

Estimación del volumen espiratorio forzado en un segundo a partir del tiempo de apnea voluntaria en sujetos sanos

A. Nevarez-Najera^a, S. Hernández-Campos^b, M. Rodríguez-Morán^b y F. Guerrero-Romero^c

^aFacultad de Medicina. Universidad Juárez del Estado de Durango.

^bHospital General de Zona N.º 1. Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Delegación Durango.

^cUnidad de Investigación Médica en Epidemiología Clínica. Hospital General de Zona N.º 1. IMSS Delegación Durango. México.

Estudio transversal descriptivo cuyo objetivo fue evaluar un modelo de correlación lineal para calcular el volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF₁) a partir del tiempo de apnea voluntaria (TAV), en individuos sanos mayores de 16 años.

Se consideró como TAV al tiempo máximo en segundos que una persona puede estar voluntariamente sin respirar, determinado entre el final de la inspiración máxima y el inicio de la espiración en la tercera de tres mediciones sucesivas. Para calcular el VEF₁ a partir del TAV (VEF₁-TAV) se utilizó la ecuación general de la recta ($y = a + bx$), en donde y representa el VEF₁ y x es el logaritmo natural del TAV medido en segundos. Los valores de las constantes a y b se determinaron por género, con el método de regresión lineal múltiple, en el que se regresionó el VEF₁ (medido por espirometría) frente a la edad y el logaritmo natural de la variable independiente (TAV). Con los valores de las constantes a y b obtenidos y a partir del TAV (valor de x en la ecuación de la recta) se calculó el VEF₁-TAV para cada sujeto.

Se integraron al estudio 197 sujetos, 97 mujeres (49,2%) y 100 varones (50,8%). Los valores promedio del VEF₁ calculado con espirometría y el VEF₁-TAV fueron similares en todos los grupos de edad y género. El valor de R² de la correlación VEF₁-TAV fue de 0,585 (IC del 95%: 0,213-0,753) y 0,702 (IC del 95%: 0,630-1,496) en mujeres y varones, respectivamente. La proporción VEF₁-TAV/VEF₁ esperada fue mayor al 80% en 96 mujeres (98,96%) y 98 varones (98,0%). La estimación del VEF₁ a partir del TAV es un método que proporciona datos confiables sobre este parámetro de la función pulmonar.

Palabras clave: *Tiempo de apnea voluntaria. Volumen espiratorio forzado. Pruebas de función ventilatoria.*

(Arch Bronconeumol 2000; 36: 197-200)

Introducción

El tiempo de apnea voluntaria (TAV) se define como la máxima cantidad de tiempo que un sujeto puede estar sin respirar voluntariamente¹. Aun cuando no se conocen con precisión la génesis ni la variabilidad del TAV en in-

dividuos sanos, éste depende principalmente de estímulos ventilatorios^{1,2}, se incrementa con la hiperventilación y tiene una relación directa con el volumen pulmonar².

Cross sectional study to evaluate a linear correlation model to calculate forced expiratory volume in one second (FEV₁) on the basis of breath-holding time (BHT) in healthy subjects aged 16 years or older. BHT was defined as the maximum time in seconds that a person can voluntarily hold his or her breath measured between the end of a deep breath until he or she begins to exhale in the third of three consecutive maneuvers. To calculate FEV₁ on the basis of BHT (FEV₁~BHT) the general straight-line equation ($y = a + bx$) was applied, with x being Log_n of BHT and y being FEV₁. The a and b values had been previously estimated by gender using multiple linear regression in which FEV₁ measured spirometrically was the dependent variable and the age and Log_n of BHT were the independent variables.

One hundred ninety-seven subjects [97 women (49.2%) and 100 men (50.8%)] were enrolled. Mean FEV₁ measured by spirometry (FEV₁-Sp) and FEV₁-BHT were similar. The correlation (R²) between FEV₁ and BHT for women and men was 0.585 (95% CI 0.213-0.753) and 0.702 (95% CI 0.630-1.496), respectively. The ratio FEV₁~BHT:FEV₁-Sp was higher than 80% for 96 women (98.96%) and 98 men (98.0%). FEV₁ can be reliably estimated using BHT.

Key words: *Breath holding time. Forced expiratory volume. Lung function test.*

Correspondencia: Dr. J.F. Guerrero-Romero.
Siqueiros, 225, esq. c/ Castañeda, zona centro.
Durango, Dgo. CP 34000 México.
Correo electrónico: guerrero@omanet.com.mx

Recibido: 6-7-1999; aceptado para su publicación: 14-12-1999.

piratorios, por lo que la espirometría debería formar parte del estudio rutinario en los individuos con enfermedad pulmonar, y en aquellos en riesgo de desarrollar problemas respiratorios³⁻⁶; sin embargo, en los países en vías de desarrollo la espirometría no está disponible en todos los centros de atención médica.

