

Predicción de la ventilación máxima alcanzada en el esfuerzo en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica

J.G. Soto Campos, F. Ortega Ruiz, J.A. Rodríguez Portal, F. Valenzuela Mateo, T. Montemayor y H. Sánchez Riera

Servicio de Neumología. Hospital Virgen del Rocío. Sevilla.

Para analizar la validez de parámetros funcionales basales en la predicción de la VE_{\max} obtenida en el esfuerzo en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), estudiamos a 33 pacientes en situación estable (FEV_1 $43,6 \pm 16,8\%$, $FEV_1/FVC\%$ $48,4 \pm 9,2$, FRC $156,8 \pm 32,7\%$ y RV $212 \pm 53,9\%$), dividiéndolos posteriormente en 3 grupos atendiendo a la severidad de la afección (severa, moderada o leve) para observar si la predicción de la ventilación máxima mejoraba al incrementarse la obstrucción de las vías aéreas (FEV_1 $26,9 \pm 4,9\%$, $40,2 \pm 3,5\%$ y $63,9 \pm 10\%$, respectivamente). Los enfermos fueron sometidos a pruebas de función pulmonar en reposo y posteriormente a un test de esfuerzo progresivo y máximo realizado mediante tapiz rodante. Observamos una mejor correlación con VE_{\max} para RV , FEV_1 y FRC ($r = -0,77$, $0,75$ y $-0,74$, respectivamente) apreciando una mejoría en esta relación cuando considerábamos a los enfermos más afectados, $FEV_1 < 35\%$ del predicho ($r = -0,88$, $0,753$ y $-0,83$, respectivamente) y disminuyendo o desapareciendo en los grupos que presentaban un menor deterioro funcional. La predicción de la VE_{\max} se consiguió con mayor fiabilidad en ecuaciones que utilizaban conjuntamente FEV_1 y datos referentes al grado de insuflación de los pacientes, RV o FRC ($VE_{\max} = 45,2 + 8,98 \times FEV_1 - 5,07 \times RV$; $r^2 = 0,72$) que con aquellas basadas en FEV_1 aisladamente ($VE_{\max} = 14,79 + 15,03 \times FEV_1$; $r^2 = 0,56$). Por tanto, de nuestros hallazgos podemos concluir que la limitación ventilatoria al ejercicio en pacientes con EPOC queda mejor definida añadiendo al grado de obstrucción espiratoria parámetros de insuflación pulmonar, condicionantes de la mayor o menor eficacia muscular durante el esfuerzo. Esto es particularmente evidente en el grupo de enfermos más severamente afectados, mientras que en el resto la relación de la máxima ventilación con los datos de función pulmonar fue menos satisfactoria.

Palabras clave: *Enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Test de esfuerzo. Limitación ventilatoria al ejercicio.*

Arch Bronconeumol 1995; 31: 448-454

Predicting maximal exercise ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease

To analyze the validity of baseline lung function parameters as predictors of maximal exercise ventilation (VE_{\max}) in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), we studied 33 stable patients (FEV_1 $43.6 \pm 16.8\%$, $FEV_1/FVC\%$ 48.4 ± 9.2 , FRC $156.8 \pm 32.7\%$ and RV $212 \pm 53.9\%$). The sample was later divided into 3 groups based on severity of disease (severe, moderate or mild) in order to determine whether ability to predict VE_{\max} increased with airways obstruction (FEV_1 $26.9 \pm 4.9\%$, $40.2 \pm 3.5\%$ and $63.9 \pm 10\%$, respectively). The patients underwent lung function testing at rest and after a progressive stress test, with the maximal reading taken with the subject on a tread mill. We found greater correlation between VE_{\max} and RV , FEV_1 and FRC ($r = -0.77$, 0.75 and -0.74 , respectively); the correlation was stronger in patients with severe COPD, in whom FEV_1 was under 35% of the predicted value ($r = -0.88$, 0.753 and -0.83 , respectively). Correlation decreased or disappeared with less functional impairment. Prediction of VE_{\max} was more reliable with equations that employed FEV_1 accompanied by data reflecting degree of insufflation, RV or FRC ($VE_{\max} = 45.2 + 8.98 \times FEV_1 - 5.07 \times RV$; $r^2 = 0.72$) than with equations based on FEV_1 alone ($VE_{\max} = 14.79 + 15.03 \times FEV_1$; $r^2 = 0.56$). We therefore conclude that ventilatory limitation during exercise in patients with COPD is better defined by considering parameters related to lung insufflation along with those reflecting degree of expiratory obstruction, given that the former affect the greater or lesser efficacy of muscles under stress. This is particularly true in more severely affected patients, whereas in others the relation between maximal ventilation and lung function data is less clear.

Key words: *Chronic obstructive lung disease. Exercise test. Ventilatory limitation during exercise.*

Introducción

Uno de los factores limitantes del desarrollo de un ejercicio en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es la falta de reserva ventila-

Correspondencia: Dr. J.G. Soto Campos. Quevedo, 4. I.º. 41100 Coria del Río. Sevilla.

