fatiga, factor emocional y control de la enfermedad).

#### Carga de entrenamiento

Se impuso una carga mínima (7 cm u orificio 1) durante una semana. En el grupo C esta carga no se modificó durante el curso del estudio, mientras que en los grupos U y CR la intensidad se incrementó hasta la carga máxima tolerada, siguiendo un procedimiento similar: se comenzaba con el dispositivo a la carga máxima (en el orificio 6 o a 45 cm de agua de umbral) y se iniciaba una sesión de entrenamiento. Si el paciente no completaba esta carga durante 15 min, por los mismos motivos que para  $T_{lim,66\%}$ , o bien por una sensación no tolerable de dificultad respiratoria, el dispositivo se modificaba a un nivel de dificultad inferior, bien por ajuste al orificio inmediatamente mayor o por reducción del umbral de presión en 4 cm. Tras un descanso de 20 min se comenzaba otra prueba. De nuevo se descendía el nivel si el paciente no completaba la carga, hasta que se alcanzó el máximo nivel sostenible durante 15 min, repitiendo siempre los 20 min de reposo entre una prueba y otra.

Cada semana se llevaba a cabo el ajuste de carga por el procedimiento inverso, añadiendo 4 cm de agua de presión umbral o escogiendo el orificio de diámetro inmediatamente menor al sostenido con anterioridad. En estas sesiones de supervisión en el hospital se preguntó a los pacientes sobre síntomas y cumplimiento del entrenamiento, además de determinarse la  $P_{i,max}$ <sup>15</sup>. Las cargas iniciales y finales del protocolo se recogen en la tabla II.

Tan sólo en un paciente se manipuló el dispositivo con el fin de superar la presión umbral máxima disponible en el rango, dado que para el paciente 45 cm eran sostenibles de entrada. Para no desvirtuar la valoración de los dispositivos comerciales se decidió no realizar más manipulaciones.

*Parámetros de entrenamiento*

Durante el primer y último controles hospitalarios, la presión en el dispositivo (presión en boca) se midió durante el entrenamiento (Abbot, Transpac 11, EE.UU.; presión de transductor; rango ± 150 cm de agua) y se recogió digitalmente en un ordenador (programa informático LABDAT-ANADAT). La señal se procesaba para determinar la frecuencia respiratoria, el ciclo respiratorio, las presiones inspiratorias media y pico, la integral de presión inspiratoria y el índice de presión-tiempo (PTI = presión inspiratoria/Pi<sub>máx</sub> × tiempo inspiratorio/tiempo total)<sup>21,22</sup>.

Las modificaciones individuales en la carga aplicada en el entrenamiento se detallan en la tabla II, que refleja las cargas aplicadas semanalmente y mantenidas hasta el siguiente control. El nivel de entrenamiento corresponde al número del orificio de carga resistiva o al valor de umbral. En el entrenamiento inicial y al final se midió el PTI como expresión de la carga efectiva, teniendo en cuenta el patrón de entrenamiento.

*Análisis estadístico*

Sobre la base de estudios previos y tomando la Pi<sub>máx</sub> como la principal medida de valoración, se determinó un tamaño mínimo de muestra de 18 pacientes para los grupos de intervención por 10 controles (potencia: 0,95; alfa = 0,05; para una diferencia esperada de Pi<sub>máx</sub> en los grupos de intervención, entrenados, delta de 18 cm agua respecto a controles, sigma = 20). Incluimos a 12 pacientes en los grupos CR y U por posibles pérdidas y para permitir comparaciones entre grupos (prueba de la t de Student). Se valoraron en cada grupo los resultados antes y después de la intervención mediante la prueba de la t de Student. Un valor de p < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

**Resultados**

Los datos basales (tabla I) de los 3 grupos no presentaron diferencias significativas en parámetros espirométricos, de difusión o volúmenes pletismográficos ni al inicio ni al final del período de entrenamiento.

