

Características de la actividad mecánica de los músculos respiratorios durante la técnica de “respiración diafragmática”*

M. Pastó^a, J. Gea^{a,b}, M.C. Aguar^a, E. Barreiro^c, M. Orozco-Levi^a, M. Félez^a y J. Broquetas^{a,d}

^aServei de Pneumologia y Unitat de Recerca Respiratòria-Ambiental. Hospital del Mar-IMIM. ^bUniversitat Pompeu Fabra. Barcelona. ^cRoyal Victoria Hospital, McGill University. Montreal. Canadá. ^dUniversitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.

Entre las técnicas de fisioterapia respiratoria destaca la llamada “respiración diafragmática” (RD). Sin embargo, y a pesar de su nombre, apenas se conocen las características funcionales de esta modalidad ventilatoria.

OBJETIVO: Evaluar la actividad mecánica de los músculos respiratorios, especialmente del diafragma, durante la RD en pacientes con EPOC grave.

MÉTODOS: En 10 enfermos de esas características en fase estable (69 ± 6 años, FEV_1 $33 \pm 12\%$ ref), se estudiaron el patrón ventilatorio y las presiones respiratorias (abdominal o Pga, intratorácica o Pes y transdiafragmática o Pdi), tanto en situación basal como durante la respiración profunda con reclutamiento muscular espontáneo (RME) y la RD. El estudio se realizó tanto en sedestación (SED) como en decúbito supino (DEC).

RESULTADOS: En SED, el patrón ventilatorio no presentó diferencias entre RME y RD. En cambio, la Pdi media a volumen corriente fue mayor durante la RD (respectivamente, $29,3 \pm 9,3$ y $34,8 \pm 8,0$ cmH₂O; $p < 0,05$), para valores similares de Pes. Sin embargo, la efectividad mecánica del diafragma (expresada por el V_t/P_{di}), era menor en RD ($49,5 \pm 15,8$ y $36,1 \pm 10,4$ cm³/cmH₂O; $p < 0,05$), sin cambios en la efectividad global de los músculos respiratorios (V_t/Pes). En DEC, los resultados fueron similares respecto del patrón ventilatorio para RME y RD, aunque V_t y T_1 fueron algo superiores en la segunda (respectivamente, $1,065 \pm 305$ y $1,211 \pm 314$ cm³, $p < 0,01$; y $2,76 \pm 1,32$ frente a $3,07 \pm 1,23$ s, $p < 0,05$). La Pdi también presentó un valor más alto en RD ($29,7 \pm 10,2$ y $38,0 \pm 10,5$ cmH₂O; $p < 0,05$), acompañado en esta ocasión por una Pes también superior ($21,2 \pm 7,5$ a $26,4 \pm 8,4$ cmH₂O; $p < 0,005$). Siguiendo con el DEC, la efectividad tanto del diafragma como de la globalidad de los músculos respiratorios resultó similar para ambas modalidades ventilatorias.

CONCLUSIONES: La RD realmente corresponde a un mayor uso del diafragma, tanto en SED como en DEC. Sin embargo, en pacientes con EPOC grave esto no se traduce en una mayor efectividad en términos ventilatorios, si se compara con la RME.

Palabras clave: EPOC. Rehabilitación respiratoria. Diafragma.

(Arch Bronconeumol 2000; 36: 13-18)

Respiratory muscle mechanics during diaphragmatic breathing

Noteworthy among breathing training techniques is so-called diaphragmatic breathing. In spite of the technique's name, however, little is known of the functional characteristics of this ventilatory method.

OBJECTIVE: To assess the mechanics of respiratory muscles, particularly diaphragm muscles, during diaphragmatic breathing in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease (COPD).

METHODS: Ventilatory pattern and respiratory pressures (abdominal [Pga], intrathoracic [Pes] and transdiaphragmatic [Pdi]) were studied in 10 patients with severe COPD in stable phase (age 69 ± 6 years, FEV_1 $33 \pm 12\%$ ref) at baseline and during deep breathing with spontaneous muscle recruitment (SMR) and during breathing training. Measurements were taken with the patient seated and in supine decubitus position.