Recibido: 29-9-94; aceptado para su publicación: 2-5-95.



toria impuesta por su propio proceso¹. La máxima ventilación voluntaria (MVV) nos proporciona una estimación de la ventilación disponible para responder a demandas fisiológicas. Diferentes variables influyen la MVV, calculada en 12 o 15 segundos, incluyendo la resistencia al flujo aéreo y la fuerza muscular respiratoria². Sin embargo, la práctica de la MVV no está exenta de dificultades de realización, precisa colaboración adecuada y tiene gran variabilidad, lo que ha hecho que sea una prueba actualmente en desuso en la valoración de los pacientes con EPOC. En estos casos, la realización de una prueba progresiva de esfuerzo es más realista y completa, pudiéndose hacer una valoración de patrones ventilatorios, consumo de gases, saturación, respuesta cardiológica, disnea, etc., y con unos registros en ocasiones sencillos (andar si se utiliza tapiz rodante), que la hace especialmente adecuada en este tipo de enfermos. Sin embargo, el conocimiento previo del límite ventilatorio es importante para la selección de un protocolo de esfuerzo, es útil para controlar el grado de colaboración y la realización de un esfuerzo máximo, así como la interpretación clínica del test y la consideración de la reserva respiratoria.

De todas formas, la utilización de la prueba de esfuerzo no se ha generalizado dado el utillaje y personal entrenado que precisa y al no estar exenta de riesgos. Por ello se ha intentado una aproximación tanto a $VE_{m\acute{a}x}$ como a MVV, a partir de parámetros funcionales obtenidos en situación de reposo. La predicción de los valores de la ventilación a máximo ejercicio deberá reflejar la severidad de la enfermedad pulmonar. La relación entre FEV_1 y $VE_{m\acute{a}x}$ en pacientes con EPOC ha sido bien caracterizada, aunque en un sujeto individual puede mostrar gran variabilidad y puede crear cierta incertidumbre en su interpretación clínica³⁻⁷.

Estas diferencias individuales pueden ser debidas, entre otras, al grado de hiperinsuflación que muestran los pacientes. Además de un reducido flujo espiratorio y una afectación para el intercambio de gases, los pacientes con EPOC son susceptibles de una reducción de la fuerza de los músculos inspiratorios⁸; por lo tanto, la consideración de parámetros, aunque sean indirectos, que reflejen el estado de estos músculos podría mejorar la descripción del desarrollo del ejercicio.

El objetivo de este estudio fue analizar la capacidad para predecir la $VE_{m\acute{a}x}$ a partir de los diferentes parámetros funcionales de reposo utilizados rutinariamente en la valoración de los pacientes con EPOC y si la asociación de varios de ellos podría mejorar dicha predicción. El parámetro utilizado habitualmente con este fin, la MVV, no fue incluido en la valoración funcional previa al esfuerzo por ser un test difícilmente realizable, muy disneizante y escasamente reproducible. Dada la variabilidad de los flujos inspiratorios máximos y la dependencia de la inspiración con el esfuerzo, se consideró el grado de insuflación de los pacientes, factor condicionante de la mayor o menor eficacia muscular durante la realización del esfuerzo.

Además, como la limitación ventilatoria es más probable que ocurra en los pacientes más severamente afectados, nuestros pacientes se subdividieron en 3 subgrupos para observar si la predicción de la ventilación máxima mejoraba al incrementarse la obstrucción de las vías aéreas.

Material y método

Hemos estudiado a 33 pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en un período de un año (diciembre de 1992 a diciembre de 1993). El diagnóstico se realizó de acuerdo con criterios clínicos, radiológicos y funcionales. Los pacientes presentaban una obstrucción de las vías aéreas, manifestada por un $FEV_1/FVC\%$ inferior al 70%, así como la ausencia de reversibilidad con broncodilatadores de dicha obstrucción. Todos ellos eran varones fumadores o ex fumadores. Se exigió que se encontrasen estabilizados, fuera de la reagudización y al menos a 3 meses de distancia de un ingreso hospitalario por aumento de su sintomatología respiratoria. Además de la estabilización clínica, se exigió una estabilidad funcional espirográfica y gasométrica, entendida como ausencia de variación gasométrica y espirográfica en un período de 3 meses previos a la prueba.

Los estudios espirográficos se realizaron en un espirógrafo de campana tipo Stead-Wells (Volumograph Minjhardt) y se siguieron las normativas propuestas por la ATS⁹ y la SEPAR¹⁰. Las resistencias de las vías aéreas (Raw) y la capacidad residual funcional se determinaron con un pletismógrafo de volumen constante de 920 l (Masterlab-Jaeger), por el método de Dubois¹¹. La determinación de gasometría arterial se efectuó con muestras de sangre procedentes de la arteria radial o humeral y la medida de la PaO_2 , $PaCO_2$ y pH se llevó a cabo en un analizador de gases AVL-945. Las presiones inspiratorias máximas ($PI_{m\acute{a}x}$) se midieron en la boca, en el curso de esfuerzos inspiratorios máximos desde FRC frente a una vía aérea ocluida, según técnica de Black e Hyatt¹². Se utilizó un manómetro de presión Sibelmed 163¹³ y se efectuaron al menos cinco maniobras correctas, eligiendo el valor máximo. La capacidad de difusión del monóxido de carbono (DLCO) fue medida por el método de respiración única, con un analizador de CO y He (Masterlab-Jaeger). Los valores fueron expresados en porcentaje de los de referencia.