*Parámetros musculares y calidad de vida*

Las variaciones que experimentaron estas medidas se muestran en la tabla III. El grupo U, que aumentó la Pi<sub>máx</sub> de 86 a 104,26 cmH<sub>2</sub>O y tuvo aumentos equivalentes de las presiones esofágicas, fue el único grupo en que se incrementó el Tlim<sub>66%</sub>, que pasó de 4,67 a 10,22 min. En el grupo CR el incremento de Pi<sub>máx</sub> fue de 91 a 105,7 cmH<sub>2</sub>O, aunque fue el grupo que más mejoró en cuanto a calidad de vida. En el CRQ, el área de la disnea mejoró en los 3 grupos, pero los cambios más destacados correspondieron al grupo CR. Pese a las mayores diferencias en todas las áreas en este grupo, éstas no fueron significativas entre grupos. En conjunto, destacamos que, comparado con los grupos de tratamiento, en el grupo control no se dieron cambios paralelos.

*Parámetros de entrenamiento*

Como se detalla en la tabla II, el valor medio ± desviación estándar de presión umbral pasó de 33,33 ± 9,22 a 41,17 ± 5,41 cm de agua, y las cargas resistivas utilizadas pasaron de una moda de 4 a 5. Un número significativo de pacientes alcanzó la carga máxima, aunque también se pudo observar que el PTI descendió en 2 pacientes con umbral, debido a los incrementos de la Pi<sub>máx</sub> y a cambios en el patrón respiratorio.

En la figura 2 se ilustra el registro del entrenamiento con un ejemplo de cada dispositivo. En la tabla IV se recogen los parámetros distintivos de presión y ciclo respiratorio. Los picos (“caídas” en la fig. 2) de presión inspiratoria son más profundos y breves con el umbral que cuando se usa una carga resistiva: al final del protocolo de entrenamiento, el ciclo (tiempo inspiratorio/tiempo total) en U era de 0,31 frente a 0,557 en CR. En contraste, la presión inspiratoria media en U era muy supe-

**TABLA II**  
**Ejecución del entrenamiento en los grupos de carga resistiva y umbral: nivel de entrenamiento al inicio y al final del protocolo y valores correspondientes de índice de presión-tiempo (PTI)**

	Carga resistiva				Umbral			
	Semanas		PTI		Semanas		PTI	
	1	6	Inicial	Final	1	6	Inicial	Final
Caso 1	5	6	0,08	0,07	50	50	0,10	0,07
Caso 2	5	6	0,14	0,15	27	36	0,18	0,25
Caso 3	4	6	0,16	0,21	45	45	0,11	0,04
Caso 4	4	5	0,11	0,12	39	40	0,13	0,12
Caso 5	2	5	0,06	0,09	30	43	0,11	0,12
Caso 6	4	5	0,13	0,13	24	38	0,09	0,14
Caso 7	6	6	0,12	0,22	30	43	0,05	0,07
Caso 8	4	5	0,05	0,11	25	35	0,1	0,1
Caso 9	4	6	0,04	0,04	25	39	0,07	0,08
Caso 10	2	5	0,02	0,04	27	37	0,27	0,18
Caso 11	3	5	0,13	0,08	16	33	0,08	0,07
Caso 12	—	—	—	—	39	45	0,07	0,10
Moda	4	5	—	—	—	—	—	—
Media ± DE	—	—	0,1 ± 0,04	0,11 ± 0,06	33,33 ± 9,22*	41,17 ± 5,41	0,11 ± 0,06	0,11 ± 0,06
				(NS)				(NS)

Los símbolos entre columnas se refieren a la comparación de datos emparejados.

DE: desviación estándar; NS: no significativo.

\*p < 0,001.