RESULTS: In seated position ventilatory pattern was similar with SMR and during breathing training. Mean Pdi during airflow, however, was greater during breathing training than with SMR (34.8 ± 8.0 and 29.3 ± 9.3 cmH₂O, respectively, $p < 0.05$) for similar levels of Pes. Mechanical effectiveness of the diaphragm expressed as V_t/P_{di} was less during breathing training, however (36.1 ± 10.4 and 49.5 ± 15.8 cc/cmH₂O, $p < 0.05$), with no changes in overall efficacy of respiratory muscles (V_t/Pes). In supine decubitus position, ventilatory patterns of SMR and breathing training were similar, although V_t and T_1 were slightly higher in the latter ($1,065 \pm 305$ vs. $1,211 \pm 314$ cc, $p < 0.01$; and 2.76 ± 1.32 vs. 3.07 ± 1.23 sec, $p < 0.05$). Pdi was also higher during breathing training (29.7 ± 10.2 and 38.0 ± 10.5 cmH₂O, $p < 0.05$), although accompanied in this case by a higher Pes (21.2 ± 7.5 to 26.4 ± 8.4 cmH₂O, $p < 0.005$). In supine decubitus position, the effectiveness of both diaphragm muscles and respiratory muscles overall was similar for both ventilatory modes.

CONCLUSIONS: Breathing training truly involves greater use of the diaphragm, both in seated and supine decubitus positions. Breathing training does not provide greater ventilatory efficacy than SMR, however, in COPD patients.

Key words: COPD. Breathing training. Diaphragm.

*Financiado parcialmente por FUCAP, SIBEL, ARMAR y BIOMED (Unión Europea).

Correspondencia: Dr. J. Gea.
Servei de Pneumologia. Hospital del Mar-IMIM.
Avda. Doctor Aiguader, 80. 08003 Barcelona.
Correo electrónico: jgea@imim.es.

Recibido: 28-8-98; aceptado para su publicación: 7-9-99.

Introducción

La rehabilitación forma parte fundamental del tratamiento en las enfermedades respiratorias crónicas¹. Entre las diversas técnicas de fisioterapia se ha venido utilizando clásicamente la denominada “respiración diafragmática” (RD)²⁻⁴. Ésta consistiría en ejercitar predomi-

nantemente el diafragma², disminuyendo la contribución del resto de músculos respiratorios. Sin embargo, llama la atención la escasez de estudios fisiológicos que realmente hayan evaluado cuál es la acción del diafragma durante el uso de la citada técnica. Por otra parte, recientemente se han puesto en duda los potenciales efectos beneficiosos atribuidos a la RD, así como los mecanismos por los que supuestamente actuaría esta técnica⁵. El propósito de este trabajo ha sido analizar la actividad mecánica de los músculos inspiratorios, y concretamente del diafragma, durante la aplicación de la RD, comparándolos con otra técnica de aplicación común en fisioterapia respiratoria, la respiración profunda con patrón de reclutamiento muscular espontáneo (RME).

Pacientes y métodos

Población

Se incluyeron 10 pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) de 69 ± 6 años de edad, con afectación funcional grave (FEV_1 $33 \pm 12\%$ ref) y en fase de estabilidad clínica. Se definió como tal la ausencia de agudizaciones en el mes y medio precedente al estudio. Los pacientes fueron informados del propósito y metodología a emplear, aceptando por escrito su inclusión en el estudio, que fue aprobado por el comité de ética local del centro.

Diseño del estudio

Tras ser instruidos en las dos modalidades ventilatorias (RD y RME), se colocaron las sondas de medición a los pacientes, procediéndose a la determinación de presiones y patrón ventilatorio en situación basal (SB, respiración tranquila en sedestación). A continuación, se iniciaba la determinación en una de las dos situaciones ventilatorias objeto del estudio (RME y RD). La realización era controlada por un monitor entrenado, iniciándose la valoración de datos cuando se alcanzaba el estado estable. Finalizada esta fase y tras un descanso de unos minutos (aproximadamente 20), el paciente procedía a respirar con la otra modalidad. Ambas fueron permutadas de forma aleatoria. El estudio, con sus dos modalidades ventilatorias, se realizó tanto en sedestación (SED) como en decúbito supino (DEC), fases que asimismo fueron permutadas aleatoriamente.

Métodos

La evaluación inicial incluyó la historia clínica y la exploración física normalizadas, así como una evaluación funcional de rutina.