El ejercicio se realizó en un tapiz rodante Laufergotest. Los pacientes desarrollaron un test progresivo y máximo, respirando aire de la habitación. La metodología de la prueba de esfuerzo ya ha sido recogida en publicaciones previas¹⁴. Durante el test, la velocidad permanecía constante y había sido elegida en la fase de entrenamiento por el paciente y cada 3 minutos se aumentaba la pendiente del tapiz de 2,5 en 2,5%, partiendo de 0 de pendiente en el primer escalón, hasta llegar al máximo esfuerzo que el paciente pudiese soportar, cuantificándose el grado subjetivo de disnea mediante escala de Borg en cada etapa de la prueba. Durante el ejercicio los sujetos respiraban a través de una mascarilla MIC4 (VK) con dos válvulas unidireccionales, inspiratoria y espiratoria, de bajo espacio muerto (70 ml). Los datos del ejercicio eran obtenidos en un sistema automatizado (Jaeger Ergo-Oxyscreen) para medir el volumen minuto, los gases respiratorios y la frecuencia cardíaca. Ésta es una unidad para medidas ergoespirométricas del tipo "sistema abierto". La válvula espiratoria, de baja resistencia, estaba conectada a un neumotacógrafo tipo Fleisch a través del cual se calculaban los parámetros ventilatorios. Las determinaciones fueron realizadas cada 30 segundos durante la



TABLA I
Datos de función pulmonar

Variable	Grupo I (n = 11)	Grupo II (n = 11)	Grupo III (n = 11)	Todos (n = 33)
FVC (%)	49,53 ± 6,9	70,1 ± 9,36	91,1 ± 13,9	70,23 ± 19,9
FEV ₁ (%)	26,93 ± 4,9	40,2 ± 3,5	63,9 ± 10	43,6 ± 16,86
FEV ₁ /FVC (%)	43,27 ± 6,1	44,9 ± 8,2	57,09 ± 6,52	48,4 ± 9,2
FRC (%)	171 ± 35	165,5 ± 29,1	139,2 ± 26,7	156,8 ± 32,7
RV (%)	225,4 ± 57,7	216,2 ± 43,2	194,5 ± 59,6	212 ± 53,9
TLC (%)	125,7 ± 14,9	131,2 ± 20,5	123,5 ± 24,7	126,8 ± 20
Raw (cmH ₂ O/l/s)	5,2 ± 2,58	4,63 ± 2,52	3,74 ± 1,42	4,5 ± 2,3
PaO ₂ (mmHg)	62,9 ± 6,28	63,54 ± 8,14	69,81 ± 9,6	65,39 ± 8,5
PaCO ₂ (mmHg)	48,63 ± 6,65	43,9 ± 6,45	40,9 ± 3,53	44,48 ± 6,4
PI _{máx} (mmHg)	58,45 ± 10,08	70,72 ± 16,4	84,18 ± 12,88	71,12 ± 16,8
DLCO (%)	69,8 ± 14,9	81,54 ± 20,6	97,72 ± 16,98	84,4 ± 20,7
CI (l)*	1,24 ± 0,44	1,9 ± 0,46	2,63 ± 0,85	1,93 ± 0,82

Grupo I: afectación muy severa (FEV₁ < 35%); grupo II: afectación severa (FEV₁ entre el 35 y 49%); grupo III: afectación ligera o moderada (FEV₁ > 50%).
*CI: capacidad inspiratoria en litros.

TABLA II
Datos de prueba de esfuerzo

Variable	Grupo I (n = 11)	Grupo II (n = 11)	Grupo III (n = 11)	Todos (n = 33)
VE _{máx} (l/min)	23,9 ± 8,9	33,6 ± 8	44,7 ± 5,5	34 ± 11,3
VO _{2máx} (l/min)	0,9 ± 0,25	1,2 ± 0,32	1,5 ± 0,4	1,2 ± 0,4
VO _{2máx} %	36,5 ± 10	51 ± 14,1	60,4 ± 15	49,3 ± 16
VCO _{2máx} (l/min)	0,63 ± 0,2	0,9 ± 0,26	1,27 ± 0,4	0,9 ± 0,4
Hr (min ⁻¹)	133,7 ± 10	145 ± 23,8	136,6 ± 16	138,4 ± 17
Hr %	81 ± 5,4	88,3 ± 13	80,3 ± 9,3	83,1 ± 10
Fr (min ⁻¹)	35,6 ± 6	35,6 ± 5,3	38,4 ± 7,9	36,2 ± 6,9