TABLA III  
Evolución de la función muscular y calidad de vida

Parámetros musculares	Umbral			Carga resistiva			Controles		
	Inicial	Final	Diferencia (%)	Inicial	Final	↑ (%)	Inicial	Final	Diferencia (%)
Pi <sub>máx</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	86 ± 18,1	104,3 ± 22,4 <sup>c</sup>	21	91,4 ± 22,6	105,7 ± 20,4 <sup>c</sup>	16	88,5 ± 27,7	86,7 ± 23,5 NS	-2
Tlim <sub>66%</sub> (min)	4,67 ± 2,61	10,22 ± 5,56 <sup>b</sup>	118,8	4,77 ± 4,15	5,21 ± 4,94 NS	9,2	3,71 ± 3,27	6,71 ± 5,9 NS	80,9
Pes Müller (cmH <sub>2</sub> O)	76,7 ± 26,2	100,3 ± 27,4 <sup>c</sup>	30,8	81,8 ± 22,2	99,2 ± 20,8 <sup>c</sup>	21,3	82,3 ± 26,8	91 ± 37,3 NS	10,6
Pes sniff (cmH <sub>2</sub> O)	74 ± 26,6	100,3 ± 21,6 <sup>c</sup>	35,5	79 ± 21,3	96,9 ± 19,39 <sup>c</sup>	22,7	86,9 ± 24 NS	91,7 ± 40,7	5,5
<b>Calidad de vida</b>	<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b>Diferencia</b>
Disnea	11,67 ± 4,23	14,25 ± 5,66 <sup>b</sup>	2,58	16,2 ± 5,27	19,2 ± 5,07 <sup>b</sup>	3	12,9 ± 6	15,4 ± 7,49 <sup>b</sup>	2,5
Fatiga	18,16 ± 5,88	19,7 ± 4,85 NS	1,54	16,8 ± 5,12	19 ± 4,16 <sup>a</sup>	2,2	20,2 ± 4,52	20,7 ± 5,72 NS	0,5
Factor emocional	35,67 ± 8,3	38,5 ± 7,65 <sup>a</sup>	2,83	34,1 ± 8,08	37,7 ± 6,68 <sup>b</sup>	3,6	35,1 ± 8,86	36,7 ± 10,1 NS	1,6
Dominio de la enfermedad	21,5 ± 5,2	22,3 ± 4,94 NS	0,8	18,8 ± 6,53	20,6 ± 5,87 <sup>a</sup>	1,8	22,2 ± 5,53	22,8 ± 5,94 NS	0,6

Valores expresados como media ± desviación estándar.

NS: no significativo; Pes: presión medida en esófago; Pi<sub>máx</sub>: presión inspiratoria estática máxima; Tlim<sub>66%</sub>: tiempo sostenido con umbral de un 66% de la Pi<sub>máx</sub>.

<sup>a</sup>p < 0,05. <sup>b</sup>p < 0,01. <sup>c</sup>p < 0,001.

rior, y no observamos diferencias en la frecuencia respiratoria entre ambos grupos (entre 14 y 17/min; tabla IV), con escasa variación durante todo el protocolo.

### Discusión

Con los resultados obtenidos, las conclusiones más importantes de nuestro trabajo pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. Los 2 dispositivos de entrenamiento muscular inspiratorio muestran comportamientos de presión-flujo

diferentes y opuestos, por lo que pueden condicionar estrategias divergentes de ahorro de esfuerzo. Estas adaptaciones deben tenerse en cuenta en un entrenamiento no controlado como origen posible de una ineficiencia del mismo.

2. Con un protocolo no estrictamente controlado, mediante un simple ajuste semanal en ambos tipos de entrenamiento, se produjo un grado similar de sobrecarga muscular en ambos grupos de entrenamiento, a pesar de que los pacientes se adaptaron con patrones diferentes de ejercicio.

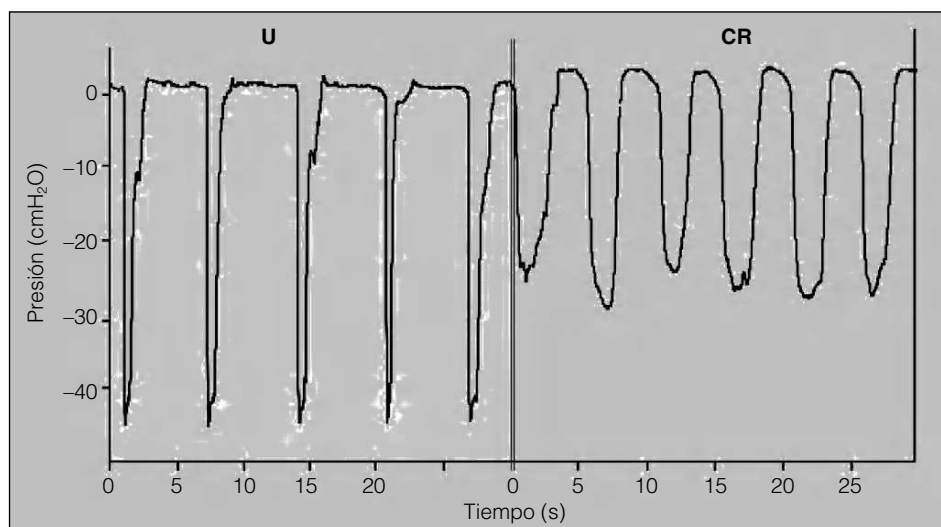


Fig. 2. Diferencias en patrones de entrenamiento. Ejemplos característicos para umbral de presión (U; izqda.), cuyo patrón se caracteriza por caídas intensas y breves, frente a los esfuerzos más limitados en presión pero sostenidos de carga resistiva (CR; dcha.).