Función respiratoria convencional. Consistió en la práctica de espirometría forzada, determinación de volúmenes pulmonares estáticos, resistencia de la vía aérea, transferencia del monóxido de carbono (DLco) y presión inspiratoria máxima en boca (PIM o $Pb_{m\acute{a}x}$ según la normalización de nomenclatura propuesta recientemente por la European Respiratory Society [ERS]), así como la realización de gasometría arterial en reposo. La espirometría forzada se realizó con un espirómetro Datospir-92 (Sibel, Barcelona), utilizando los valores de referencia disponibles para población mediterránea⁶. Los volúmenes pulmonares estáticos y resistencia de la vía aérea se determinaron por pletismografía corporal (Masterlab, Jaeger, Würzburg, Alemania). La DLco se obtuvo por el método de respiración única (*single-breath*), mediante un medidor de gases incorporado en el citado equipo Masterlab. Los valores de referencia fueron también los específicos para la población estudiada^{7,8}. La gasometría arterial se obtuvo por punción de

la arteria radial, utilizando técnicas polarográficas convencionales para la obtención del pH y las presiones parciales de O_2 y CO_2 (respectivamente, PaO_2 y $PaCO_2$). Por último, la $Pb_{m\acute{a}x}$ se obtuvo por inspiración máxima desde volumen residual (RV) contra la vía aérea ocluida (maniobra de Müller). Se utilizó un manómetro Sibelmed-163 (Sibel, Barcelona). Los valores de referencia utilizados fueron los de Wilson⁹.

Evaluación específica de la función de los músculos respiratorios. Se determinó el patrón de presiones mediante la colocación de dos catéteres con balón distal de látex (sondas de distensibilidad, Jaeger, Würzburg, Alemania). Ambos fueron introducidos por vía nasal y el primero fue posicionado en el tercio medio del esófago (aproximadamente a 35 cm de las fosas nasales), fijándose en el punto en que se obtenía la máxima deflexión negativa durante la inspiración, y siendo insuflado con $0,75\text{ cm}^3$ de aire. Permitió obtener la presión intratorácica (Pes). El segundo se avanzó hasta la obtención de presión positiva durante la inspiración. A continuación se introdujeron 2-3 cm adicionales (aproximadamente, 50 cm desde las fosas nasales) y se rellenó con 1 cm^3 de aire. A través de él se obtuvo la presión abdominal o Pga. Ambos catéteres se hallaban conectados a sendos transductores de presión (Transpac II, Abbott, Chicago, ILL, EE.UU.), y éstos a un sistema de registro digital múltiple (Labview 3.0, National Instruments, Austin, TX, EE.UU.). La sustracción de las señales de Pga y Pes permitió obtener la propia del diafragma o presión transdiafragmática (Pdi)¹⁰. El patrón de presiones se determinó a volumen corriente en las diferentes modalidades ventilatorias, obteniéndose el valor medio (área bajo la curva de presión/tiempo inspiratorio) y "pico" (deflexión máxima) en cada caso. Durante el estudio se monitorizó el patrón ventilatorio (volumen corriente o Vt, frecuencia respiratoria o FR, tiempo inspiratorio o T_I y tiempo total del ciclo respiratorio o T_{TOT}) de los pacientes. Éstos respiraban a través de una pieza bucal, conectada a una válvula de dos vías de baja resistencia (Hans-Rudolf Inc, MO, EE.UU.); y ésta, a su vez, a un neumotacómetro (Screenmate, Jaeger, Würzburg, Alemania) vinculado al polígrafo digital antes mencionado. La distensibilidad abdominal se valoró a partir del cociente entre valor pico de la Pga y Vt. Todo el equipo fue calibrado al inicio de cada estudio.

Respiración diafragmática (RD). Se instruyó al paciente para que inspirara profundamente al tiempo que aumentaba su volumen abdominal, con protrusión de la pared anterior. Una mano del enfermo se colocaba en el hemiabdomen superior mientras la otra lo hacía en la cara anterior del tórax, intentando la relajación de los músculos de la caja torácica. El paciente debía retraer la pared del abdomen en la espiración. Durante el estudio, un fisioterapeuta experto controló la correcta realización de la técnica.

Respiración profunda con patrón espontáneo de reclutamiento muscular (RME). El paciente era condicionado para realizar maniobras ventilatorias de profundidad similar a las habituales con RD, pero permitiéndosele el uso libre de los distintos componentes torácicos y abdominales. En todo momento se vigiló la no utilización de la técnica de RD.