VE_{máx}: volumen minuto máximo. VO_{2máx}: consumo de oxígeno máximo. VO_{2máx} %: consumo de oxígeno máximo en relación al predicho. VCO_{2máx}: producción de CO₂. Hr: frecuencia cardíaca en el máximo esfuerzo. Hr %: frecuencia cardíaca máxima en relación a la predicha. Fr: frecuencia respiratoria en el máximo esfuerzo.

prueba y se midieron, entre otros, el volumen minuto (VE), volumen corriente (VT), frecuencia respiratoria (Fr), tiempo inspiratorio (Ti), espiratorio (Te), así como el flujo inspiratorio (Vi/Ti), espiratorio (Ve/Te) y la relación Ti/Ttot. El análisis de gases se realizaba por medio de una bolsa de respiración que servía para la posterior determinación de la concentración de gases en el aire espirado. Para conseguir un valor medio estable, se trabajaba con una mezcla de varios ciclos respiratorios. El análisis del CO₂ se basa en el principio de la absorción infrarroja y la determinación del O₂ se consigue mediante la susceptibilidad paramagnética del O₂.

El control constante de saturación de oxígeno tanto en reposo como en esfuerzo se realizó con un oxímetro de oreja tipo Hewlett Packard. Para el control de la frecuencia cardíaca (Hr), se realizó previo al esfuerzo un electrocardiograma estándar de doce derivaciones y se monitorizó durante el esfuerzo de forma continua con un Hellige Cardiotest EK 41. Además, el Ergo-Oxyscreen posee una entrada para la monitorización continua de la frecuencia cardíaca. Los valores de normalidad para los parámetros de esfuerzo se expresan según los valores de referencia de Hansen et al¹⁵.

Para el análisis estadístico, desarrollamos el coeficiente de correlación de Pearson para determinar el grado y la dirección de la relación entre los índices de función pulmonar en reposo y la ventilación máxima obtenida en el esfuerzo. Para comprobar la influencia del grado de afectación en la capacidad de predicción, dividimos a nuestros pacientes en diferentes grupos según los criterios recomendados por la SE-

PAR¹⁰: muy severa (FEV₁ < 35%), severa (35-49%) y ligera o moderada afectación (FEV₁ > 50%) aplicando en cada grupo las correlaciones anteriores. Realizamos todas las posibles regresiones múltiples lineales entre los parámetros de función pulmonar y posteriormente utilizamos el método *stepwise* para encontrar el modelo matemático con el que lográramos una mayor capacidad de predicción de VE_{máx}. Además, investigamos la adecuación de las principales ecuaciones publicadas para predecir la VE_{máx} en función del FEV₁ en pacientes con EPOC.

Resultados

Los 33 pacientes con EPOC tenían una edad media de 53,64 ± 6,14 años sin encontrar diferencias significativas en los grupos establecidos atendiendo a la severidad de la afectación pulmonar. Todos los pacientes mostraban una obstrucción al flujo aéreo con cifras medias de FEV₁ de 43,66 ± 16,8% y de FEV₁/FVC% de 48,42 ± 9,23. La severidad de la enfermedad variaba de leve a muy severa y el valor absoluto de FEV₁ oscilaba entre 0,55 y 2,89 l (1,28 ± 0,56). En lo que respecta a los gases arteriales, la PaO₂ estaba moderadamente descendida (65,39 ± 8,49) y sólo en 3 pacientes se encontraba por debajo de 55 mmHg. Los valores de PaCO₂ eran normales como media (44,48 ± 6,41) y en trece enfermos superaban los 45