Las ecuaciones de correlación lineal desarrolladas hasta el momento para el cálculo de la función pulmonar utilizan la edad, el género y la estatura como las principales variables, y constituyen un modelo predictivo satisfactorio para el estudio de la función pulmonar⁷ en la evaluación del paciente con problemas respiratorios.

En este trabajo se evalúa un modelo de correlación lineal para calcular el VEF_1 a partir del TAV, en individuos sanos.

Material y métodos

Diseño

Durante el período de marzo de 1996 a julio de 1998, se desarrolló un estudio transversal en la ciudad de Durango, México, que tiene una altitud de 1.880 m sobre el nivel del mar.

Sujetos en estudio

Se integraron al estudio individuos voluntarios, varones y mujeres, sanos, que no hubieran padecido enfermedades en los últimos 6 meses, no fumadores, de 16 o más años de edad, quienes dieron su consentimiento informado. Para el cálculo del VEF_1 a partir del TAV los sujetos en estudio se estratificaron por género. Los individuos cuyos valores de espirometría fueron inferiores al 80% se descartaron del estudio.

Medición del tiempo de apnea voluntaria

El TAV se midió con los sujetos en reposo y en condiciones constantes de temperatura ambiente. Se solicitó a los participantes que realizaran una inspiración profunda máxima y que la sostuvieran durante el máximo tiempo posible. Con la misma técnica, se realizaron tres mediciones consecutivas del TAV estableciendo 5 min de reposo entre ellas. De forma previa a la tercera medición se indicaron tres movimientos profundos de inspiración-espriación. Se consideró como TAV el tiempo en segundos registrado entre el final de la inspiración máxima y el inicio de la espriación, en la tercera medición, con lo cual la variabilidad interensayo se reduce a menos del 2% y la reproducibilidad alcanza un valor superior al 95%.

Medición del volumen espiratorio forzado en un segundo

En la misma sesión y condiciones de reposo y temperatura ambiente se midió el VEF_1 con un espirómetro Welch Allin (VEF_1 -Espiro), el cual utiliza como valores de referencia los establecidos por los criterios de Knudson⁷, indicando a los participantes que realizaran una inspiración profunda a capacidad pulmonar total seguida de una espriación fuerte rápida y total. Con la misma técnica se realizaron tres mediciones consecutivas considerando como VEF_1 -Espiro al mejor volumen registrado, el cual es seleccionado automáticamente por el espirómetro, basándose en una variabilidad interensayo menor del 5%.

Cálculo del VEF_1 a partir del TAV

Para calcular el VEF_1 a partir del TAV, se aplicó la ecuación general de la recta ($y = a + bx$), en donde y es el VEF_1 en litros, y x es el logaritmo natural del TAV medido en segun-

dos. Los valores de las constantes a y b se determinaron, agrupando a los sujetos por género, por el método de regresión lineal múltiple, en el que se regresionó el VEF_1 -Espiro frente a la edad en años y el logaritmo natural del TAV. Con los valores obtenidos para las constantes a y b , y a partir del TAV (valor de x en la ecuación), se calculó el VEF_1 (VEF_1 -TAV) para cada sujeto.

Evaluación del cálculo del VEF_1 a partir del TAV

Se consideró como VEF_1 predicho (VEF_1 -Pred) el VEF_1 establecido como referencia de normalidad por el espirómetro utilizado en el estudio. Para evaluar el VEF_1 -TAV se determinó la proporción VEF_1 -TAV/ VEF_1 -Pred, considerando como valores óptimos los mayores al 80%.

Una vez establecidos los valores de las constantes a y b , el valor predictivo de la fórmula propuesta para calcular el VEF_1 a partir del TAV, se evaluó en un grupo independiente de sujetos sanos, no fumadores, mayores 16 años. En una primera fase, de acuerdo a las técnicas descritas, se midió el VEF_1 y posteriormente se determinó el TAV de cada participante. En una segunda fase, cegada para el personal que midió el TAV y el VEF_1 -Espiro, se determinó el VEF_1 -TAV.

Análisis estadístico

En virtud de que los valores del TAV se distribuyen de manera no paramétrica, se determinó su logaritmo natural ($\text{Log}n$) para normalizar su distribución, como base para el cálculo de las constantes a y b con el método de regresión lineal múltiple.

Para determinar la significación estadística de la correlación entre el TAV y el VEF_1 , se utilizó análisis de variancia (ANOVA) y se realizó el análisis de los residuos con el método de Durbin-Watson. Se determinó, al 95%, el límite de confianza para el coeficiente de regresión.