Tratamiento estadístico

Para la estadística descriptiva se han empleado los valores individuales, medios y su desviación estándar. Para la descripción de las características del patrón ventilatorio y actividad muscular de la población se emplearon los valores obtenidos en sedestación, durante la respiración tranquila (SB). Las comparaciones entre los diferentes tipos de respiración evaluados y entre ambas posiciones se realizaron aplicando un análisis de la variancia para medidas repetidas. En todos los casos se consideró significativo un valor de p inferior a 0,05.

TABLA I
Valores de las variables más representativas de función pulmonar

Paciente	FEV ₁ (% ref)	FEV ₁ /FVC (%)	RV (% ref)	Kco (% ref)	PaO ₂ (mmHg)	PaCO ₂ (mmHg)
1	27	49	227	71	65	44,1
2	31	46	173	76	62	43,9
3	54	54	125	88	72	49,3
4	49	52	167	58	60	48,2
5	31	43	148	57	63	43,8
6	29	53	178	93	61	47,2
7	15	37	238	76	60	46,3
8	22	35	169	49	65	47,4
9	33	50	145	107	62	46,5
10	40	50	235	99	67	42,1
X	33	47	181	77	64	45,9
± SD	12	7	40	19	4	2,3

FEV₁: volumen espirado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; RV: volumen residual; Kco: índice de Krogh (DLco/volumen alveolar); PaO₂ y PaCO₂: presiones parciales de O₂ y CO₂ en sangre arterial.

TABLA II
Valores de los parámetros más representativos de patrón ventilatorio y actividad muscular en las tres modalidades de respiración evaluadas y en las dos posiciones utilizadas durante el estudio

	Vt (cm ³)	FR (min ⁻¹)	T _I /T _{TOT}	Pes (cmH ₂ O)	Pdi (cmH ₂ O)	Vt/Pdi (cm ³ /cmH ₂ O)
Basal (SB)	595 ± 170	14 ± 6	0,34 ± 0,15	- 11 ± 2	19 ± 4	31 ± 6
Supino (DEC)						
RD	1.211 ± 314	12 ± 3	0,57 ± 0,17	- 26 ± 8	38 ± 11	34 ± 13
RME	1.065 ± 305**	15 ± 5	0,57 ± 0,15	- 21 ± 8***	30 ± 10*	37 ± 10
Sedestación (SED)						
RD	1.232 ± 330	15 ± 6	0,57 ± 0,19	- 21 ± 6	35 ± 8*	36 ± 10
RME	1.349 ± 321	14 ± 4	0,57 ± 0,17	- 19 ± 5	29 ± 9*	50 ± 16*

Vt: volumen corriente; FR: frecuencia respiratoria; T_I/T_{TOT}: cociente tiempo inspiratorio/tiempo total respiratorio; Pes: presión esofágica media; Pdi: presión transdiafrágica media; RD: respiración diafrágica dirigida; RME: respiración profunda con patrón de reclutamiento muscular espontáneo. *p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,005.

Resultados

Los valores individuales y medios de los parámetros más representativos de función pulmonar aparecen en la tabla I. En su conjunto, se trataba de una población con obstrucción grave, gran atrapamiento aéreo y moderada hipoxemia en reposo. En SB, el Vt fue de 595 ± 170 cm³, con una FR de 14 ± 6 min⁻¹. Los cocientes Vt/T_I y T_I/T_{TOT} fueron, respectivamente, de 0,34 ± 0,12 y 0,34 ± 0,15. Las presiones respiratorias presentaron una P_b_{máx} de 72 ± 9% ref, Pes de -10,6 ± 2,2 cmH₂O y Pdi de 18,9 ± 4,11 cmH₂O. Las variables que expresan la efectividad mecánica del diafragma (traducción en flujo de la actividad muscular, Vt/Pdi) y de la globalidad de los músculos respiratorios (Vt/Pes) fueron de 31 ± 6 y 57 ± 13 cm³/cmH₂O, respectivamente.

Comparación entre las dos modalidades ventilatorias

En la tabla II aparecen los valores medios correspondientes a las principales variables ventilatorias y de presiones respiratorias para las dos modalidades ventilatorias (RD y RME), y las dos posiciones (SED y DEC) estudiadas. Globalmente, y en SED, las variables del

patrón ventilatorio resultaron superponibles para RME y RD. Respecto de las presiones respiratorias, la Pes era similar en ambas situaciones, aunque la Pdi era un 19% superior en RD. La Pga presentó tendencia a un comportamiento similar (10,5 ± 6,3 y 13,9 ± 6,8 cmH₂O; p = 0,08). Cabe resaltar que el mayor uso del diafragma no se tradujo en mayor efectividad ventilatoria de este músculo (en RD el Vt/Pdi fue similar al de la SB y un 27% inferior al de la RME). La efectividad global del sistema (representada aquí por la Vt/Pes) era similar entre la RME y la RD. Por último, la distensibilidad abdominal inspiratoria presentó una tendencia a aumentar en RD (11,5 ± 3,2 a 15,0 ± 2,6 cmH₂O/l; p = 0,06).