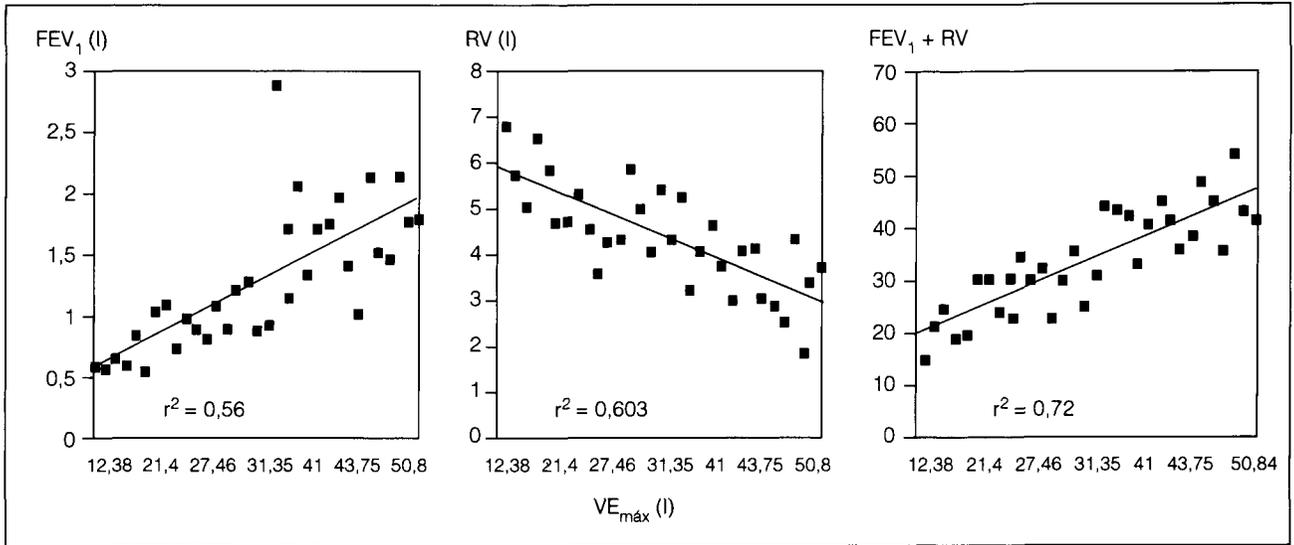


Fig. 1. Correlación entre FEV₁ y RV aislados y conjuntamente con VE_{máx}.

mmHg. Los resultados de las pruebas funcionales de nuestros pacientes quedan reflejados en la tabla I, considerados en global y separados según el grado de obstrucción.

La VE_{máx} alcanzada al final del esfuerzo máximo osciló entre 12,32 y 53 l (34,12 ± 11,36). Todos los pacientes detuvieron el esfuerzo por máxima disnea (cuantificación de la disnea por escala de Borg, 9,75 ± 0,43). El resto de los datos del test de esfuerzo aparece reflejado en la tabla II.

Todos los índices espirográficos y pletismográficos presentaron una aceptable correlación con esta máxima ventilación, excepto TLC, siendo la mejor la encontrada para RV (r = -0,77) y en segundo lugar FEV₁ (r = 0,75) y FRC (r = -0,74). Otros parámetros que también mostraron una correlación aceptable fueron PaCO₂, PI_{máx} y FVC, todos ellos con significación estadística (tabla III). Las correlaciones de FEV₁ y RV con VE_{máx} en los grupos de enfermos establecidos atendiendo a la severidad de la enfermedad muestra-

ron una mejoría en aquellos pacientes más severamente afectados (grupo I), siendo deficiente e incluso no significativa cuando considerábamos esta comparación a medida que disminuía el grado de obstrucción (tabla III).

Las ecuaciones de regresión lineal obtenidas con diferentes parámetros funcionales arrojaron los resultados expuestos en la tabla IV, tanto con parámetros aislados como asociando varios de ellos. La posibilidad de predicción de la ventilación máxima mejoró significativamente analizando conjuntamente FEV₁ y RV, mediante correlación múltiple, siendo ésta superior a otras asociaciones efectuadas (método *stepwise*). Con esta ecuación obtuvimos una mayor bondad de ajuste, mejorando el coeficiente de determinación obtenido (r² con FEV₁ 0,56 y añadiendo RV 0,72), la significación estadística (p = 0,0006 a p = 0,0001) y disminuyendo el error estándar estimado (7,27 a 6,04) (fig. 1). En la figura 2 observamos la relación entre la VE_{máx} real obtenida directamente de la prueba y

TABLA III
Coeficientes de correlación con VE_{máx} de datos funcionales (r)

Variable	Grupo I (n = 11)	Grupo II (n = 11)	Grupo III (n = 11)	Todos (n = 33)
FVC	0,564	0,24	-0,463	0,645*
FEV ₁	0,753*	0,709*	-0,37	0,749*
FEV ₁ /FVC	0,667*	0,543	0,085	0,773*
FRC	-0,83*	-0,464	-0,43	-0,742*
RV	-0,884*	-0,473	-0,406	-0,777*
TLC	-0,768*	-0,304	-0,503	-0,33
Raw	-0,317	-0,307	0,225	-0,35
PaO ₂	-0,098	0,36	0,263	0,366
PaCO ₂	-0,612*	-0,378	-0,05	-0,621*
PI _{máx}	0,72*	0,14	-0,12	0,618*
DLCO	-0,61*	0,442	-0,598*	0,481*
CI	0,534	0,122	-0,335*	0,545*

*p < 0,05; CI: capacidad inspiratoria.

