



Original

Asincronía e hiperinsuflación en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica durante 2 tipos de ejercicio de las extremidades superiores

Antonio A.M. Castro^{a,b,c,*}, Elias F. Porto^{a,c}, Maria I.Z. Feltrim^d y José R. Jardim^a

^a Federal University of São Paulo (Unifesp), São Paulo, Brasil

^b Federal University of Pampa (Unipampa), Rio Grande do Sul, Brasil

^c Adventist University (Unasp), São Paulo, Brasil

^d Heart Institute (InCor), São Paulo Medical School of the University of São Paulo, São Paulo, Brasil

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 27 de junio de 2012

Aceptado el 16 de diciembre de 2012

On-line el 19 de marzo de 2013

Palabras clave:

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

Hiperinsuflación dinámica

Asincronía toracoabdominal

Pruebas de esfuerzo de extremidades superiores

R E S U M E N

Introducción: La aparición de una hiperinsuflación dinámica durante los ejercicios de las extremidades superiores en los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) no está bien establecida. Nuestra hipótesis es que existe una asociación entre la hiperinsuflación dinámica y la asincronía toracoabdominal en pacientes con EPOC durante la realización de ejercicios de los brazos. En consecuencia, se evaluó la existencia y la asociación de asincronía toracoabdominal y de hiperinsuflación dinámica en pacientes con EPOC, durante la realización de los ejercicios con los brazos.

Pacientes y métodos: Se realizó un estudio prospectivo con 25 pacientes afectados por EPOC. Se llevó a cabo una prueba de ejercicio máximo y submáximo de las extremidades superiores con un 50% de carga, utilizando la técnica diagonal y la técnica del cicloergómetro de brazo. Se evaluaron el patrón respiratorio, la configuración toracoabdominal y la hiperinsuflación dinámica en las pruebas de esfuerzo.

Resultados: El 30 y el 60% de los pacientes presentaron hiperinsuflación al final del ejercicio submáximo con las técnicas diagonal y de cicloergómetro de brazo, respectivamente. La asincronía toracoabdominal se produjo en el 80 y el 100% de los pacientes con las técnicas diagonal y de cicloergómetro de brazo, respectivamente. Para ambos ejercicios se ha observado una mayor ventilación pulmonar, disnea, control central de la respiración y reducción del tiempo espiratorio ($p < 0,05$). En el ejercicio de las extremidades superiores con la técnica diagonal hubo menos pacientes con estos cambios.

Conclusiones: La asociación de hiperinsuflación pulmonar dinámica y asincronía toracoabdominal se produjo en ambos ejercicios de los miembros superiores; sin embargo, la técnica diagonal produjo menos hiperinsuflación dinámica y asincronía toracoabdominal que la técnica del cicloergómetro de brazo en los pacientes con EPOC.

© 2012 SEPAR. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Asynchrony and Hyperinflation in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease During Two Types of Upper Limbs Exercise

A B S T R A C T

Keywords:

Chronic obstructive pulmonary disease

Dynamic hyperinflation

Thoracoabdominal asynchrony

Upper-limbs exercise tests

Introduction: Occurrence of dynamic hyperinflation during upper-limbs exercises in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients it is not well established. We hypothesized that dynamic hyperinflation and thoracoabdominal asynchrony occurs in COPD patients accomplishing arms exercises. We assessed the occurrence and association of dynamic hyperinflation and thoracoabdominal asynchrony in COPD patients during the accomplishment of two arm exercises.

Patients and methods: This was a prospective study with 25 COPD patients. A maximal and a sub-maximal upper limbs exercise test with 50% load were performed with the diagonal technique and the arm cycle ergometer technique. Respiratory pattern, thoracoabdominal configuration and dynamic hyperinflation were assessed in the exercise tests.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: antonioamcastro@yahoo.com.br (A.A.M. Castro).

Results: Thirty per cent and 60% of patients hyperinflated at the end of the sub-maximum exercise tests with the diagonal and cycle ergometer techniques, respectively. Thoracoabdominal asynchrony occurred in 80% and 100% of patients who hyperinflated with the diagonal and cycle ergometer techniques, respectively. For both exercises we found enhancement of pulmonary ventilation, dyspnea, central respiratory drive and shortening of expiratory time ($P < .05$). Upper-limbs exercises with the diagonal technique presented less number of patients with these alterations.

Conclusions: Dynamic pulmonary hyperinflation and thoracoabdominal asynchrony association occurred in both upper-limbs exercises; however, the diagonal technique developed less dynamic hyperinflation and thoracoabdominal asynchrony in COPD patients than the arm cycle ergometer.

© 2012 SEPAR. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La rehabilitación ha sido un método de tratamiento considerado imprescindible para los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Tradicionalmente, esto se ha centrado en ejercicios de las extremidades inferiores, como caminar o ejercicio de bicicleta. Sin embargo, muchos pacientes con EPOC refieren la aparición de disnea y fatiga muscular al realizar actividades en las que intervienen las extremidades superiores, como levantar objetos, hacer la cama o cuidar el jardín¹. Actualmente los ejercicios de la parte superior del cuerpo se han incluido en los programas de rehabilitación de los pacientes con EPOC, pero no hay todavía un consenso respecto a cómo realizar el entrenamiento de estos pacientes y por qué los músculos de la cintura escapular limitan el ejercicio en estos pacientes.

En 1986, Celli et al.² fueron los primeros en describir que los pacientes con EPOC pueden desarrollar una asincronía toracoabdominal durante el ejercicio de un tablero de clavijas con las extremidades superiores. En su estudio observaron un 42% de pacientes con asincronía que presentaban también mayor disnea, una fatiga más temprana de las extremidades superiores y un menor tiempo de ejercicio de resistencia.

Gigliotti et al.³ observaron que los pacientes con EPOC que realizaban ejercicios en un cicloergómetro de brazo desarrollaban una hiperinsuflación pulmonar dinámica, un aumento de la disnea y fatiga de las extremidades superiores.