En posición de DEC, se observó un Vt algo mayor en RD (14%), sin llegar a incrementarse el VE. El T_I también era algo superior (2,76 ± 1,32 a 3,07 ± 1,23 s; p < 0,05), pero sin cambios en el T_I/T_{TOT}. Como sucedía en SED, también aquí la Pdi fue superior en RD (28%), aunque debe tenerse en cuenta el mayor Vt movilizado. En esta ocasión la Pes también aumentó aunque muy discretamente (2,5%), no variando la Pga. En cuanto a la efectividad del diafragma y conjunto de músculos inspiratorios, así como la distensibilidad abdominal, no presentamos diferencias entre RME y RD.

Comparación entre las dos posiciones

Al pasar de SED a DEC, la situación era diferente según el tipo de respiración utilizado. En RME, el Vt era menor (21%, $p = 0,001$), mientras que los tiempos y presiones respiratorias eran similares. Como consecuencia, los cocientes Vt/Pdi y Vt/Pes también eran marcadamente inferiores (respectivamente, un 24 y un 31%, con $p < 0,05$, en ambos casos).

En RD, por el contrario, al pasar de SED a DEC, las variables tanto del patrón ventilatorio como de las presiones se mantuvieron estables.

Discusión

El hallazgo más interesante del presente trabajo es la constatación del mayor uso del diafragma durante la técnica de RD. Sin embargo, esa mayor utilización no se traduce en una movilización del gas más efectiva, ni en SED ni en DEC. Por otra parte, los músculos respiratorios en su conjunto mantienen un nivel de esfuerzo similar con las dos técnicas incluidas en el estudio.

Aunque la RD es una técnica comúnmente utilizada en fisioterapia respiratoria desde los años cincuenta^{2,4,11,12}, sus características fisiológicas, mecanismos de actuación y eventuales efectos beneficiosos no se conocen con precisión. El uso de la RD se basa en la creencia de que los pacientes con EPOC deberían utilizar predominantemente el diafragma para realizar el esfuerzo inspiratorio¹¹. Este concepto clásico es en sí mismo discutible, dado que la utilización adicional o alternativa de los llamados músculos accesorios puede comportar notables ventajas mecánicas en los pacientes con EPOC^{5,13}, incrementando su reserva ventilatoria.

En la actualidad existen tres puntos fundamentales de interés respecto de la técnica de RD: averiguar si el diafragma se utiliza en mayor medida, describir las características de esa utilización, sobre todo en términos de efectividad ventilatoria, y determinar si la técnica es útil desde el punto de vista de la rehabilitación respiratoria. El presente trabajo se centra en los dos primeros y sólo se permitirá una breve especulación final sobre el tercero.

Idoneidad del término "respiración diafragmática"

El primer punto que hay que esclarecer es si la RD es realmente una modalidad ventilatoria "diafragmática", o al menos "más diafragmática" que otras. A pesar del uso amplio de la expresión^{2,4}, su idoneidad no ha sido suficientemente demostrada. La mayoría de estudios funcionales datan de hace más de cuatro décadas^{11,12,14-18}, cuando las técnicas para evaluar la función de los músculos respiratorios no estaban suficientemente desarrolladas^{10,19}. Cabe señalar, sin embargo, que algunos estudios de esa época evaluaron el desplazamiento del músculo con métodos radiológicos^{14,15}. Desde un punto de vista fisiológico, hay varios motivos por los que lo que definimos como RD (en general, la respiración, aumentando el volumen abdominal al tiempo que se intenta reducir la aportación de la caja torácica superior), no debiera implicar necesariamente una mayor contribución real de

ese músculo. Así, aunque el desplazamiento de la pared del abdomen puede expresar movimiento del diafragma^{14,20,21}, también puede estar condicionada por la movilización de las últimas costillas²² y el uso de los músculos de la pared abdominal.

