

La reactividad de la musculatura bronquial en sujetos jóvenes. Patrones en condiciones normales

Cor. M.C. Ret. Juan **García-Ramos**,* Sbtte. M.C. Alfonso **Garfias-Arvizu****

Escuela Médico Militar. Ciudad de México.

RESUMEN. Se analiza críticamente el método presentado en un trabajo anterior⁴ en el que se explora, de una manera sencilla, en el hombre, la reactividad de la musculatura de los bronquios. Se presentan los resultados obtenidos con este método en 35 sujetos jóvenes sanos. El propósito fue el de encontrar valores que pudieran ser considerados como representativos de los patrones normales para individuos sanos, los cuales podrían servir de base para su comparación con los que se obtengan en los estudios de casos patológicos. Se discute la posibilidad de que la medida de la circunferencia torácica no represente un cambio proporcional de la capacidad pulmonar. Se presentan los resultados de los controles realizados en apoyo de este postulado, uno de los que sirvieron de base para la justificación del método. Se confirma que el músculo liso de los bronquios se encuentra en estado dinámico en las condiciones fisiológicas y que participa en la actividad refleja del sistema nervioso autónomo y en los estados emocionales. Se compara la actividad de este tipo de músculo con la de otros efectores autonómicos.

Palabras clave: músculo bronquial, actividad refleja, fisiología, psicología, respiración.

En un trabajo anterior⁴ fue presentado un método sencillo para determinar las variaciones de la impedancia de las vías aéreas inferiores frente a situaciones en las que hay reacciones reflejas del sistema nervioso autónomo. Se empleó la medida del diámetro torácico como índice de la variación de la presión intrapleuraleal (P). Este valor fue relacionado con el del volumen de aire que entra y sale de los pulmones (V), medido por medio de un neumotacógrafo de Fleisch. Las mediciones de ambos valores fueron simplificados al ser reducidos a las de las alturas máximas de los trazos registrados. La relación de P/V así determinada, aunque no es un valor preciso, puede ser considerada como proporcional a la resistencia de las vías aéreas al

SUMMARY. The method previously presented⁴ to explore the reactivity of the bronchial musculature is critically analyzed. The results obtained with this method in 35 healthy subjects are presented. The main purpose was to find normal values which may be considered as representative standards for young men and women, that could be compared to data obtained in patients for future studies.

The possibility that measurements of the thoracic circumference might not represent a proportional change in lung capacity was controlled by additional observations. The results of these controls demonstrated that this postulate can be sustained as being satisfactory. It is confirmed that the airways smooth muscle is in a dynamic state in physiological conditions and that it participates in the reflex reactions of the autonomic nervous system and in the emotional status. The activity of this type of muscle is compared with that of other autonomic effectors.

Key words: bronchial muscle, reflex activity, physiology, respiration, psychology.

paso del aire por el árbol bronquial, cuando se tiene en cuenta que, en las condiciones fisiológicas, la resistencia de las vías aéreas superiores es prácticamente constante. Los cambios observados en diferentes pruebas experimentales fueron referidas a los valores obtenidos durante las respiraciones en reposo físico y mental de los sujetos estudiados.

Las reacciones de la musculatura bronquial fueron evocadas por a) una inspiración profunda, b) un breve periodo de apnea voluntaria, c) la maniobra de Valsalva y d) otros procedimientos capaces de despertar reacciones emocionales con actividad del sistema nervioso autónomo, como un ruido súbito, un estímulo doloroso moderado, o simplemente la orden de ejecutar alguna de las maniobras señaladas de antemano. Otras manifestaciones de la actividad del sistema nervioso autónomo fueron monitoreadas por el registro simultáneo de la frecuencia cardíaca mediante un EKG, y por la respuesta psicogalvánica de la piel (PGR).

Es conveniente insistir en que el método empleado está fundamentado en varios postulados, mencionados anteriormente, aunque no formulados de una manera explícita. Ellos son: 1) que el agrandamiento de la caja torácica en su

* Profesor Civil. Escuela Militar de Graduados de Sanidad.