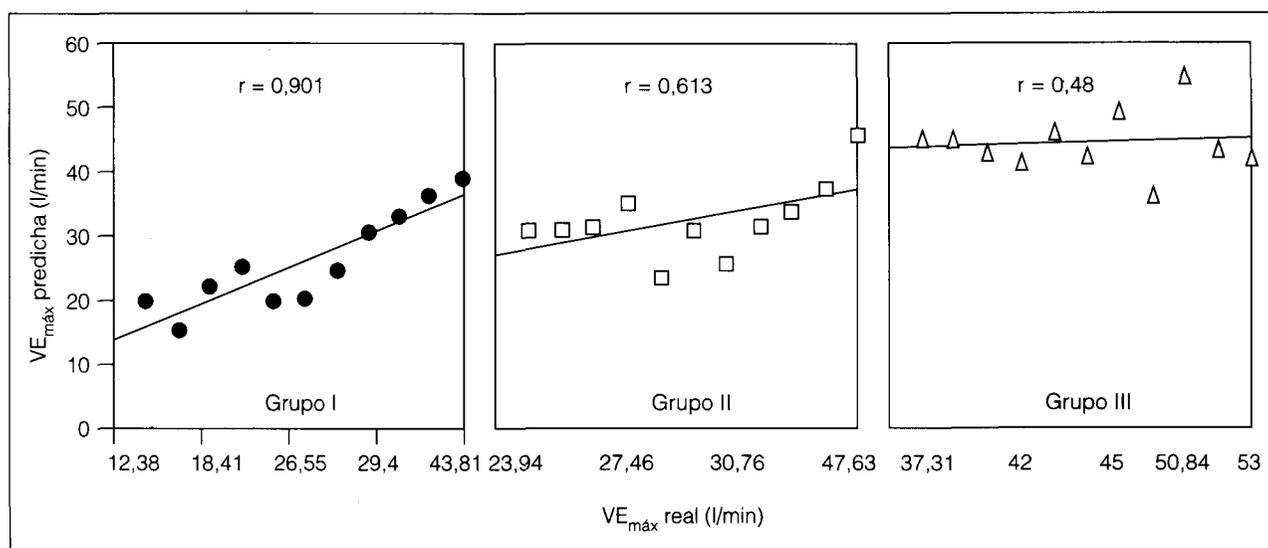


Fig. 2. Correlación entre $VE_{m\acute{a}x}$ real y la predicha por la ecuación basada en RV y FEV_1 . Grupo I: pacientes con $FEV_1 < 35\%$ del teórico; grupo II: FEV_1 entre el 35 y 49%; grupo III: $FEV_1 > 50\%$.

la predicha mediante la ecuación derivada de nuestro estudio (utilizando FEV_1 y RV) en cada uno de los grupos establecidos.

Por otro lado, al comparar algunos de los modelos de predicción de la $VE_{m\acute{a}x}$ y MVV basados en FEV_1 encontrados en la literatura y la ecuación de similares características derivada del análisis de nuestros datos, comprobamos que existía una relación prácticamente superponible entre los valores reales de $VE_{m\acute{a}x}$ obtenidos en el ejercicio y los indirectos resultantes de la aplicación de las anteriores fórmulas matemáticas. Sin embargo, si consideramos con el mismo objetivo las ecuaciones de correlación múltiple basadas en el FEV_1 y volúmenes pulmonares estáticos, la relación anterior mejoraba considerablemente (tabla V).

Discusión

El conocimiento de la capacidad ventilatoria en los pacientes con EPOC es esencial para valorar la limitación al ejercicio de estos enfermos y puede ser útil en la selección de un protocolo de esfuerzo apropiado. Estudios previos han coincidido en la afirmación de que el mejor parámetro funcional, obtenido en reposo, que puede predecir la $VE_{m\acute{a}x}$ alcanzada al final de un esfuerzo máximo, es el volumen espirado en el primer segundo (FEV_1)³⁻⁷ y argumentan de acuerdo con esto que el grado de afectación espiratoria ocasionado por la enfermedad condiciona la reserva ventilatoria en cada uno de los enfermos analizados.

Nosotros hemos reexaminado la relación entre $VE_{m\acute{a}x}$ y FEV_1 en nuestra serie, obteniendo un valor de $r = 0,75$, intermedio con respecto a los observados por otros autores, Spiro et al³ y Carter et al⁵ ($r = 0,81$) y Jones et al ($r = 0,56$)⁴. Aunque nuestros estudios mostraban correlaciones significativas entre índices de flujo aéreo espiratorio y datos de ejercicio, el intervalo de confianza era ancho y, como el resto de los autores

comenta, el intentar hacer una predicción individual parece inadecuado. Las variaciones entre los datos obtenidos por diferentes autores son probablemente debidas a variaciones en los protocolos de esfuerzo y a la heterogeneidad de las muestras utilizadas. De este modo, Jones⁴ utiliza pacientes con distinto grado de

TABLA IV
Ecuaciones obtenidas mediante análisis de regresión lineal simple o múltiple entre $VE_{m\acute{a}x}$ y parámetros funcionales basales

Fórmulas	r ²	p
$VE_{m\acute{a}x} = 4,39 + 0,42 \times PI_{m\acute{a}x}$	0,38	< 0,001
$VE_{m\acute{a}x} = 73,76 - 7,78 \times FRC$	0,55	< 0,001
$VE_{m\acute{a}x} = 14,79 + 15,03 \times FEV_1$	0,56	< 0,001
$VE_{m\acute{a}x} = 68,31 - 7,66 \times RV$	0,603	< 0,001
$VE_{m\acute{a}x} = 9,58 + 0,11 \times PI_{m\acute{a}x} + 12,56 \times FEV_1$	0,55	< 0,001
$VE_{m\acute{a}x} = 48,84 + 0,18 \times PI_{m\acute{a}x} - 6,19 \times RV$	0,63	< 0,001
$VE_{m\acute{a}x} = 46,74 + 9,79 \times FEV_1 - 4,95 \times FRC$	0,69	< 0,001
$VE_{m\acute{a}x} = 45,2 + 8,98 \times FEV_1 - 5,07 \times RV$	0,72	< 0,001