A pesar de estas objeciones teóricas, nuestro trabajo demuestra que, efectivamente, la RD puede considerarse como tal: la Pdi es mayor en esa modalidad ventilatoria, tanto en SED como en DEC, aunque en esta última situación probablemente sea en parte explicable por los cambios en el volumen de gas movilizado. No obstante, y a pesar de la confirmación mecánica que supone el presente trabajo, sería de interés realizar estudios electromiográficos complementarios, que evaluaran la participación relativa (cuantitativa y en cuanto a secuencia temporal de reclutamiento) del diafragma y los restantes músculos inspiratorios durante la RD.

Comportamiento mecánico del sistema durante la respiración diafragmática

El presente trabajo demuestra que la efectividad (consecución del objetivo) en la movilización del volumen de gas no es mayor en RD que en otras modalidades ventilatorias (como la RB o RME). Éste es un punto de interés, y ya había sido sugerido en el único estudio previo controlado publicado hasta la fecha sobre los mecanismos fisiopatológicos inherentes a la RD⁵. En este trabajo se observó que durante la RD disminuye la eficiencia de la contracción (efectividad en relación al coste metabólico expresado en términos de consumo de O₂), deteriorándose la coordinación toracoabdominal²³. Esto último es importante en la EPOC, ya que existe asincronía entre tórax y abdomen incluso en situación basal²⁴⁻²⁶, debido a la propia obstrucción, al aumento de los volúmenes pulmonares, la actividad de los músculos inspiratorios de la caja y la disfunción del propio diafragma^{24,27,28}.

Beneficios de la respiración diafragmática

El diseño de nuestro trabajo no nos permite extraer conclusiones a este respecto, sino únicamente especular brevemente con nuestros hallazgos. Así, el uso intermitente de mayores Pdi podría muy bien actuar facilitando el remodelamiento estructural del diafragma^{29,30}, mejorando su capacidad contráctil. Por contra, el uso continuado de índices tensión-tiempo elevados podría disminuir la tolerancia a la fatiga del músculo. Además, relajar la pared del abdomen durante la inspiración podría alejar al diafragma de su longitud óptima de contracción³¹⁻³³.

Diversos estudios apuntan en una dirección similar. Así, la función pulmonar³⁴, distribución de la ventilación^{20,35} y capacidad de ejercicio³⁶ no parecen presentar mejoría tras períodos de uso de la RD. Otras variables, como la coordinación toracoabdominal^{20,37} o la disnea⁵, pueden incluso empeorar. Únicamente se ha demostrado una ligera disminución de la FR y el VE tras la RD¹⁸, efectos que por otra parte son comunes a la simple RME. Quizás por todo ello las tendencias actuales en

rehabilitación se encaminarían más a conseguir un incremento en la fuerza o resistencia global de los músculos respiratorios³⁸, sin pretender imponer patrones específicos de reclutamiento muscular.

Justificación de las dos posiciones estudiadas

La SD es, junto con la bipedestación (similar desde un punto de vista mecánico), la más utilizada durante la vigilia, período en que el paciente emplea la técnica. El DEC, por su parte, con una mecánica totalmente diferente, tiene su importancia por ser la postura en que se enseña habitualmente el uso de la RD³⁹.

Un aspecto interesante, aunque hasta cierto punto colateral a los objetivos de este trabajo, es el comportamiento mecánico del diafragma en las dos posiciones consideradas (SED y DEC). Cabe recordar aquí unos principios generales de la mecánica respiratoria y del músculo durante la posición erecta y en decúbito. En la primera, en un sujeto sano, el diafragma presenta una longitud "normal", conservando intacta su fuerza de contracción. La distribución de la ventilación se produce según un gradiente vertical. En DEC, y si la estructura del diafragma se halla conservada, las vísceras abdominales estiran el músculo, lo que permitiría una contracción incluso algo más efectiva⁴⁰. En la EPOC este efecto podría contrarrestar parcialmente los efectos del acortamiento derivado de la hiperinsuflación. Por contra, en estos enfermos también podría darse un efecto deletéreo, ya que el músculo fatigado podría ser empujado cefálicamente por las vísceras abdominales, disminuyendo la capacidad torácica y la ventilación⁴¹. Aunque es colateral al presente estudio, resulta interesante comparar los cambios observados al pasar de SED a DEC para cada tipo de respiración. En RME, el Vt disminuye levemente en DEC, aunque la tendencia inversa de la FR mantiene estable el VE. Probablemente en este grupo de enfermos, cuyo músculo se halla deteriorado debido al efecto de la hiperinsuflación, la presión de las vísceras abdominales haya sido determinante en la disminución del volumen corriente para unas mismas Pes y Pdi. Durante la RD, los cambios posicionales han actuado de modo similar en las presiones respiratorias, pero en este caso sin cambios ventilatorios. Esto es quizás fruto del efecto protector de la contracción activa del músculo ante la presión de las vísceras abdominales.