** Profesor Asociado, Laboratorio de Fisiología. Escuela Médico Militar.

Correspondencia:

Cor. M.C. Ret. Juan García Ramos
Morelos 129
Col. del Carmen, Coyoacán
México, D.F. 04100

base, es proporcional al aumento de la capacidad pulmonar y, por ende, al de la presión intrapleurar, 2) que la amplitud máxima de los trazos del neumograma representa el valor medio de la fuerza que el organismo pone en juego para introducir, o sacar, aire del pulmón, 3) que los valores máximos en el trazo neumotacográfico representan la integral del volumen de aire desplazado en cada una de las fases del ciclo respiratorio; 4) que la impedancia así medida depende primordialmente de la actividad de la musculatura bronquial y 5) que esta actividad es principalmente controlada por el vago y el simpático. Ninguno de estos postulados es rigurosamente cierto, por lo que los resultados obtenidos deben ser considerados como valores aproximados, lo que no les resta su utilidad para mostrar las reacciones de la musculatura bronquial en diferentes condiciones fisiológicas, y probablemente en algunos procesos patológicos.

En el presente trabajo se juzgó conveniente establecer patrones normales en un número suficientemente grande de individuos sanos, confiando en que estos patrones puedan servir de referencia en la apreciación de las posibles variaciones que sean encontradas en los casos patológicos. Además, se hicieron observaciones adicionales para verificar lo expuesto en el postulado número 1, ya que el aumento en la capacidad pulmonar depende también de la contracción diafragmática.⁵ Esta situación podría ser un factor de complicación, especialmente para la prueba de la inspiración profunda.

Material y métodos

El estudio fue realizado en 35 individuos sanos, la mayor parte de ellos del sexo masculino. Cinco del sexo femenino. Todos ellos en edad militar. En todos los casos se siguió la

misma rutina. Se instruyó a los sujetos de observación a permanecer lo más posible tranquilos durante las diferentes pruebas. Sentados en un sillón, con el neumógrafo ajustado en la base del tórax a la altura del apéndice xifoides; con la mano izquierda descansando sobre el brazo correspondiente del sillón. Uno de los electrodos para el EKG se colocó en la muñeca y los de la PGR en la segunda falange del dedo índice. La mano quedaba cubierta por una compresa, con las instrucciones de mantenerla sin movimiento. El segundo electrodo para el EKG fue colocado en la rodilla izquierda. El neumotacógrafo estaba conectado a una mascarilla ordinaria que el sujeto mantendría aplicada sobre boca y nariz con su mano derecha con cierta presión cara evitar fugas de aire.

Los registros fueron tomados sobre un polígrafo, modelo 7D de Grass. El neumograma y el neumotacograma, a través de sendos transductores de presión (PT5 de Grass). La amplificación de estos registros fue ajustada para que fueran, aproximadamente, de la misma amplitud, la que se mantuvo constante en cada caso particular. Se filtraron las frecuencias altas por encima de 35 Hz. Las medidas se limitaron a las de las amplitudes máximas de los trazos, cuando fue confirmado que estas medidas ofrecían datos tan satisfactorios como las más complicadas (área por abajo de las curvas, o las tangentes trazadas en las partes de subida o de bajada de los trazos). Los valores de la altura máxima medida en el neumograma, proporcional a P , en inspiración o en espiración, fueron divididos por los del volumen correspondiente en los neumotacogramas V . Con estos nuevos valores de P/V se trazaron gráficas que incluyeron los datos obtenidos en cuatro o cinco respiraciones tranquilas previas a la maniobra experimental empleada y las posteriores a ésta (Figuras 1, 3 y 4). Las variaciones de la frecuencia cardíaca