TABLA IV

Parámetros definitorios del patrón respiratorio: diferencias entre grupos y propios de cada grupo entre el principio y el final

	Umbral		Carga resistiva		p entre grupos
	Inicial	Final	Inicial	Final	
PTI	0,11 ± 0,06	0,11 ± 0,06	0,1 ± 0,044	0,11 ± 0,06	NS
Pi/Pi <sub>máx</sub>	0,3 ± 0,103	0,36 ± 0,071 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,065	0,21 ± 0,11 <sup>a</sup>	< 0,001
Ti/Ttot	0,358 ± 0,125	0,31 ± 0,123 <sup>b</sup>	0,55 ± 0,11	0,56 ± 0,08	< 0,001
Frecuencia	14,45 ± 6,92	15,19 ± 7,09	17,32 ± 6,97	15,15 ± 5,59	NS

Valores expresados como media ± desviación estándar.

Pi: presión inspiratoria; Pi<sub>máx</sub>: presión inspiratoria estática máxima; PTI: índice de presión-tiempo; Ti/Ttot: tiempo inspiratorio/tiempo total.

<sup>a</sup>p < 0,1. <sup>b</sup>p < 0,05.

Los símbolos en la última columna se refieren a comparación entre grupos, mientras que la comparación significativa de datos emparejados inicio-final se muestra entre columnas. La Pi media (respecto a Pi<sub>máx</sub>) aumenta como consecuencia del ajuste de carga, pero el PTI se mantiene con las adaptaciones del patrón y al aumentar la Pi<sub>máx</sub>.

3. Este enfoque libre dio lugar a mejoras en parámetros musculares y a cambios en la calidad de vida, que fueron superiores a los del grupo C.

4. El hecho de que no hubiera diferencias significativas entre los 2 grupos de entrenamiento y la similitud de las magnitudes de esfuerzo alcanzadas no nos permiten concluir que un tipo de entrenamiento sea superior al otro.

Nuestra evaluación de los dispositivos proporcionó un perfil de comportamiento presión-flujo (fig. 1) similar a referencias previas tanto para dispositivos de tipo carga resistiva<sup>23</sup> como de umbral, cargados por peso<sup>17</sup> o mediante un resorte<sup>24,25</sup>. Corroboramos que se cumple la característica definitoria del dispositivo de umbral, esto es, la ausencia de flujo significativo por debajo del valor umbral, que es inferior a 0,1 l/s, una señal de flujo que Gosselink et al<sup>25</sup> atribuyen a descompresión del aire proximal a la válvula. Con los dispositivos de carga resistiva el comportamiento presión-flujo puede predecirse a lo largo de todo su rango de presión mediante una expresión matemática, inversa de una función cuadrática (como se describe en "Pacientes y métodos"). Esta relación constante refleja la relación entre flujos laminar y turbulento, de acuerdo con la clásica fórmula de Rohrer, con mayor componente turbulento a medida que aumentan el flujo o la resistencia. La posibilidad de derivar flujo o presión puede contribuir a realizar un seguimiento más sencillo del entrenamiento por una simple sustitución o a planificar patrones de entrenamiento controlado.

El diseño de entrenamiento libre nos permitió observar las diferentes estrategias que condiciona cada dispositivo en grupos de pacientes similares (tabla I) y en el mismo contexto. La adaptación al entrenamiento máximo no se vio dificultada en ningún paciente por hipoventilación. No se registró desaturación arterial ni en los pacientes más hipoxémicos, cuyo número no era significativamente mayor en el grupo U, pese a la diferencia mostrada en la tabla I, lo que puede guardar relación con la ausencia de hipercapnia. La distribución de tiempo y presión inspiratorios y ciclo respiratorio tendió a minimizar el esfuerzo al limitar su duración en el caso del umbral (menor tiempo inspiratorio), o al limitar la presión en el caso de las cargas resistivas (fig. 2). Gosselink et al<sup>25</sup>, que probaron un dispositivo umbral con sujetos sanos y con pacientes con EPOC en series

de 5 min, observaron que los primeros mantenían un ciclo de 0,5, mientras en los segundos era de 0,36-0,39, con frecuencia respiratoria creciente a medida que las cargas se incrementaban.