TABLA V
Relación entre los valores de $VE_{m\acute{a}x}$ reales y los predichos por algunas de las fórmulas de predicción más usadas en la literatura y los obtenidos a partir de las ecuaciones derivadas de nuestro análisis

Fórmulas	Referencia	r
$MVV = 35 \times FEV_1$	6	0,75
$MVV = 40 \times FEV_1$	1	0,75
$VE_{m\acute{a}x} = 37,5 \times FEV_1$	5	0,749
$VE_{m\acute{a}x} = 18,9 \times FEV_1 + 19,7$	3	0,749
$VE_{m\acute{a}x} = 15,03 \times FEV_1 + 14,79^*$		0,749
$VE_{m\acute{a}x} = 46,74 + 9,79 \times FEV_1 - 4,95 \times FRC^*$		0,806
$VE_{m\acute{a}x} = 45,2 + 8,9 \times FEV_1 - 5,07 \times RV^*$		0,858

*Ecuaciones obtenidas en nuestro estudio.

afectación, con un FEV_1 que oscilaba entre 0,4 y 3 l (media, 1,65 l), mientras que Carter⁵ incluye a enfermos con un valor máximo del volumen espirado en el primer segundo de 1,64 l (media de 1 l). De esta forma, el valor predictivo del parámetro utilizado podría variar según la severidad de la obstrucción y por ello al analizar separadamente, en nuestro grupo de enfermos (0,55 hasta 2,89 l) la correlación anterior ($r = 0,75$), observamos que en pacientes con un tanto por ciento de FEV_1 con respecto al predicho inferior al 50% (FEV_1 máximo de 1,52 l), la relación con $VE_{m\acute{a}x}$ mejoraba alcanzando una $r = 0,78$, de forma similar a lo ocurrido con la población estudiada por Carter⁵. Sin embargo, en pacientes menos afectados esta relación es menor e incluso deja de ser significativa.

La existencia de una gran variabilidad entre el FEV_1 y la $VE_{m\acute{a}x}$ posiblemente se deba a que la afectación espiratoria no es el único factor que explica la desventaja de la mecánica pulmonar de estos pacientes frente al ejercicio y, por tanto, otros parámetros basales pueden ser utilizados conjuntamente para mejorar la predicción de la máxima ventilación alcanzada en ejercicio. En este sentido, Dillard et al^{7,16} utilizan el pico de flujo inspiratorio máximo junto al FEV_1 con este objetivo y apuntan que la fuerza muscular inspiratoria puede ser un determinante de la capacidad de ejercicio en este tipo de enfermos. Nosotros encontramos buenas correlaciones entre la ventilación máxima y los volúmenes estáticos pulmonares representados por FRC y RV. Esta estrecha relación posiblemente tenga su justificación en la afectación de los músculos inspiratorios debido a la hiperinsuflación por alteración de la relación fuerza-longitud. Estos músculos se acortarían a volúmenes pulmonares altos, por lo que su longitud de reposo sería inferior a la óptima y disminuiría la fuerza que son capaces de desarrollar^{8,17}. En este sentido, Decramer¹⁸ et al y Pereira et al¹⁹ encuentran que los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica presentan un descenso de las presiones inspiratorias máximas que son capaces de desarrollar, que se corrigen por completo cuando se ponen en relación al volumen pulmonar aumentado en que han sido realizadas; por tanto, atribuyen a la hiperinsuflación el papel exclusivo en dicho descenso de $PI_{m\acute{a}x}$. Quizás por ello, el valor predictivo de las ecuaciones obtenidas en nuestro análisis se vio incrementado, cuando se establecieron correlaciones múltiples entre RV y FEV_1 o entre este último y FRC. Esto fue particularmente más evidente en el grupo de enfermos más afectados ($FEV_1 < 35\%$), coincidiendo en este punto con los resultados de LoRusso et al²⁰ recientemente publicados. Sin embargo, en los enfermos menos afectados, observamos una menor correlación de $VE_{m\acute{a}x}$ con los datos funcionales obtenidos en reposo y quizás, en ellos, sean más necesarias las medidas directas obtenidas en el esfuerzo.