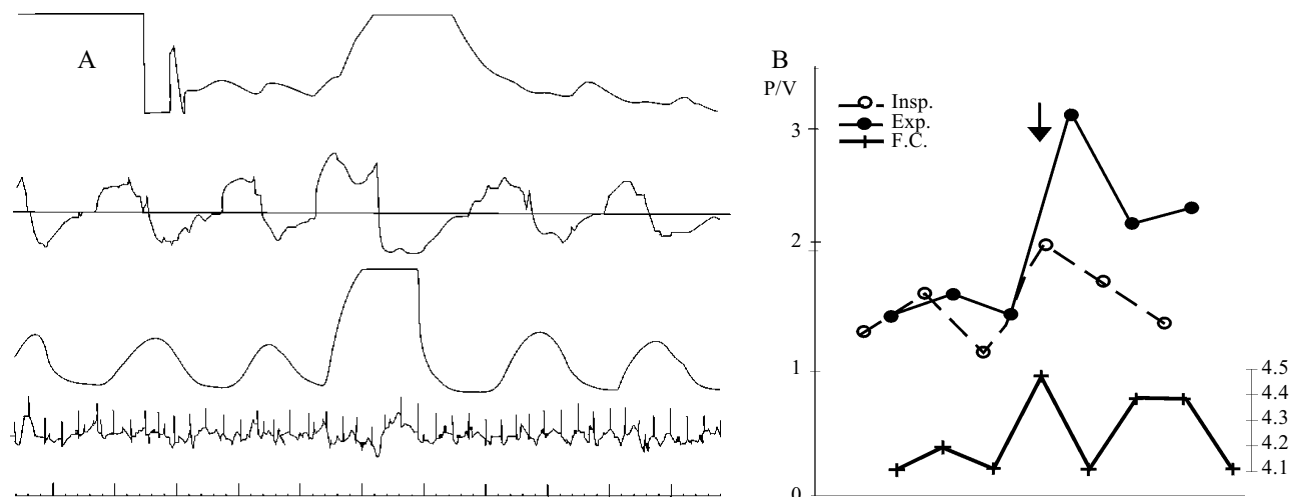


Figura 1A. Trazos típicos de los efectos de una inspiración profunda. De arriba a abajo: Respuesta psicogalvánica (las variaciones iniciales fueron producidas para colocar el trazo dentro de los límites del registro); neumotacograma (la línea horizontal marca la separación entre inspiraciones y espiraciones-entrada de aire hacia arriba); neumograma (el registro de la inspiración profunda aparece saturado en su altura máxima); EKG; señal de tiempo: segundos. **B.** Gráfica de la relación P/V y de la frecuencia cardíaca de los datos en A. Círculos vacíos y línea punteada: inspiraciones. Círculos llenos y línea continua: espiraciones. Ordenadas a la izquierda: Valores de la relación P/V . La flecha indica la inspiración profunda. Curva inferior: Frecuencia cardíaca. Número de latidos en cinco segundos para el ciclo respiratorio correspondiente.

Nótese en el neumotacograma: a) las oscilaciones en los trazos. b) la muesca en la meseta de la inspiración profunda. c) que la parte inicial de las inspiraciones previas a la profunda son rápidas y la de las que le siguen son lentas.

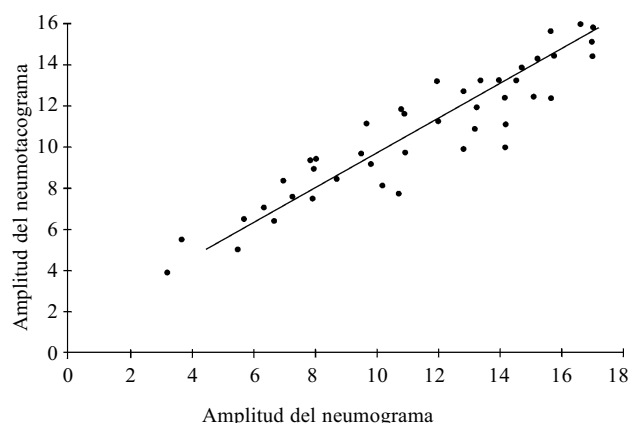


Figura 2. Relación entre las amplitudes máximas de los neumotacogramas (ordenadas) y de los neumogramas (abscisas) en un individuo tranquilo, aumentando y disminuyendo la amplitud de sus movimientos respiratorios. Resultado de varios ensayos. La amplitud de las respiraciones normales estaba alrededor de los 10 mm de altura máxima de los trazos. Los valores altos no alcanzaron el de las inspiraciones profundas de prueba.