En resumen, la llamada respiración diafragmática lo es realmente, aunque su efectividad mecánica no sea mayor que la de la ventilación con reclutamiento muscular libre. Podemos afirmar que la contribución relativa de los principales grupos musculares inspiratorios (diafragma costo-crural y músculos de caja torácica) varía con la RD. Otros estudios deberán determinar el potencial efecto beneficioso de esta técnica en pacientes con enfermedades respiratorias.

Agradecimiento

A las enfermeras Nuria Soler y Ángela Roig por su inestimable asistencia técnica en la realización de las pruebas de función pulmonar convencional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Belman MJ. Exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1993; 48: 936-946.
2. Maccagno AL. Reeducción diafragmática. En: Maccagno AL, editor. *Kinesiología respiratoria*. Barcelona: ELICIEN, S.A., 1973; 76-86.
3. Gaskell DV, Webber BA. Ejercicios respiratorios. En: Gaskell DV, Webber BA, editores. *Fisioterapia respiratoria*. Barcelona: Eunsa, 1979; 27-36.
4. Auge R. Mécanique musculaire. En: Auge R, editor. *La kinésithérapie respiratoire en pratique courante*. París: Maloine S.A., 1987; 21-26.
5. Gosselink RAAM, Wagenaar RC, Rijswijk H, Sargeant AJ, Decramer M. Diaphragmatic breathing reduces efficiency of breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Crit Care Med* 1995; 151: 1136-1142.
6. Roca J, Sanchís J, Agustí-Vidal A, Segarra F, Navakias D, Rodríguez-Roisín R et al. Spirometric reference values for a mediterranean population. *Bull Eur Physiopathol Resp* 1986; 22: 217-224.
7. Roca J, Burgos F, Barberà JA, Sunyer J, Rodríguez-Roisín R, Castellsguè J et al. Prediction equations for plethysmographic lung volumes. *Respir Med* 1998; 92: 454-460.
8. Roca J, Rodríguez-Roisín R, Cobo E, Burgos F, Pérez J, Clausen JL. Single breath carbon monoxide diffusing capacity (DLco) prediction equations for a mediterranean population. *Am Respir Dis* 1990; 141: 1026-1032.
9. Wilson SH, Cooke NT, Edwards RHT. Predicted normal values for maximal inspiratory pressure in caucasian adults and children. *Thorax* 1984; 39: 535-538.
10. Laporta D, Grassino A. Assessment of transdiaphragmatic pressure in humans. *J Appl Physiol* 1985; 58: 1469-1476.
11. Barach AL. Breathing exercises in pulmonary emphysema and allied chronic respiratory disease. *Arch Phys Med Rehabil* 1955; 36: 379-390.
12. Miller WF. Physical therapeutic measures in the treatment of chronic bronchopulmonary disorders. *Methods for breathing training*. *Am J Med* 1958; 24: 929-940.
13. Zocchi L, Fitting JW, Majani U, Fracchia C, Rampulla C, Grassino A. Effect of pressure and timing of contraction of human rib cage muscle fatigue. *Am Rev Respir Dis* 1993; 147: 857-864.
14. Sinclair JD. The effect of breathing exercises in pulmonary emphysema. *Thorax* 1955; 10: 246-249.
15. Miller WF. A physiologic evaluation of the effects of diaphragmatic breathing training in patients with chronic pulmonary emphysema. *Am J Med* 1954; 17: 471-477.
16. Becklake MR, McGregor M, Goldman HI. A study of the effects of physiotherapy in chronic hypertrophic emphysema using lung function tests. *Dis Chest* 1954; 26: 180-191.
17. McNeill RS, McKenzie JM. An assessment of the value of breathing exercises in chronic bronchitis and asthma. *Thorax* 1955; 10: 250-252.
18. Campbell EJM, Friend J. Action of breathing exercises in pulmonary emphysema. *Lancet* 1955; 1: 325-329.
19. Bellemare F, Grassino A. Effect of pressure and timing of contraction on human diaphragmatic fatigue. *J Appl Physiol* 1982; 53: 1190-1202.
20. Grinby G, Oxhøj H, Bake B. Effects of abdominal breathing on distribution of ventilation in obstructive lung disease. *Clin Sci Molec Med* 1975; 48: 193-199.
21. Decramer M, Jian XI, Reid M, Kelly S, Macklem PT, Demedts M. Relationships between diaphragm length and abdominal dimensions. *J Appl Physiol* 1986; 61: 1815-1820.
22. Mead J, Loring SH. Analysis of volume displacement and length changes of the diaphragm during breathing. *J Appl Physiol* 1982; 53: 750-755.
23. Gosselink RAAM, Wagenaar RC. Efficacy of breathing exercises in chronic obstructive pulmonary disease and asthma: a meta-analysis of the literature. *J Rehabil Sci* 1993; 6: 66-87.
24. Gilmartin JJ, Gibson GJ. Abnormalities of chest wall motion in patients with chronic airflow obstruction. *Thorax* 1984; 39: 264-271.
25. Ashutosh K, Gilbert R, Auchinloss J Hj, Peppi D. Asynchronous breathing movements in patients with COPD. *Chest* 1975; 67: 553-557.
26. Sharp JT, Goldberg NM, Druz WS, Fishman H, Danon J. Thoraco-abdominal motion in COPD. *Am Rev Respir Dis* 1977; 115: 47-56.