Esta observación en sujetos "vírgenes" puede significar que los pacientes con EPOC están acostumbrados a esta estrategia respiratoria antes de tomar contacto con el dispositivo umbral. En nuestra experiencia observamos que en el grupo U había una tendencia hacia un tiempo inspiratorio todavía menor, con un ciclo medio de 0,31, con casos extremos (caso 3 en tabla II o fig. 2), que explican el PTI bajo pese a niveles umbral máximos. Por otra parte, en el caso del grupo CR, el ciclo llegó a ser de 0,55. Por todo lo expuesto creemos que es el alargamiento del tiempo inspiratorio lo que debe considerarse atípico, ya que invierte la tendencia natural de los pacientes hacia un tiempo espiratorio más prolongado para evitar la hiperinsuflación dinámica, sin que estén suficientemente claras las ventajas "perceptivas" de tal readaptación que pudieran influir en parámetros de calidad de vida de forma independiente del reacondicionamiento muscular.

Las adaptaciones demostradas en nuestro estudio pueden dar razón de por qué los estudios no controlados resultan ineficaces. Cualquier estrategia de entrenamiento que quiera diseñarse, a largo o corto plazo, controlada o no, debe tener en cuenta estas interacciones entre paciente y dispositivo para ser efectiva. En nuestro estudio señalamos que la presión inspiratoria media de entrenamiento fluctuó entre el 30 y el 35,7%, por encima del 30% establecido por Larson et al<sup>24</sup> como valor efectivo de entrenamiento (tabla IV). Pudo incluso haber sido superior de haberlo permitido el rango del dispositivo, siguiendo la estrategia diseñada y no la alternativa de otros autores<sup>10,25</sup> de aumentar la frecuencia respiratoria. Con respecto a las cargas resistivas, estudios previos<sup>23</sup> han demostrado que el entrenamiento controlado garantiza la intensidad de entrenamiento necesaria. Nuestro enfoque sería una alternativa a los dispositivos dotados de sistemas de retroalimentación, que resultan más costosos.

Nuestro estudio asume que los pacientes se adaptan a las relaciones de presión-flujo de los dispositivos. El diseño de nuestro protocolo de entrenamiento estuvo orientado a evitar previsibles estrategias de ahorro de esfuerzo por parte de los pacientes. En nuestro estudio la intensidad del esfuerzo debía ser mantenida para tratar a ambos grupos de forma paralela, en ausencia de

una correspondencia conocida de carga. Nuestra experiencia nos ha confirmado que no existe tal correspondencia si no se tiene en cuenta el tiempo de esfuerzo, muy variable según el ciclo respiratorio, especialmente para el umbral, como han afirmado Gosselink et al<sup>25</sup>. Por esta razón el PTI, utilizado en nuestro estudio, es un índice que confirma que el nivel de carga en ambos grupos de entrenamiento era similar. En comparación con el estudio original de Bellemare y Grassino<sup>26</sup>, los valores observados representarían niveles altos de carga adicional, próximos al umbral de fatiga muscular. Pese a que dichos autores utilizaron las presiones transdiafragmáticas para calcular este índice, se considera que las presiones en boca son un indicador aceptable de actividad diafragmática<sup>27</sup>.

Una de las limitaciones de nuestro protocolo fue el bajo rango de presión del dispositivo umbral escogido, especialmente para este tipo de estrategia, en la que el patrón de entrenamiento lo determina el paciente. Este hecho no es tan observable en el dispositivo de carga resistiva, pese a que 5 de 11 pacientes terminaron al máximo nivel de entrenamiento, probablemente porque la posibilidad de alterar la estrategia de entrenamiento es más restringida. Dado que el estudio se proponía evaluar un tipo particular de dispositivo comercial, renunciamos expresamente a manipularlo añadiendo resortes adicionales<sup>25</sup> o alargando los originales. Sin embargo, sí creemos que varios pacientes podían mantener cargas muy superiores, especialmente aquellos en los que disminuyó el PTI a lo largo del protocolo (casos 1 y 3). Por ello consideramos necesario tener en cuenta esta limitación y seleccionar el modelo de acuerdo con el rango que precise el paciente en función del protocolo.