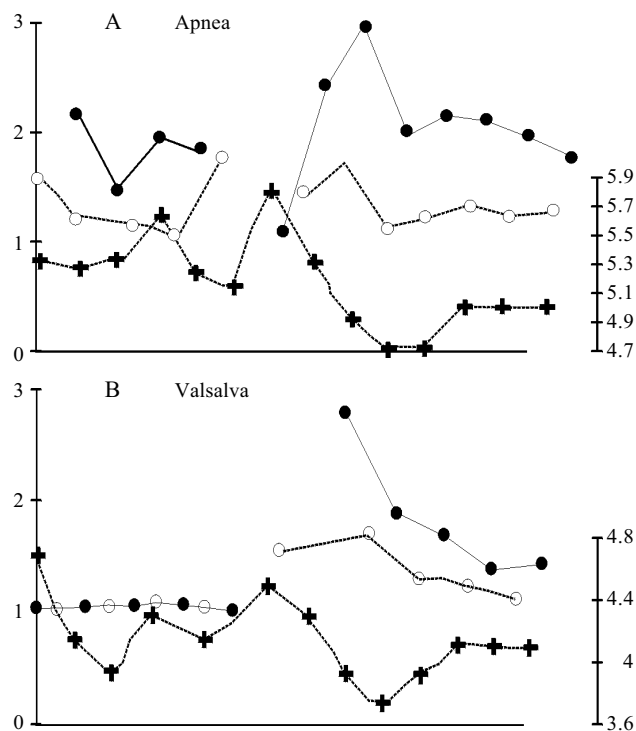


Figura 3. Ejemplos de los cambios de la relación P/V y en la frecuencia cardíaca inducidos por la apnea voluntaria (A) o por la maniobra de Valsalva (B). Ordenadas de la izquierda: Valores de P/V en mm en las gráficas. Círculos vacíos y línea interrumpida: inspiraciones. Círculos llenos y línea continua: espiraciones. Cruces y línea punteada: frecuencia cardíaca. Ordenadas de la derecha: Número de latidos en cinco segundos, como en la figura 1.

y la respuesta psicogalvánica (PGR) fueron registradas simultáneamente en el mismo polígrafo.

Después de las respiraciones tranquilas de control, fue ordenada la primera maniobra experimental, la de ejecutar una inspiración profunda y reanudar la respiración tranquila (Figura 1). Después de esta primera prueba, se hizo una pausa, invitando al sujeto a retirarse la mascarilla y así dejar que se evapo-

para el vapor de agua que hubiera podido haberse condensado en ella y el neumotacógrafo. Luego se reinició el registro con 4 o 5 respiraciones de control antes de la segunda prueba, un periodo de apnea voluntaria de 10 a 15 segundos seguido de reanudación con respiración tranquila. Nueva pausa con retiro de la mascarilla y tercera prueba con la maniobra de Valsalva. En ocasiones se repitió alguna de las pruebas anteriores cuando se observó alguna falla en su registro, o se observaron los efectos de la aplicación de un ruido súbito o de alguna otra de las maniobras mencionadas. Esto último no se registró en todos los casos, al comprobar que los resultados obtenidos no eran muy evidentes en sus variaciones con relación a los controles. Durante el desarrollo de las observaciones se procuró mantener el laboratorio en calma, evitando toda clase de distracciones al sujeto, excepto en los casos en los que se quiso provocar una reacción emocional.

La representación gráfica de los resultados obtenidos fue hecha tomando como unidad de tiempo el intervalo entre cada uno de los ciclos respiratorios. La frecuencia cardíaca, como número de latidos en 5 segundos, los medidos en el ciclo correspondiente (Figuras 1, 3 y 4).

Resultados

Variaciones durante la respiración tranquila. Los valores de la relación P/V no fueron constantes para todos los ciclos respiratorios durante la respiración tranquila de control. Ocurrieron estas variaciones hasta para la inspiración y la espiración en el mismo ciclo. En general, las cifras fueron mayores para las espiraciones, lo que podría depender de que la salida del aire de los pulmones es usualmente más lenta y más prolongada en el tiempo (Figuras 1 y 4). Esto da un valor para la altura máxima de la espiración en el neumotacograma que es menor que la que corresponde a la inspiración. En ocasiones, una variación, usualmente de aumento de P/V, afectó a varios ciclos seguidos. En algunos de estos casos se pudo reconocer la presencia de una reacción emocional en el sujeto de observación, ya que se mostró acompañada de taquicardia o de una PGR manifiesta. Este tipo de cambio fue observado, en aproximadamente la mitad de los individuos examinados, al principio del estudio. Por ello, en las últimas observaciones se prolongó la etapa inicial de control por un tiempo mayor (10 a 15 ciclos respiratorios). En otros casos, la reacción emocional fue despertada por una llamada de atención al sujeto de observación, o simplemente por la orden de realizar la maniobra experimental. Estas variaciones fueron consideradas como significativas cuando alcanzaron cifras mayores del 10% de los valores basales y ocurrieron acompañados por actividad de los otros efectores examinados. Variaciones menores fueron clasificadas como dentro de los errores del método.