Parece concebible admitir que la limitación que experimenta un paciente con EPOC durante un esfuerzo realizado con el brazo pueda deberse a una asociación entre la hiperinsuflación pulmonar dinámica y la asincronía toracoabdominal. Sin embargo, esta asociación no se ha demostrado nunca en estudios previos. Generalmente se considera que la técnica de cicloergómetro de brazo es el patrón de referencia para el entrenamiento del brazo; sin embargo, se cree que la técnica diagonal incorpora la acción de un número de músculos superior al de otros tipos de ejercicio.

Por consiguiente, planteamos la hipótesis de que la hiperinsuflación dinámica y la asincronía toracoabdominal se producen en los pacientes con EPOC que realizan ejercicios con los brazos. Así pues, el objetivo del estudio fue analizar la posible aparición de hiperinsuflación pulmonar dinámica y asincronía toracoabdominal en pacientes con EPOC durante 2 tipos de ejercicios de las extremidades superiores: el cicloergómetro de brazo y la técnica diagonal. Evaluamos también la técnica de entrenamiento del brazo más apropiada para el uso en la práctica clínica general en relación con la hiperinsuflación dinámica y la asincronía toracoabdominal.

Pacientes y métodos

Participantes

Este estudio prospectivo se llevó a cabo en 25 pacientes con EPOC grave o muy grave seleccionados en el centro de rehabilitación pulmonar de la Universidad Federal de São Paulo. Los

participantes fueron debidamente informados sobre el protocolo y firmaron un documento de consentimiento informado previamente aprobado por el comité ético de la universidad. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: pacientes con diagnóstico clínico de EPOC en estadio III o IV según las GOLD⁴; estabilidad clínica; ausencia de comorbilidades que pudieran dificultar la realización de ejercicios de las extremidades superiores; abandono del hábito tabáquico en el año anterior; situación clínica estable, sin ninguna exacerbación en los 30 días previos al estudio. Los criterios de exclusión fueron los siguientes: saturación de oxígeno de hemoglobina periférica (SpO₂) inferior al 80% durante la prueba e incapacidad de realizar la maniobra de determinación de la capacidad inspiratoria o los ejercicios.

Diseño del estudio

El primer día se determinó el índice de masa corporal (IMC) y la espirometría según lo descrito en otras publicaciones⁵⁻⁷. Además, se asignó aleatoriamente a los pacientes la realización de un ejercicio incremental máximo con el empleo de la técnica diagonal o con el cicloergómetro de brazo. El segundo día se llevó a cabo otro ejercicio incremental máximo con la técnica que no se había empleado en el primer día.

En el tercero y cuarto días los pacientes realizaron un ejercicio submáximo con una carga correspondiente al 50% de la obtenida en el ejercicio incremental máximo. El orden de los ejercicios se estableció de manera aleatoria, y los pacientes realizaron el ejercicio hasta el agotamiento.

Antes y después de los ejercicios submáximos se determinó la capacidad inspiratoria. Se efectuó una vigilancia continua del patrón ventilatorio y de la configuración toracoabdominal a lo largo de toda la prueba. Se determinó la saturación de oxígeno arterial periférica, la disnea y las sensaciones de fatiga del brazo, y la frecuencia cardíaca y respiratoria cada minuto durante ambos ejercicios.

Métodos

Determinación de la capacidad inspiratoria. La capacidad inspiratoria se midió con un espirómetro (Koko®, EE.UU.), según lo descrito en otra publicación⁸, antes, inmediatamente después y a intervalos de 5 min tras el ejercicio y hasta que el valor de la capacidad inspiratoria volvió a las cifras basales. La hiperinsuflación pulmonar dinámica se definió por una disminución de la capacidad inspiratoria de al menos el 10% y/o 150 ml en el periodo post-ejercicio, según lo descrito en otra publicación^{9,10}.

Determinaciones de la ventilación

Las variables ventilatorias como tiempo inspiratorio (TI), cociente tiempo inspiratorio/tiempo respiratorio total (TI/TRT), tiempo espiratorio (TE), frecuencia respiratoria (FR), estímulo respiratorio central (VC/TI) y ventilación pulmonar (VP) se midieron en reposo, de forma continua durante el ejercicio y hasta que el

valor de la capacidad inspiratoria volvió a las cifras basales, con el dispositivo portátil K4b2 (Cosmed®, Italia), según lo descrito en otra publicación^{11,12}.

Pletismografía de inductancia respiratoria

Las variables de configuración toracoabdominal se determinaron antes de los ejercicios y al final de estos, con el empleo de una pletismografía de inductancia (Noninvasive Monitory Systems, RespiTrace®, EE.UU.), según lo descrito en otra publicación¹³. Se obtuvieron datos de asincronía mediante el cociente de amplitud de compartimento máxima/volumen corriente (ACM/VC).

Monitorización de la frecuencia cardíaca, SpO₂ y disnea

La frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno (SpO₂) (Nonin®, EE.UU.) de la hemoglobina y la sensación percibida de disnea (escala de Borg) y fatiga de extremidades superiores (escala de Borg) se determinaron antes y después de los ejercicios.

Ejercicios incrementales máximos de las extremidades superiores con la técnica diagonal y el cicloergómetro de brazo

El segundo ejercicio con la técnica de facilitación neuromuscular propioceptiva diagonal consistió en un levantamiento de peso alternado con ambos brazos, según lo descrito en otra publicación¹⁴. Se añadieron 100 g de peso cada minuto, sin dejar un periodo de descanso entre los sucesivos incrementos de peso. La prueba se interrumpió por la aparición de síntomas como disnea intensa o fatiga del brazo. El fundamento del uso de la facilitación neuromuscular propioceptiva se basa en el hecho de que se considera que la ejecución de los movimientos en diagonal implica un número de grupos musculares superior al exigido por otros ejercicios. Los patrones diagonales asociados a la resistencia pretenden provocar una irradiación e implicación muscular. El patrón espiral diagonal con un componente rotatorio comporta movimientos en 3 dimensiones, con movimientos secuenciales y simultáneos de varias articulaciones. La primera técnica diagonal incluye una flexión-aducción-rotación externa de los hombros, mientras que la segunda técnica diagonal incluye un movimiento de flexión-abducción-rotación externa^{14,15}. Otros autores han puesto de relieve el efecto beneficioso aportado por el método de facilitación neuromuscular propioceptiva en los pacientes con EPOC, incluida una mejora de la capacidad funcional del brazo y una reducción de las puntuaciones de disnea y fatiga^{1,16}.