Los resultados que hemos obtenido son similares a los de otros estudios controlados previos y coinciden en especial con las conclusiones del metaanálisis de Lötters et al<sup>5</sup>, que confirmaron principalmente la efectividad en parámetros de calidad de vida y función muscular, sobre todo en pacientes debilitados. A pesar de que nuestros pacientes no mostraron un compromiso grave de la función muscular, como confirman las presiones estáticas obtenidas, creemos que son una referencia válida de lo que ocurre en pacientes con EPOC. Al tratarse de un estudio piloto de comparación, y tras optar por un entrenamiento con cargas máximas, no se incluyó a pacientes muy comprometidos por EPOC y debilidad muscular, sino que escogimos a pacientes del área ambulatoria en condiciones de autonomía para acudir semanalmente al hospital. A pesar de ello, se observó un beneficio en parámetros musculares en ambos grupos de entrenamiento, pero no en el grupo C, lo que es atribuible al ejercicio muscular.

No puede descartarse que parte de las diferencias pudieran reflejar simplemente un efecto de aprendizaje: la  $P_{i\text{máx}}$  y las presiones esofágicas mejoraron en el grupo U de forma más significativa que en CR, en el que el ejercicio no se aproxima al patrón de inspiraciones cortas e intensas, similar a la dinámica de las maniobras máximas. También el  $Tlim_{66\%}$ , descrito por Nickerson y Kents<sup>17</sup> como un parámetro de resistencia, se alargó muy significativamente entre los pacientes del grupo U.

Nuestro estudio demuestra que el entrenamiento inspiratorio puede tener efecto directo sobre los síntomas y la calidad de vida, como se evidencia en la tabla III, especialmente en el grupo CR, algo ya descrito<sup>27</sup>, a lo que contribuirían el reforzamiento muscular inspiratorio y una cierta desensibilización sensitiva<sup>28,29</sup>. Al actuar ambos tipos de entrenamiento sobre una base similar, no nos pareció probable que fueran a proporcionar resultados muy divergentes, pese a que pudieran dar lugar a adaptaciones diferentes.

La similitud de los resultados obtenidos no permite concluir que un método de entrenamiento sea superior a otro. Dado que los dispositivos se utilizan en el marco de un protocolo de entrenamiento, serán éste y la sobrecarga efectiva de la musculatura los que deban tener relevancia de cara a los resultados. Al tratarse de un protocolo de cargas máximas ajustables, el rendimiento de ambos sistemas proporcionó valores de PTI y resultados similares. Con el dispositivo umbral conocemos el nivel de presión de los esfuerzos inspiratorios, aunque el patrón respiratorio presenta un alto grado de variación entre los pacientes. El entrenamiento con cargas resistivas no posee tanto potencial de variación de la carga, pero en forma libre conduce a un alargamiento “menos fisiológico” del tiempo inspiratorio. No está claro si ambas modalidades muestran una eficacia más específica en el fortalecimiento muscular o en la esfera perceptiva. Podemos interpretar que el entrenamiento mediante dispositivos de umbral pudiera tener un efecto más específico sobre el componente de fuerza, en oposición a un esfuerzo más sostenido con cargas resistivas, que actuaría sobre la resistencia. Nos limitamos a presentar los datos y señalar que, al igual que otros autores<sup>4,5,24</sup>, conseguimos un reforzamiento muscular en ambos grupos de entrenamiento, pese a vernos limitados en cuanto a los valores de umbral aplicables y a que las cargas resistivas condicionaron presiones pico inferiores a las del grupo U. Con todo, es posible que ambas modalidades pudieran tener indicaciones diferentes e incluso complementarias. Además, la posibilidad de entrenar sin necesidad de un control estricto facilitaría unos protocolos más accesibles y aptos para períodos más largos, una necesidad evidente dada la naturaleza reversible de los efectos del entrenamiento<sup>30</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Manning HL, Schwartzstein RM. Pathophysiology of dyspnea. *N Engl J Med.* 1995;333:1547-53.
2. American Thoracic Society. Dyspnea. Mechanisms, assessment, and management: a consensus statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;159:321-40.
3. Killian KJ, Jones NL. Respiratory muscles and dyspnea. *Clin Chest Med.* 1988;9:237-48.
4. Smith K, Cook D, Guyatt GH, Madhavan J, et al. Respiratory muscle training in chronic airflow limitation: a meta-analysis. *Am Rev Respir Dis.* 1992;145:533-9.
5. Lötters F, Van Tol B, Kwakkel G, et al. Effects of controlled inspiratory muscle training in patients with COPD: a meta-analysis. *Eur Respir J.* 2002;20:570-6.
6. American Thoracic Society. Pulmonary rehabilitation 1999. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;159:16.