Variaciones inducidas por la respiración profunda. Por la respiración profunda, el cambio habitual observado fue el de aumento de P/V como de dos o tres veces (100-300%) sobre el valor de los controles, afectando más a las espiraciones (Figura 1).

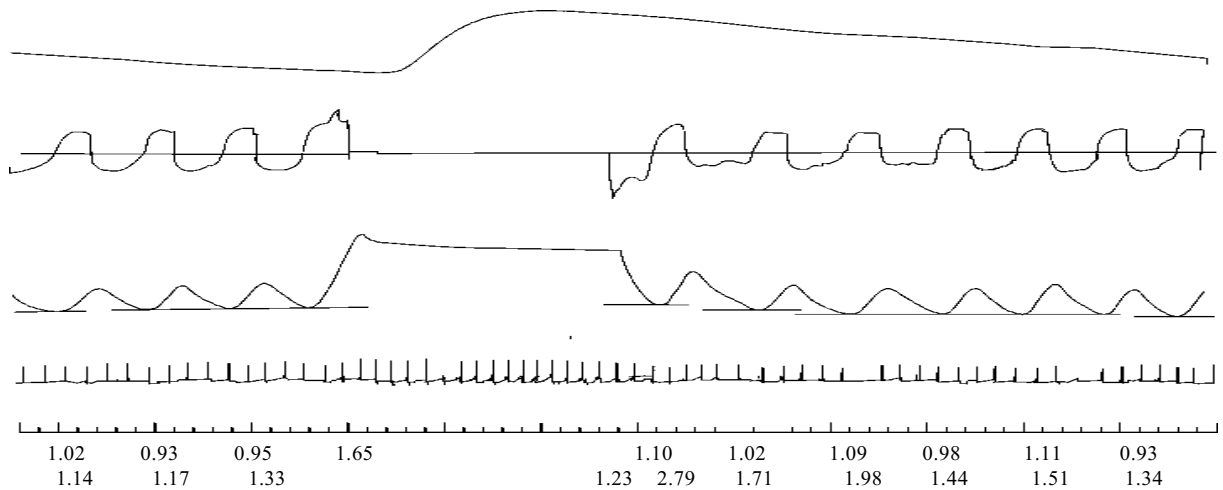


Figura 4. Gráficas originales que muestran los cambios inducidos por la apnea voluntaria. Registros como en la figura 1A. Nótese los cambios en la basal de los trazos del neumograma (líneas horizontales), los que fueron tomados en cuenta al medir las alturas de estos trazos. Abajo, en el fondo, se presentan los valores de P/V, para las inspiraciones en la línea superior y para las espiraciones en la inferior. Nótese que los Valores altos empiezan para la espiración del ciclo respiratorio que sigue a la apnea. Nótese también las oscilaciones en los trazos neumotacográficos, las que se muestran especialmente en las espiraciones que siguen a la apnea.

Este aumento se prolongó, en menor proporción, por dos o tres de los ciclos respiratorios siguientes, atenuándose gradualmente. En virtud de que estos aumentos ocurrieron para movimientos respiratorios de mayor amplitud que los basales, se realizaron observaciones adicionales en otros sujetos, de aquellos que se habían mostrado más tranquilos durante las pruebas. Este control se llevó a cabo pidiendo a estos individuos que aumentaran progresivamente la amplitud de sus movimientos respiratorios hasta un máximo, menor que la de la respiración profunda de la prueba; que redujeran luego la amplitud hasta un mínimo compatible con su bienestar. El resultado de este tipo de observaciones aparece en la figura 2. En estos casos, fueron desechados los valores que se vieron acompañados por cambios importantes de la frecuencia cardíaca o por la respuesta psicogalvánica.