El ejercicio de cicloergómetro de brazo se realizó con movimientos de rotación a 50 rotaciones por minuto^{4,17}. Se añadieron 2,5 watts a la carga previa cada minuto hasta que no fue posible continuar manteniendo el ejercicio. No se dejó un periodo de reposo entre los sucesivos incrementos de carga¹⁶.

Ejercicios de resistencia submáxima de las extremidades superiores con la técnica diagonal y el cicloergómetro de brazo

Se utilizó una carga constante del 50% de la carga máxima alcanzada durante el ejercicio máximo con la técnica diagonal o el cicloergómetro de brazo para la prueba de resistencia. El ejercicio se interrumpió por la aparición de síntomas como disnea intensa o fatiga del brazo^{1,16}.

Análisis estadístico

Los datos se expresan en forma de media y desviación estándar. Se utilizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, que determinó que nuestros datos eran no paramétricos. En consecuencia, aplicamos la prueba de Wilcoxon para analizar la misma variable antes y después del ejercicio. Se utilizó la prueba de Mann-Whitney para determinar las diferencias entre los grupos con y sin hiperinsuflación. La significación estadística se estableció en un valor de $p < 0,05$. Utilizamos el programa SigmaStat® para el

Tabla 1

Variables ventilatorias y datos pulmonares obtenidos en 25 pacientes con EPOC antes del ejercicio submáximo realizado con la segunda técnica diagonal y el ergómetro

Variables	Diagonal	Ergómetro	p
TI (s)	1,0 (0,1)	1,3 (0,1)	0,07
TI/TRT	0,2 (0,10)	0,3 (0,10)	0,09
TE (s)	0,9 (0,2)	1,1 (0,3)	0,07
FR (rotaciones/min)	24 (2,0)	23 (2,7)	0,06
VC/TI (ml/s)	625,1 (55)	565,8 (63)	0,06
VP (l)	17,4 (4)	15,2 (5)	0,08
Disnea	2 (1)	3 (1)	0,1
FEV ₁ (% del esperado)	39,4 (10,2)	42,9 (12,9)	0,06
FVC (% del esperado)	78,9 (15,2)	85,8 (16,5)	0,06
FEV ₁ /FVC	0,40 (0,10)	0,45 (0,16)	0,07
CI (l)	2,32 (0,63)	2,32 (0,58)	0,1
ACM/VC	1,07 (0,10)	1,05 (0,1)	0,2
%ABD	58 (16)	58 (14)	0,1
%Tx	44 (12)	45 (16)	0,2

ACM/VC: cociente amplitud compartimental máxima/volumen corriente; CI: capacidad inspiratoria; FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FEV₁/FVC: cociente volumen espiratorio forzado en el primer segundo/capacidad vital forzada; FR: frecuencia respiratoria; FVC: capacidad vital forzada; TE: tiempo espiratorio; TI: tiempo inspiratorio; TI/TRT: cociente tiempo inspiratorio/tiempo respiratorio total; VC/TI: flujo inspiratorio medio; VP: ventilación pulmonar; %ABD: porcentaje de contribución abdominal al movimiento de la pared torácica; %Tx: porcentaje de contribución torácica al movimiento de la pared torácica. Los datos se presentan en forma de media (desviación estándar).

análisis de los datos. El tamaño muestral se calculó con la fórmula E/S, en donde E es la diferencia clínica mínima y S es la desviación estándar de la variable de valoración del resultado. Tomando una reducción de 150 ml de la capacidad inspiratoria como diferencia clínica mínima (E) y la desviación estándar de esta variable (S), se calculó que era necesario un tamaño muestral mínimo de 17 pacientes para $\alpha = 0,05$ y $\beta = 0,80$ ^{3,8-10}.

Resultados

Características de la muestra y espirometría

Se seleccionó para el estudio a 25 pacientes (18 varones) con EPOC. Estos pacientes tenían una media de edad de $64,4 \pm 7,9$, IMC de $24,5 \pm 3,7$, un consumo de paquetes/años de 65 ± 40 y una puntuación de MRC de 4 ± 1 . Las variables ventilatorias basales y los datos pulmonares antes de la segunda técnica diagonal y su semejanza con los de la técnica de cicloergómetro de brazo se muestran en la tabla 1.

Comparación de variables ventilatorias máximas con el ejercicio máximo y submáximo en la técnica diagonal frente a la de cicloergómetro de brazo

Al realizar un ejercicio máximo (tabla 2) y submáximo (tabla 3) con la técnica diagonal, los pacientes presentaron las siguientes diferencias en comparación con el ejercicio con cicloergómetro de brazo: menores disnea, FR, TI/TRT, VC/TI y VP ($p < 0,05$), y mayor TE ($p < 0,05$). Tampoco observamos diferencias de frecuencia cardíaca entre las técnicas de diagonal y de ergómetro en los pacientes con EPOC que realizaron un ejercicio máximo o submáximo ($p > 0,5$ y $p > 0,3$, respectivamente) (tablas 2 y 3).

Capacidad inspiratoria en reposo y tras el ejercicio submáximo con la técnica diagonal

Ocho (32%) de los 25 pacientes presentaron hiperinsuflación durante el ejercicio submáximo con la técnica diagonal. La capacidad inspiratoria media del grupo disminuyó de $2,32 \pm 0,63$ a $2,17 \pm 0,601$ ($p = 0,005$) (fig. 1). El resto de pacientes que no

Tabla 2

Variables respiratorias y respuesta de frecuencia cardiaca en los ejercicios incrementales máximos de las extremidades superiores con la técnica diagonal y la técnica de cicloergómetro de brazo en 25 pacientes con EPOC