La relación entre RV, FRC y $VE_{m\acute{a}x}$ encontrada en este estudio muestra la importancia de la función de los músculos inspiratorios en la EPOC. Roussos y Macklem²¹ demostraron la importancia de la fuerza inspiratoria máxima de estos músculos en relación a

la capacidad de los sujetos estudiados para sostener la ventilación frente a cargas resistivas. Sonne y Davis²² encontraron una mejoría en la $VE_{m\acute{a}x}$ y $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ en pacientes con EPOC tras realizar entrenamiento de endurance resistivo inspiratorio, aunque otros autores sólo encuentran esta mejoría en enfermos que mostraban evidencias electromiográficas de fatiga diafragmática²³. En nuestro estudio, la utilización de otras variables como la capacidad inspiratoria o la presión inspiratoria máxima no permitió una mayor aportación en relación a las ya reseñadas.

De nuestros resultados, se deduce la importancia de la valoración del grado de obstrucción y de insuflación en sujetos afectados de EPOC en la predicción de la $VE_{m\acute{a}x}$. De este modo, ecuaciones que utilizan conjuntamente FEV_1 y FRC o RV permiten una mayor fiabilidad que aquellas basadas en parámetros funcionales aislados en la determinación de esta máxima ventilación, siendo esto particularmente evidente en los pacientes más afectados por la enfermedad. Por tanto, podemos disponer de un índice objetivo de gran ayuda en la interpretación clínica del test, permitiéndonos distinguir entre esfuerzos máximos y submáximos o bien aquellos en que la limitación se debió a causas no respiratorias. De todas formas, debemos tener presente que estos valores son sólo aproximativos y que la relación entre parámetros basales y la ventilación máxima alcanzada en el ejercicio decrece a medida que existe una menor afectación funcional respiratoria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Loke J, Mahler DA, Paul Man SF, Wiedemann HP, Matthay RA. Exercise impairment in chronic obstructive pulmonary disease. *Clinics in Chest Medicine* 1984; 5: 1, 121-143.
2. Freedman S. Sustained maximal voluntary ventilation. *Respir Physiol* 1978; 99: 230-244.
3. Spiro SG, Hahn HL, Edwards RHT, Pride NB. An analysis of the physiological strain of submaximal exercise in patients with obstructive bronchitis. *Thorax* 1975; 30: 415-425.
4. Jones NL, Jones G, Edwards RHT. Exercise tolerance in chronic airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1971; 103: 477-491.
5. Carter R, Peavler M, Zinkgraf S, Williams J, Fields S. Predicting maximal exercise ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1987; 92: 253-259.
6. Gandevia B, Hugh-Jones P. Terminology for measurements of ventilatory capacity. *Thorax* 1957; 12: 290-293.
7. Dillard TA, Piantadosi S, Rajagopal R. Prediction of ventilation at maximal exercise in chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1985; 132: 230-235.
8. Rochester DF. The respiratory muscles in COPD. State of the art. *Chest* 1984; 85 Supl: 47-50.
9. American Thoracic Society. Standardization of spirometry. *Am Rev Respir Dis* 1987; 136: 1.285-1.298.
10. Sociedad Española de Patología Respiratoria (SEPAR). Normativa para la espirometría forzada. Barcelona: Ed. Doyma, 1985.
11. Dubois AB. A rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volumen. A comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. *J Clin Invest* 1956; 35: 322-326.
12. Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969; 99: 696-702.



13. Casen P, Gines J, Sanchis J. Valoración de un nuevo manómetro para presiones respiratorias máximas. *Arch Bronconeumol* 1989; 25: 322-325.
14. Ortega F, Montemayor T, Morales MA, Ayerbe R, Hernández F, Castillo J. Variabilidad de la medida de la sensación de disnea durante el esfuerzo en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Arch Bronconeumol* 1993; 29: 7-11.
15. Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129 Supl: 49-55.
16. Dillard TA, Piantadosi MD, Rajagopal KR. Determinants of maximum exercise capacity in patients with chronic airflow obstruction. *Chest* 1989; 96: 267-271.
17. Braun NMT, Arora NS, Rochester DF. Force-length relationship of the normal human diaphragm. *J Appl Physiol* 1982; 53: 405-412.
18. Decramer M, Demedts M, Rochette F, Billiet L. Maximal trans-respiratory pressure in obstructive lung disease. *Bull Eur Physio-pathol Respir* 1980; 16: 479-490.
19. Pereira Vega A, Capote Gil F, Sotomayor A, Castillo Gómez J, Rodríguez Panadero F, Valera Sánchez A. *Neumosur* 1990; 2: 24-30.
20. LoRusso TJ, Belman MJ, Elashoff JD, Koerner SK. Prediction of maximal exercise capacity in obstructive and restrictive pulmonary disease. *Chest* 1993; 104: 1.748-1.754.
21. Roussos CS, Macklem PT. Diaphragmatic fatigue in man. *J Appl Physiol* 1977; 43: 189-197.
22. Sonne LJ, Davis JA. Increased exercise performance in patients with severe COPD following inspiratory resistive training. *Chest* 1982; 81: 436-439.
23. Pardy RL, Rivington RN, Despas PJ, Macklem PT. The effects of inspiratory muscle training on exercise performance in chronic airflow limitation. *Am Rev Respir Dis* 1981; 123: 426-433.