Los aumentos en la relación P/V evocados por la inspiración profunda dependieron, principalmente, de una reducción relativa, o de un aumento menor, del valor de V. En algunos casos se observó una muesca en el trazo neumotacográfico de la inspiración, la que apareció en medio o al final de la meseta (Figura 1A). En general esta inspiración mostró un curso temporal más lento, que afectó también a la o a las inspiraciones siguientes, como puede ser observado en la misma figura. Esto indica la existencia de un obstáculo a la entrada del aire a los pulmones. La inspiración profunda fue acompañada de taquicardia inicial (por 3 o 4 latidos), seguida de bradicardia duradera (Figura 1B). La respuesta PGR, muy evidente durante esta prueba, se prolongó por los seis a diez ciclos respiratorios siguientes.

Cambios inducidos por la apnea voluntaria y por la maniobra de Valsalva. En general, los cambios en la relación P/V fueron de aumento después de estas dos pruebas (Figura 3). Después de la apnea el aumento fue entre 100 y 200%. Después de la maniobra de Valsalva los aumentos

fueron usualmente mayores, a veces hasta de un 300%. En los dos casos, estos aumentos afectaron a las tres a cinco respiraciones siguientes, atenuándose gradualmente. La apnea fue acompañada de la usual taquicardia y seguida de bradicardia posterior más prolongada (Figura 3A). La maniobra de Valsalva fue acompañada de la conocida bradicardia progresiva, con un rebote de taquicardia siguiente. Las variaciones individuales fueron numerosas, a veces ocurrió taquicardia inicial. La respuesta psicogalvánica apareció desde el principio de la apnea, a veces en dos partes, una inicial breve y otra final más prolongada. En la maniobra de Valsalva, la respuesta PGR ocurrió usualmente desde el principio, con gran amplitud y muy prolongada en el tiempo. La frecuencia cardíaca y la PGR no siempre mostraron buena concordancia con los cambios en la relación de P/V. Respuestas vagales de un efector con respuestas simpáticas en el otro.

Cambios evocados por otras maniobras. Los cambios registrados por la aplicación de un ruido súbito, o por las otras maniobras empleadas, fueron relativamente pequeños, tanto para los valores de P/V, como para los de la frecuencia cardíaca y los de la PGR. Cuando estos cambios fueron significativos, no siempre ocurrieron en buena concordancia entre sí. Aumentos de P/V con taquicardia y sin PGR, y su reducción con bradicardia y PGR fueron relativamente frecuentes. Es de interés hacer notar que las reacciones emocionales suscitadas en los sujetos de observación fueron regularmente acompañadas de taquicardia, PGR's, y cambios de P/V, no siempre en buena concordancia funcional.

Discusión

Los resultados presentados muestran que el método propuesto,⁴ a pesar de los factores de error, es lo suficientemente preciso para revelar la importancia de la participación de

la musculatura bronquial en la fisiología normal, en los reflejos en que interviene el sistema nervioso autónomo y en las reacciones emocionales. Fue confirmada la noción de que el músculo liso de los bronquios se encuentra en un estado dinámico.^{2,3} La observación de oscilaciones en los neumotacogramas, así como de muescas, no puede depender de actividad de los músculos externos, aun considerando la mayor inercia en el sistema de registro del neumograma (*Figuras 1 y 4*). Estas oscilaciones aparecen con mucha claridad durante la espiración, cuando la actividad de los músculos externos es prácticamente nula. De suerte que tales oscilaciones pueden ser interpretadas como debidas a contracciones o relajaciones en diversas regiones localizadas del árbol bronquial. En ocasiones, esta actividad podría integrarse en una broncoconstricción o en una broncodilatación fásicas que afectara porciones más extensas y contribuir así a la mejor distribución del aire en el interior de las vías aéreas.³ El análisis de los registros, comparando el neumograma con el neumotacograma, sugiere que hay broncodilatación inicial en la inspiración. Esto concuerda con los datos de la literatura que muestran que hay actividad del simpático durante la respiración tranquila que coincide con la descarga en el frénico.^{1,7} Además, hay observaciones experimentales que muestran que la entrada de aire al inicio de la inspiración es mucho más rápida de lo que debiera ser, considerando la variación de la presión intrapleural en esos momentos (*).