Variables	Diagonal	Ergómetro	p
<i>TI (s)</i>			
Basal	1,1 (0,8)	1,0 (0,6)	0,6
Ejercicio máximo	0,8 (0,2)	0,8 (0,2)	0,9
Diferencia media	-0,3 (-0,6)	-0,2 (-0,4)	0,5
<i>TI/TRT</i>			
Basal	0,4 (0,1)	0,4 (0,1)	0,9
Ejercicio máximo	0,3 (0,1)	0,4 (0,1)	0,001
Diferencia media	-0,1 (0,0)	0,0 (0,0)	0,1
<i>TE (s)</i>			
Basal	1,7 (0,8)	1,7 (0,8)	0,9
Ejercicio máximo	1,6 (0,5)	1,3 (0,4)	0,02
Diferencia media	-0,1 (-0,3)	-0,4 (-0,4)	0,03
<i>FR (rotaciones/min)</i>			
Basal	24,5 (8,6)	24,6 (7,4)	0,9
Ejercicio máximo	26,8 (7,0)	30,8 (7,3)	0,05
Diferencia media	2,3 (-1,6)	6,2 (-0,1)	0,02
<i>VC (ml)</i>			
Basal	500 (200)	600 (300)	0,1
Ejercicio máximo	1.100 (300)	1.300 (400)	0,07
Diferencia media	600 (100)	700 (100)	0,06
<i>VC/TI (ml/s)</i>			
Basal	463 (280)	547 (352)	0,3
Ejercicio máximo	1.368 (155)	1.659 (177)	0,0001
Diferencia media	905 (-125)	1.112 (-175)	0,03
<i>VP (l)</i>			
Basal	11,4 (2,7)	12,2 (3,0)	0,3
Ejercicio máximo	27,9 (7,4)	36,7 (8,1)	0,0002
Diferencia media	16,5 (4,7)	24,5 (5,1)	0,001
<i>Disnea</i>			
Basal	0 (0)	0 (0)	0,9
Ejercicio máximo	6 (3)	7 (2)	0,1
Diferencia media	6 (3)	7 (2)	0,1
<i>CI (l)</i>			
Basal	2,16 (0,52)	2,32 (0,58)	0,3
Ejercicio máximo	2,00 (0,39)	2,25 (0,88)	0,2
Diferencia media	-0,16 (-0,13)	-0,07 (0,3)	0,2
<i>%ABD</i>			
Basal	57,6 (15,1)	56,7 (16,9)	0,5
Ejercicio máximo	73,8 (19,9)	75,2 (25,5)	0,4
Diferencia media	16,2 (4,8)	18,5 (8,6)	0,2
<i>%Tx</i>			
Basal	47,3 (24,4)	52,8 (27,0)	0,4
Ejercicio máximo	52,5 (28,8)	50,1 (26,6)	0,7
Diferencia media	5,2 (4,4)	-2,7 (-0,4)	0,001
<i>FC (latidos/min)</i>			
Basal	83,3 (21,7)	81,7 (21,7)	0,7
Ejercicio máximo	101,3 (27,1)	106,6 (35,7)	0,5
Diferencia media	18,0 (5,4)	24,9 (14,0)	0,02
<i>SaO₂ (%)</i>			
Basal	93 (3)	93 (2)	0,9
Ejercicio máximo	90 (4)	91 (3)	0,3
Diferencia media	-3 (1)	-2 (1)	0,1

CI: capacidad inspiratoria; Diferencia media: diferencia media ejercicio máximo-basal; FC: frecuencia cardiaca; FR: frecuencia respiratoria; SaO₂: saturación de oxígeno periférica; TE: tiempo espiratorio; TI: tiempo inspiratorio; TI/TRT: cociente tiempo inspiratorio/tiempo respiratorio total; VC: volumen corriente; VC/TI: flujo inspiratorio medio; VP: ventilación pulmonar; %ABD: porcentaje de contribución abdominal al movimiento de la pared torácica; %Tx: porcentaje de contribución torácica al movimiento de la pared torácica.

Los datos se presentan en forma de media (desviación estándar).

Tabla 3

Variables respiratorias y respuesta de frecuencia cardiaca en el momento más alto de los ejercicios de resistencia submáximos de las extremidades superiores, con la técnica de diagonal y la de cicloergómetro de brazo técnicas en 25 pacientes con EPOC

Variables	Diagonal	Ergómetro	p
<i>TI (s)</i>			
Basal	1,3 (0,6)	1,4 (1,1)	0,6
Ejercicio máximo	0,9 (0,3)	0,8 (0,2)	0,1
Diferencia media	-0,4 (-0,3)	-0,6 (-0,9)	0,2
<i>TI/TRT</i>			
Basal	0,4 (0,1)	0,4 (0,2)	0,9
Ejercicio máximo	0,3 (0,1)	0,4 (0,1)	0,001
Diferencia media	-0,1 (0,0)	0,0 (-0,1)	0,1
<i>TE (s)</i>			
Basal	2,0 (0,9)	2,0 (1,0)	0,9
Ejercicio máximo	1,7 (0,6)	1,3 (0,3)	0,004
Diferencia media	-0,3 (-0,3)	-0,7 (-0,7)	0,02
<i>FR (rotaciones/min)</i>			
Basal	20 (6,2)	19,6 (6,9)	0,8
Ejercicio máximo	25,0 (6,4)	30,1 (5,7)	0,004
Diferencia media	5,0 (0,2)	10,5 (-1,2)	0,001
<i>VC (ml)</i>			
Basal	600 (200)	600 (200)	0,9
Ejercicio máximo	1.100 (400)	1.200 (300)	0,3
Diferencia media	500 (200)	600 (100)	0,2
<i>VC/TI (ml/s)</i>			
Basal	480 (350)	420 (218)	0,4
Ejercicio máximo	1.247 (259)	1.594 (212)	0,0001
Diferencia media	767 (-91)	1174 (-6)	0,02
<i>VP (l)</i>			
Basal	11,3 (3,4)	10,9 (3,4)	0,6
Ejercicio máximo	26,1 (9,2)	35,6 (8,8)	0,0005
Diferencia media	14,8 (5,8)	24,7 (5,4)	0,001
<i>Disnea</i>			
Basal	0 (0)	1 (1)	0,9
Ejercicio máximo	5 (3)	7 (3)	0,02
Diferencia media	5 (3)	6 (2)	0,04
<i>CI (l)</i>			
Basal	2,32 (0,63)	2,32 (0,58)	0,8
Ejercicio máximo	2,17 (0,60)	2,15 (0,56)	0,9
Diferencia media	-0,15 (-0,03)	-0,17 (-0,02)	0,1
<i>%ABD</i>			
Basal	58,7 (14,9)	58,6 (16,8)	0,8
Ejercicio máximo	73,3 (19,6)	75,5 (19,8)	0,7
Diferencia media	14,6 (4,7)	16,9 (3,0)	0,04
<i>%Tx</i>			
Basal	45,7 (16,7)	51,0 (25,2)	0,3
Ejercicio máximo	55,2 (34,7)	51,3 (33,6)	0,9
Diferencia media	9,5 (18)	0,3 (8,4)	0,02
<i>FC (latidos/min)</i>			
Basal	89,6 (39,8)	81,0 (21,8)	0,2
Ejercicio máximo	97,2 (25,7)	106,1 (37,6)	0,3
Diferencia media	7,6 (-14,1)	25,1 (15,8)	0,002
<i>SaO₂ (%)</i>			
Basal	92 (3)	92 (3)	0,9
Ejercicio máximo	91 (4)	91 (4)	0,9
Diferencia media	-1 (1)	-1 (1)	0,4