7. ACCP/AACVPR Pulmonary Rehabilitation Guidelines Panel. American College of Chest Physicians. American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. Pulmonary rehabilitation: joint ACCP/AACVPR evidence-based guidelines. *Chest*. 1997;112:1363-96.
8. Pardy RL, Rochester DF. Respiratory muscle training. *Seminars in Respiratory Medicine*. 1992;13:54-62.
9. Pardy RJ, Reed WD, Belman MJ. Respiratory muscle training. *Clin Chest Med*. 1988;9:287-96.
10. Belman MJ, Botnick WC, Nathan SD, et al. Ventilatory load characteristics during ventilatory muscle training. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994;149:925-9.
11. Cotes JE. Lung volume indices of airway obstruction: a suggestion for a new combined index. *Proc R Soc Med*. 1971;64:1232-5.
12. Roca J, Sanchis J, Agustí-Vidal A, et al. Spirometric reference values from a Mediterranean population. *Bull Eur Physiopathol Respir*. 1986;22:217-24.
13. Roca J, Burgos F, Barberá JA, et al. Prediction equations for plethysmographic lung volumes. *Respir Med*. 1998;92:454-60.
14. Agustí AGN, Burgos F, Casan P, Perpiñá M, Rodríguez-Roisin R, Sánchez L, et al. Normativa de la gasometría arterial. *Arch Bronconeumol*. 1998;34:142-53.
15. American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166:518-624.
16. Baydur A, Behrakis PK, Zin WA, et al. A simple method for assessing the validity of the esophageal balloon technique. *Am Rev Respir Dis*. 1982;126:788-91.
17. Nickerson BG, Keens TG. Measuring ventilatory muscle endurance in humans as sustainable inspiratory pressure. *J Appl Physiol*. 1982;52:768-72.
18. Guyatt GH, Berman LB, Townsend M, et al. A measure of quality of life for clinical trials in chronic lung disease. *Thorax*. 1987;42:773-8.
19. Guell R, Casan P, Sengenis M, et al. Quality of life in patients with chronic respiratory disease: the Spanish version of the Chronic Respiratory Questionnaire (CRQ). *Eur Respir J*. 1998;11:55-60.
20. Janssens JP. When and how to assess quality of life in chronic lung disease. *Swiss Med Wkly*. 2001;131:623-9.
21. Collett PW, Perry C, Engel LA. Pressure-time product, flow, and oxygen cost of resistive breathing in humans. *J Appl Physiol*. 1985;58:1263-72.
22. Ramonatxo M, Boulard P, Prefaut C. Validation of a noninvasive tension-time index of inspiratory muscles. *J Appl Physiol*. 1995;78:646-53.
23. Belman MJ, Thomas SG, Lewis MI. Resistive breathing training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*. 1986;90:662-9.
24. Larson JL, Kim MJ, Sharp JT, et al. Inspiratory muscle training with a pressure threshold breathing device in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis*. 1988; 138:689-96.
25. Gosselink R, Wagenaar RC, Decramer M. The reliability of a commercially available threshold loading device. *Thorax*. 1996; 51:601-5.
26. Bellemare F, Grassino A. Effect of pressure and timing of contraction on human diaphragm fatigue. *J Appl Physiol*. 1982;53:1190-5.
27. Sánchez Riera H, Montemayor T, Ortega F, et al. Inspiratory muscle training in patients with COPD: effect on dyspnea, exercise performance, and quality of life. *Chest*. 2001;120:748-56.
28. Belman MJ. Exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*. 1993;48:936-46.
29. Wedzicha JA, Bestall JC, Garrod R, et al. Randomized controlled trial of pulmonary rehabilitation in severe chronic obstructive pulmonary disease patients, stratified with the MRC dyspnea scale. *Eur Respir J*. 1998;12:363-9.
30. Ries AL, Kaplan RM, Limberg TM, Prewitt LM. Effects of pulmonary rehabilitation on physiologic and psychosocial outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med*. 1995;122:823-32.