Durante la inspiración profunda de la prueba, la observación habitual fue la de que hay aumento en el valor de la relación P/V, lo que es interpretado como broncoconstricción. Es indudable que esta broncoconstricción existe: El achatamiento y las muescas en el neumotacograma son buenas pruebas de esta idea. En la *figura 1*, además de la muesca en el neumotacograma de la inspiración profunda, se observa que la inspiración siguiente es de curso temporal más lento. Lo que sorprende es que esta broncoconstricción (actividad vagal) es acompañada, por lo menos inicialmente, de taquicardia y PGR (actividades simpáticas). Existe la posibilidad de que el inicio de la inspiración profunda vaya acompañada de broncodilatación como lo sugieren los datos presentados más arriba, pero que esta dilatación se vea atenuada o borrada por la constricción que le sigue inmediatamente. Esto explicaría la taquicardia y la respuesta psicogalvánica iniciales. En realidad, en los registros neumotacográficos se observa que el achatamiento o las muescas pueden ser tardías, en la meseta o al fin de esta. También existe la posibilidad de que los cambios observados durante la inspiración profunda no sean debidos exclusivamente a actividad de la musculatura bronquial. Se sabe que la inspiración implica aumento pasivo de la longitud y del diámetro de los bronquios.⁶ Por otra parte, ya se señaló en la introducción, la posibilidad de que el aumento en la circunferencia torácica (que es lo que se mide) no

representará un aumento correspondiente de la capacidad pulmonar, ya que la contracción diafragmática concomitante puede no manifestarse en el neumograma.⁵ Por esta razón fueron realizados los controles que ilustra la *figura 2*. Los resultados obtenidos, sin embargo, indican que si estos dos factores hubieran intervenido, lo habrían hecho precisamente en la dirección opuesta de lo observado. Por lo tanto, se puede concluir que la broncoconstricción es la respuesta legítima a esta prueba.

Después de la apnea voluntaria y de la maniobra de Valsalva, los resultados mostraron que también hay aumento de la resistencia bronquial. Desde luego que no puede saberse lo que ocurre durante las pruebas mismas. Lo usual fue el observar bradicardia acompañando estos aumentos de P/V, aunque hubo algunos casos en los que la taquicardia fue el cambio observado.

Estas aparentes discrepancias encuentran una posible explicación en el hecho de que los diferentes efectores participan, tanto en las respuestas reflejas como en los estados emocionales. En realidad, en las condiciones normales puede haber cierto conflicto entre las reacciones de uno y otro tipos. No es de sorprender el hecho que las reacciones emocionales afecten también a la musculatura bronquial, ya que su control depende del vago y del simpático.

En resumen, se cuenta con un procedimiento simple para explorar la reactividad de la musculatura bronquial en sujetos normales. Se tienen los patrones que podrían ser completados o modificados por estudios posteriores para su aplicación a los casos patológicos. Conviene insistir en que los datos presentados no representan cambios precisos de la resistencia, o impedancia, de las vías aéreas. Hay que considerarlos como mostrando las reacciones de la musculatura de los bronquios en diversas situaciones fisiológicas en las que ésta participa junto con otros efectores autonómicos. Esta musculatura no solamente interviene en reacciones reflejas, sino que también lo hace en los estados emocionales.

Referencias

1. Dembrowsky K, Czachurski J, Seller H. An intracellular analysis of the respiratory modulation of sympathetic preganglionic neurons in the cat. *Acta Physiol Scand* 1989; 136 (Suppl 584): 10.
2. García-Ramos J, Silva I. Registros simultáneos de la actividad simpática en diversos efectores en el hombre. *Acta Médica ESM del IPN* 1990; 24: 7-15.
3. García-Ramos J. Phasic activity in the airways smooth muscle. *Acta Physiol Pharmacol Latinoam* 1991; 41: 212-228.
4. García-Ramos J, Garfias-Arvizu A. Método no-invasivo para explorar la actividad de la musculatura bronquial. *Rev Sanid Milit Mex* 1997; 51(5): 222-225.
5. Keith A. The mechanism of respiration in man. *Further Advances in Physiology*. London, Edward Arnold and Co. 1909; 36-37.
6. Macklin CC. The musculature of the bronchi and lungs. *Physiol Rev* 1929; 9: 1-60.
7. Mitchell RA, Herbert DA, Baker DG. Inspiration rhythm in airway muscle tone. *J Appl Physiol* 1915; 58: 911-920.

(*) García-Ramos J, Hernández A, Eguía-Lis C, Hernández L. Observaciones aún no publicadas.