CI: capacidad inspiratoria; Diferencia media: diferencia media ejercicio máximo-basal; FC: frecuencia cardiaca; FR: frecuencia respiratoria; SaO₂: saturación de oxígeno periférica; TE: tiempo espiratorio; TI: tiempo inspiratorio; TI/TRT: cociente tiempo inspiratorio/tiempo respiratorio total; VC: volumen corriente; VC/TI: flujo inspiratorio medio; VP: ventilación pulmonar; %ABD: porcentaje de contribución abdominal al movimiento de la pared torácica; %Tx: porcentaje de contribución torácica al movimiento de la pared torácica.

Los datos se presentan en forma de media (desviación estándar).

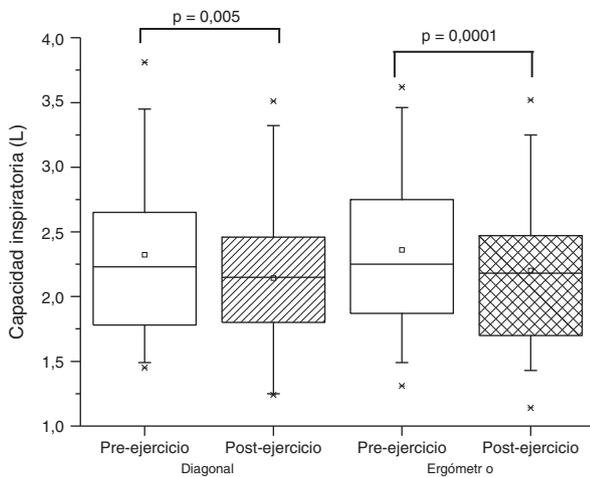


Figura 1. Capacidad inspiratoria antes y después de ejercicios submáximos con la segunda técnica diagonal y el cicloergómetro de brazo. * Valor extremo atípico.

presentaron hiperinsuflación terminaron el ejercicio con una capacidad inspiratoria de $2,29 \pm 0,45$ l, y ello no difería del valor basal ($p = 0,09$).

Configuración toracoabdominal en reposo y tras el ejercicio submáximo con la técnica diagonal

Siete (88%) de los 8 pacientes que presentaron hiperinsuflación durante el ejercicio submáximo realizado con la técnica diagonal presentaron asincronía toracoabdominal. La media de ACM/VC del grupo fue de $1,07 \pm 0,10$ y $1,26 \pm 0,42$ ($p = 0,01$) en reposo y al final del ejercicio, respectivamente (fig. 2). El compartimento abdominal producía la parte más importante del desplazamiento en la asincronía del movimiento de la pared torácica en estos pacientes, con un aumento del 58 ± 14 al $73 \pm 19\%$ (tabla 3).

Capacidad inspiratoria en reposo y tras el ejercicio submáximo con el cicloergómetro de brazo

Dieciséis (64%) de los 25 pacientes presentaron hiperinsuflación durante el ejercicio submáximo con el cicloergómetro de brazo. La media de capacidad inspiratoria del grupo se redujo de $2,32 \pm 0,58$ a $2,15 \pm 0,56$ l ($p = 0,0001$) en reposo y al final del ejercicio, respectivamente (fig. 1). El resto de los pacientes que no presentaron

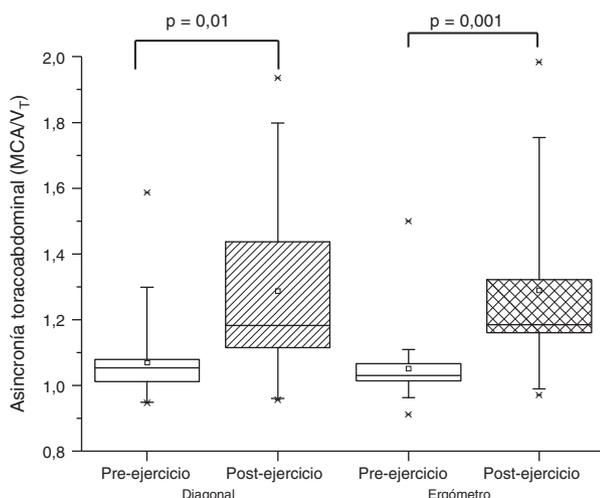


Figura 2. Asincronía toracoabdominal antes y después de ejercicios submáximos con la segunda técnica diagonal y el cicloergómetro de brazo. * Valor extremo atípico.

hiperinsuflación finalizaron el ejercicio con una capacidad inspiratoria de $2,31 \pm 0,65$ l, que no fue diferente del valor basal ($p = 0,1$).

Configuración toracoabdominal en reposo y tras el ejercicio submáximo con el cicloergómetro de brazo

Catorce (88%) de los 16 pacientes que presentaron hiperinsuflación durante el ejercicio submáximo con el cicloergómetro de brazo mostraron una asincronía toracoabdominal. La media de ACM/VC del grupo fue de $1,05 \pm 0,1$ y $1,29 \pm 0,25$ ($p = 0,001$) en reposo y al final del ejercicio, respectivamente (fig. 2). El compartimento abdominal producía la parte más importante del desplazamiento en la asincronía del movimiento de la pared torácica en estos pacientes, con un aumento del 58 ± 16 al $75 \pm 19\%$ (tabla 3).