27. Delgado HR, Braun SR, Skatrud JB, Reddan WG, Pegelow DF. Chest wall and abdominal motion during exercise in patients with COPD. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126: 200-205.
28. Martínez FJ, Couser JJ, Celli BR. Factors influencing ventilatory muscle recruitment in patients with chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1990; 142: 276-282.
29. Levine S, Kaiser L, Leferovich J, Tikunov B. Cellular adaptations in the diaphragm in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 1997; 337: 1799-1806.
30. Gea J, Hamid Q, Czaika G, Zhu E, Mohan-Ram V, Goldspink G et al. Expression of myosin heavy chain isoforms in the respiratory muscles following inspiratory resistive breathing. *Am J Respir Crit Care Med* 1999. En prensa.
31. McCully KK, Faulkner JA. Length-tension relationship of mammalian diaphragm muscles. *J Appl Physiol* 1983; 54: 1681-1686.
32. Gea J, Zhu E, Comtois N, Salazkin I, Galdiz B, Grassino A. Effects of the abdominal impedance on diaphragmatic twitches. *Resp Crit Care Med* 1995; 151 (Supl): 415.
33. Koulouris N, Mulvey DA, Laroche CM, Goldstone J, Moxham J, Green M. The effect of posture and abdominal binding on respiratory pressures. *Eur Respir J* 1989; 2: 961-965.
34. Cole MB, Stansky C, Roberts FE, Hargan SM. Studies in emphysema: long-term results of training diaphragmatic breathing on the course of obstructive emphysema. *Arch Phys Med Rehabil* 1962; 43: 561-564.
35. Brach BB, Chao RP, Sgroy VL. ¹³³Xenon washout patterns during diaphragmatic breathing. Studies in normal subjects and patients with chronic obstructive pulmonary diseases. *Chest* 1977; 71: 735-739.
36. Williams IP, Smith CM, McGaving CR. Diaphragmatic breathing training and walking performance in chronic airways obstruction. *Br J Dis Chest* 1982; 76: 164-166.
37. Sackner MA, González H, Rodríguez M, Belsito A, Sackher DR, Grenvik S. Assessment of asynchronous and paradoxical motion between rib cage and abdomen in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1984; 130: 588-593.
38. Pardy RL, Reid WD, Belman MJ. Respiratory muscle training. *Clin Chest Med* 1988; 9: 287-296.
39. Faling LJ. Pulmonary rehabilitation. Physical modalities. En: BJ Make, editor. *Clinics in chest medicine*. Filadelfia, EE.UU.: WB Saunders Company, 1986; 599-618.
40. Agostini E, D'Angelo E, Bonanni MV. The effect of the abdomen on the vertical gradient of pleural surface pressure. *Respir Physiol* 1970; 8: 332-346.
41. Froese AB, Bryan AC. Effects of anesthesia and paralysis on diaphragmatic mechanics in man. *Anesthesiology* 1974; 41: 242-255.