Ejercicio submáximo realizado con la técnica diagonal y con el cicloergómetro de brazo: comparación de variables ventilatorias de pacientes con y sin hiperinsuflación

Los pacientes que presentaron hiperinsuflación durante el ejercicio diagonal y de cicloergómetro de brazo mostraron un TE significativamente menor y valores significativamente mayores de FR, VC/TI, VP, disnea y asincronía toracoabdominal, en comparación con los pacientes sin hiperinsuflación ($p > 0,05$). No hubo diferencias en cuanto a la gravedad de la enfermedad entre los 2 grupos, según las determinaciones realizadas con el FEV₁ y la FVC (tabla 4).

Discusión

Este estudio nos permitió obtener los siguientes resultados: en primer lugar, al menos una tercera parte de los pacientes con EPOC presentaron una hiperinsuflación significativa tras una prueba de ejercicio de las extremidades superiores. En segundo lugar, la asincronía toracoabdominal se produjo tan solo en los pacientes que presentaban una hiperinsuflación pulmonar dinámica. En tercer lugar, el ejercicio de las extremidades superiores con la técnica diagonal induce menor hiperinsuflación pulmonar dinámica, asincronía toracoabdominal y alteraciones del patrón respiratorio que la técnica de cicloergómetro de brazo.

A pesar de que el entrenamiento con cicloergómetro de brazo suele considerarse el patrón de referencia en la rehabilitación de los músculos de las extremidades superiores, la técnica diagonal se emplea también para el entrenamiento de la mitad superior del cuerpo, ya que se parece a los movimientos de varias actividades de la vida diaria y porque comporta el empleo de un mayor número de grupos musculares¹⁴.

Ashutosh et al.¹⁸ y Tobin et al.^{19,20} estudiaron los patrones respiratorios en pacientes con EPOC que realizaban actividades sencillas de la vida diaria con los brazos, como peinarse o anudarse los cordones de los zapatos, y observaron que estos pacientes presentaban una asincronía toracoabdominal. Gigliotti et al.³ fueron los primeros en demostrar que los pacientes con EPOC pueden presentar una hiperinsuflación pulmonar dinámica durante el ejercicio de las extremidades superiores que conduce a un aumento de la carga ventilatoria. Se cree que existe una asociación entre el aumento de la disnea y el aumento de la asincronía toracoabdominal con hiperinsuflación, pero dicha asociación no se ha demostrado hasta el momento.

Se prevé la aparición de la asincronía toracoabdominal con el aumento de la resistencia respiratoria^{2,13} (vías aéreas altas o bajas, tejido pulmonar), la disminución de la distensibilidad pulmonar^{18,19} (enfermedad parenquimatosa) y el aumento de la distensibilidad de la pared torácica²⁰ (caja costal flexible, enfermedad neuromuscular), y ello puede contribuir a producir la fatiga de los músculos respiratorios²¹⁻²⁴.

Tabla 4
Variables ventilatorias obtenidas en pacientes con y sin hiperinsuflación al final de los ejercicios submáximos realizados con la segunda técnica diagonal y el cicloergómetro de brazo

Variables	Hiperinsuflación	Sin hiperinsuflación	p
<i>TI (s)</i>			
Diagonal	1,1 (0,1)	1,4 (0,14)	0,06
Ergómetro	1,2 (0,36)	1,3 (0,40)	0,20
<i>TI/TRT</i>			
Diagonal	0,4 (0,10)	0,3 (0,10)	0,07
Ergómetro	0,45 (0,1)	0,28 (0,02)	0,02
<i>TE (s)</i>			
Diagonal	1,0 (0,13)	1,3 (0,24)	0,02
Ergómetro	1,1 (0,26)	2,1 (0,39)	0,01
<i>FR (rotaciones/min)</i>			
Diagonal	28,6 (3,0)	22,3 (3,7)	0,03
Ergómetro	26,5 (3,6)	17,6 (3,5)	0,01
<i>Vt/TI (ml/s)</i>			
Diagonal	804,1 (78,7)	631,2 (70,3)	0,01
Ergómetro	874,2 (71,6)	667,2 (82,1)	0,01
<i>VP (l)</i>			
Diagonal	25,3 (4,6)	19,7 (5,5)	0,03
Ergómetro	27,8 (5,7)	18,4 (3,1)	0,02
<i>Disnea</i>			
Diagonal	8,3 (1,4)	6,1 (2,3)	0,02
Ergómetro	7,4 (2,6)	4,9 (2,2)	0,01
<i>FEV₁ (% del esperado)</i>			
Diagonal	39,4 (10,2)	42,9 (12,9)	0,06
Ergómetro	37,2 (11,5)	41,1 (12,6)	0,06
<i>FVC (% del esperado)</i>			
Diagonal	78,9 (15,2)	85,8 (16,5)	0,06
Ergómetro	80,9 (14,8)	84,4 (18,2)	0,09
<i>ACM/VC</i>			
Diagonal	1,29 (0,26)	1,15 (0,42)	0,04
Ergómetro	1,29 (0,25)	1,12 (0,30)	0,02
<i>%ABD</i>			
Diagonal	72 (10)	60 (12)	0,001
Ergómetro	74 (11)	58 (9)	0,001
<i>%Tx</i>			
Diagonal	48 (15)	45 (18)	0,20
Ergómetro	48 (12)	44 (17)	0,20

ACM/VC: cociente amplitud compartimental máxima/volumen corriente; FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FR: frecuencia respiratoria; FVC: capacidad vital forzada; TE: tiempo espiratorio; TI: tiempo inspiratorio; TI/TRT: cociente tiempo inspiratorio/tiempo respiratorio total; VC/TI: flujo inspiratorio medio; VP: ventilación pulmonar; %ABD: porcentaje de contribución abdominal al movimiento de la pared torácica; %Tx: porcentaje de contribución torácica al movimiento de la pared torácica. Los datos se presentan en forma de media (desviación estándar).

Nuestros pacientes no presentaron asincronía toracoabdominal antes de las pruebas de ejercicio diagonal (ACM/VC = 1,07 ± 0,12) y de cicloergómetro de brazo (ACM/VC = 1,05 ± 0,15); sin embargo, durante el ejercicio, aproximadamente el 30% de los pacientes con la técnica diagonal y el 60% de los pacientes con el cicloergómetro de brazo presentaron una asincronía toracoabdominal, con un aumento de la participación del componente abdominal desproporcionada respecto a la del componente torácico. El movimiento abdominal contribuyó en un 75% al movimiento de la pared torácica, mientras que el movimiento torácico contribuyó en un 50%, con lo que la suma de ambos compartimentos alcanzó el 125% respecto al periodo de reposo; ello indica claramente una asincronía toracoabdominal. Podemos plantear, pues, la hipótesis de que la asincronía que presentaron los pacientes se debió principalmente a un trabajo excesivo realizado por el músculo diafragma. Criner y Celli²⁴ demostraron que, durante el ejercicio del brazo, la caja torácica y la pared abdominal deben fijarse para estabilizar el torso, con lo que la caja costal pasa a ser más rígida.

De igual modo, los ejercicios de los brazos pueden producir una estabilización de la caja costal y una movilización excesiva del abdomen que dé lugar a un volumen pulmonar teleespiratorio

creciente. Vogiatzis et al.²¹ y Aliverti et al.²² observaron que la hiperinsuflación tardía durante un ejercicio de las piernas se asoció a un aumento del movimiento del compartimento abdominal. Algunos datos recientes han indicado que los pacientes que realizaron un ejercicio con un cicloergómetro de piernas presentaron un aumento del volumen teleespiratorio y presumiblemente hicieron frente a la acción espiratoria de la parte baja de la caja costal. Un posible mecanismo que subyace en este proceso es la hiperinsuflación dinámica que podría haberse producido en los pacientes con asincronía²².

La limitación del ejercicio que se da en los pacientes con EPOC es bien conocida y se asocia predominantemente a la ventilación^{11,12}. Nosotros observamos un aumento de la VP, la FR, el VC, el flujo inspiratorio medio y la disnea, y una disminución del TE en el ejercicio máximo y submáximo realizado con la técnica diagonal y la técnica de cicloergómetro de brazo. Pudimos observar también que la técnica que potenciaba en mayor medida la VP y la disminución del TE era la del cicloergómetro de brazo, en comparación con la del ejercicio en diagonal (tabla 3). No se observó una diferencia de frecuencia cardíaca entre los ejercicios de las extremidades superiores, y ello indicaba que los pacientes realizaron ejercicio con la misma carga de trabajo (tabla 3). Probablemente podemos partir del supuesto

de que la hiperventilación y el acortamiento del TE conducen a una hiperinsuflación pulmonar dinámica que impone una carga en el sistema, con lo que aumenta el trabajo elástico de la respiración, y ello puede predisponer a la fatiga. Los pacientes con hiperinsuflación mostraron un aumento del flujo inspiratorio medio, lo cual refleja el mayor impulso respiratorio que estos pacientes tenían que generar.

Además de ello, observamos que la asincronía toracoabdominal solamente se producía en los pacientes con hiperinsuflación. Con independencia de cuál fuera el ejercicio, los pacientes que presentaron una hiperinsuflación pulmonar y asincronía toracoabdominal mostraron niveles superiores de VP, FR, VC/TI y sensación de disnea de manera asociada a un TE más corto, en comparación con los pacientes sin hiperinsuflación (tabla 4). Sin embargo, el porcentaje de pacientes que presentaron estas alteraciones fue menor durante la técnica diagonal que durante la de cicloergómetro de brazo. Creemos que la menor prevalencia de aparición de hiperinsuflación dinámica con el ejercicio diagonal se debe al mayor TE que presentaron los pacientes y que permite expulsar por completo el volumen corriente inspiratorio, con lo que se mantiene un volumen pulmonar teleespiratorio más estable. Así pues, es posible que la técnica diagonal sea más adecuada para el ejercicio de las extremidades superiores, ya que no solamente induce menos hiperinsuflación dinámica y asincronía toracoabdominal, sino que además su introducción en un programa de rehabilitación de aplicación diaria es más barata. No obstante, para ser precisos, esta observación deberá evaluarse mediante un programa completo de rehabilitación con las extremidades superiores, puesto que el entrenamiento físico continuo a largo plazo puede reducir la hiperinsuflación pulmonar dinámica que presentaron estos pacientes durante las pruebas de ejercicio de los brazos.

Nuestro estudio presenta 3 limitaciones: En primer lugar, no medimos los volúmenes pulmonares estáticos totales de nuestros pacientes y cabe argumentar que tales determinaciones contribuirían a mejorar la evaluación de su estado respiratorio en reposo. Sin embargo, nos centramos principalmente en la evaluación de la capacidad inspiratoria dinámica y la asincronía al final de los ejercicios y no en el grado de hiperinsuflación pulmonar estática. Además, diseñamos el estudio para evaluar la hiperinsuflación dinámica al final de la prueba de ejercicio y, lamentablemente, no medimos la capacidad inspiratoria en el momento de llevar a cabo los ejercicios. Esta evaluación nos hubiera proporcionado información relativa al momento exacto de instauración de la hiperinsuflación dinámica; sin embargo, el objetivo del estudio no era este y nuestra finalidad fue observar específicamente la hiperinsuflación pulmonar al final de las pruebas de ejercicio. En segundo lugar, seleccionamos tan solo a pacientes con EPOC GOLD III y IV; sin embargo, de hecho pretendíamos elegir a este tipo de pacientes, ya que en nuestra práctica clínica de rehabilitación pulmonar observamos que son los que presentan las puntuaciones más altas de disnea mientras llevan a cabo los ejercicios con los brazos. Así pues, a partir de esta observación clínica planteamos la hipótesis de que habría diferencias en las variables de valoración primarias (capacidad inspiratoria y asincronía toracoabdominal) en estos pacientes seleccionados. En tercer lugar, no determinamos la carga metabólica de ambos tipos de ejercicio del brazo; sin embargo, la carga de trabajo del ejercicio diagonal y la del cicloergómetro de brazo se igualaron mediante la frecuencia cardíaca alcanzada en el ejercicio máximo, que es una variable representativa de la cantidad de trabajo producida en cada ejercicio.

Hasta donde nosotros sabemos, la observación novedosa de este estudio es que, por primera vez, se ha demostrado que la hiperinsuflación dinámica y la asincronía toracoabdominal se producían de forma simultánea en pacientes con EPOC que realizaban un ejercicio de las extremidades superiores mediante un cicloergómetro de brazo o con la técnica diagonal.

Nuestra conclusión es que la hiperinsuflación dinámica se produce a causa de una respiración superficial que es nociva para el patrón respiratorio ya que los pacientes con EPOC desarrollan una asincronía toracoabdominal y niveles superiores de disnea durante la aplicación de la técnica diagonal y la técnica de cicloergómetro de brazo. Es posible que el ejercicio diagonal sea la técnica más adecuada para el uso en la práctica clínica en comparación con la del cicloergómetro de brazo, ya que induce menos hiperinsuflación y asincronía toracoabdominal en pacientes con EPOC.

Conflicto de intereses

Ninguno de los autores tiene ningún conflicto de intereses que declarar en relación con este trabajo. No tuvimos relaciones económicas ni personales con otras personas u organizaciones que pudieran influir de manera inadecuada en nuestro trabajo, como las de empleo, consultoría, propiedad de acciones, honorarios, testimonio experto remunerado, solicitudes/registro de patentes, y subvenciones u otra financiación. Ninguna compañía tabaquera ha financiado parte alguna de este manuscrito.

Bibliografía

- Ries AL, Ellis B, Hawkins RWH. Upper extremity exercise training in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*. 1988;93:688-92.
- Celli B, Rassulo J, Make B. Dyssynchronous breathing during arm but not leg exercise in patients with chronic airflow obstruction. *N Engl J Med*. 1986;314:1485-90.
- Gigliotti F, Coli C, Bianchi R, Grazzini M, Stendardi L, Castellani C, et al. Arm exercise and hyperinflation in patients with COPD. Effect of arm training. *Chest*. 2005;128:1225-32.
- GOLD 2008 update: global strategy for the diagnosis, management, and prevention of COPD. Last updated: December 1, 2008 [consultado 1 Mar 2009]. Disponible en: www.goldcopd.com/Guidelineitem.asp?l1=2&l2=1&intId=989
- ATS/ERS Task Force. Standards for the diagnosis and treatment of patients with COPD: a summary of the ATS/ERS position paper. *Eur Respir J*. 2004;23:932-46.
- Neder JA, Andreoni S, Lerário MC, Nery LE. Reference values for lung function test. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res*. 1999;32:719-27.
- Lerario MC, Sachs A, Lazaretti-Castro M, Saraiva LG, Jardim JR. Body composition in patients with chronic obstructive pulmonary disease: which method to use in clinical practice? *Br J Nutr*. 2006;96:86-92.
- Yan S, Dariusz K, Sliwinski P. Reliability of inspiratory capacity for estimating end-expiratory lung volume changes during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;156:55-9.
- O'Donnell DE, Revill SM, Webb KA. Dynamic hyperinflation and exercise intolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164:770-7.
- O'Donnell DE, Lam M, Webb KA. Measurement of symptoms, lung hyperinflation, and endurance during exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;159:720-7.
- Velloso M, Jardim JR. Study of energy expenditure during activities of daily living using and not using body position recommended by energy conservation techniques in patients with COPD. *Chest*. 2006;130:126-32.
- Cardoso F, Tufanin AT, Colucci M, Nascimento O, Jardim JR. Replacement of the 6-min walk test with maximal oxygen consumption in the BODE Index applied to patients with COPD: an equivalency study. *Chest*. 2007;132:477-82.
- Cohn MA, Rao ASV, Broudy M, Birch S, Watson H, Atkins N, et al. The respiratory inductive plethysmograph: A new non-invasive monitor of respiration. *Bull Europ Physiopath Resp*. 1982;18:643-58.
- Surburg PR, Schrader JW. Proprioceptive neuromuscular facilitation techniques in sports medicine: a reassessment. *Journal of Athletic Training*. 1997;32:34-9.
- Kabat H. Studies on neuromuscular dysfunction. XV. The role of central facilitation in restoration of motor function in paralysis. *Arch Phys Med*. 1952;33:521-33.
- Martinez FJ, Vogel PD, Dupont DN, Stanopoulos I, Gray A, Beamis JF. Supported arm exercise vs unsupported arm exercise in the rehabilitation of patients with severe chronic airflow obstruction. *Chest*. 1993;103:1397-402.
- Pulmonary rehabilitation — BTS. *Thorax*. 2001;56:827-34.
- Ashutosh K, Gilbert R, Auschincloss Jr JH, Peppi D. Asynchronous breathing movements in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*. 1975;67:553-7.
- Tobin MJ, Jenouri G, Lind B, Watson H, Schneider A, Sackner MA. Validation of respiratory inductive plethysmography in patients with pulmonary disease. *Chest*. 1983;83:615-20.

20. Tobin MJ, Chadha TS, Jenouri G, Birch SJ, Gazeroglu HB, Sackner MA. Breathing patterns. 2. Diseased subjects. *Chest*. 1983;84:286–94.
21. Vogiatzis I, Georgiadou O, Golemati S, Aliverti A, Kosmas E, Kastanakis E, et al. Patterns of dynamic hyperinflation during exercise and recovery in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*. 2005;60:723–9.
22. Aliverti A, Quaranta M, Chakrabarti B, Albuquerque ALP, Calverley PM. Paradoxical movement of the lower ribcage at rest and during exercise in COPD patients. *Eur Respir J*. 2009;33:49–60.
23. Porto EF, Castro AAM, Nascimento O, Oliveira RC, Cardoso F, Jardim JR. Modulation of operational lung volumes with the use of salbutamol in COPD patients accomplishing upper limbs exercise tests. *Respir Med*. 2009;103:251–7.
24. Criner GJ, Celli BR. Effect of unsupported arm exercise on ventilatory muscle recruitment in patients with severe chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis*. 1988;138:856–61.