Las diferencias observadas entre el VEF_1 -Pred, el VEF_1 -Espiro y el VEF_1 -TAV en cada grupo se establecieron con ANOVA de una vía. En todos los casos la significación estadística se estableció con un valor de $p < 0,05$.

Resultados

Se integraron al estudio 197 sujetos, 97 (49,2%) mujeres y 100 (50,8%) varones.

En el grupo de mujeres, el promedio de edad y estatura fue de $41,6 \pm 18,8$ años y $157,7 \pm 7,0$ cm, respectivamente, y el $\text{Log}n$ del TAV de $3,6 \pm 0,4$. El coeficiente de determinación (R^2) que expresa la proximidad del ajuste de la regresión de la muestra a los valores del VEF_1 -Espiro fue de 0,585 (IC del 95%: 0,213-0,753). El ANOVA presentó un valor $F = 110,7$ ($p < 0,000$). La correlación serial de los residuos estimada con la prueba Durbin-Watson fue de 1,657, y el valor de las constantes a y b de 1,4 y 0,37, respectivamente. En este grupo el promedio del VEF_1 -Espiro fue $2,5 \pm 0,6$ l, el del VEF_1 -Pred de $2,7 \pm 0,4$ l y el calculado a partir del TAV de $2,7 \pm 0,1$ l ($p = \text{NS}$). La proporción del VEF_1 -TAV/ VEF_1 -Pred fue de $104,9 \pm 17,7\%$; sólo en un caso esta proporción fue menor de 80%.

En los varones, el promedio de edad y estatura fue de $35,1 \pm 16,9$ años y $171,8 \pm 7,5$ cm, respectivamente, y el $\text{Log}n$ del TAV de $4,0 \pm 0,3$. El R^2 de la muestra fue de 0,702 (IC del 95%: 0,630-1,496). El valor F estimado

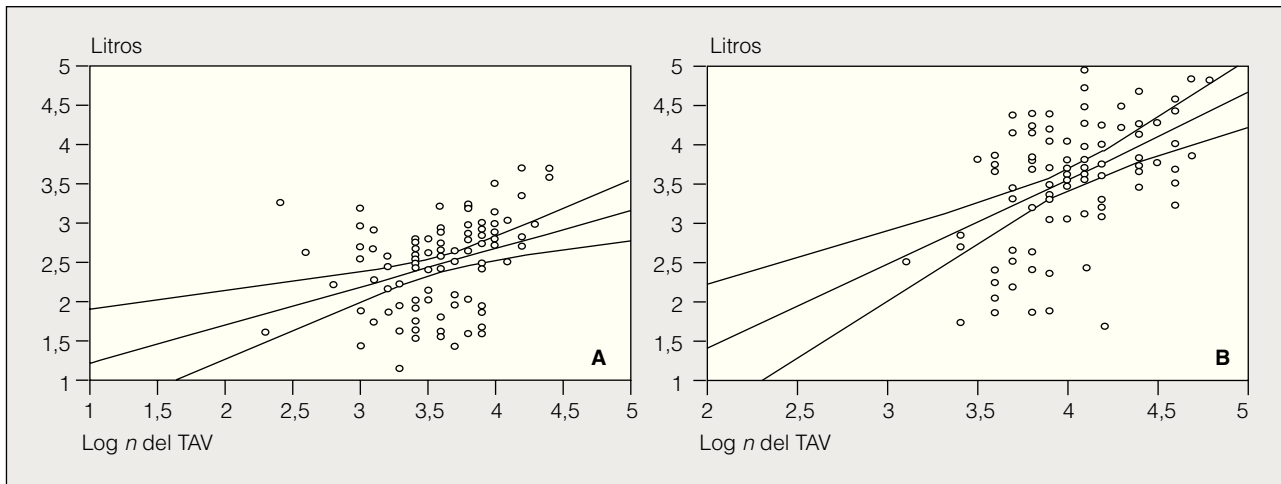


Fig. 1. Correlación entre el VEF₁ medido por espirometría y el Log *n* del TAV en mujeres (A) y varones (B). El coeficiente de determinación (R²) que expresa la proximidad del ajuste a la regresión de la muestra explica el 58,5 y el 70,2% de los casos observados en la correlación entre el VEF₁ y el TAV para las mujeres y varones, respectivamente.

con ANOVA fue de 68,3 ($p < 0,000$), y el de la prueba Durbin-Watson de 2,08. Para este grupo, el valor de las constantes *a* y *b* fue de 1,3 y 0,61, respectivamente. El promedio del VEF₁-Espiro fue $3,6 \pm 0,8$ l, el del VEF₁-Pred de $3,8 \pm 0,7$ l, respectivamente y el VEF₁-TAV de $3,7 \pm 0,2$ l ($p = NS$). La proporción del VEF₁-TAV/VEF₁-Pred fue de $101,4 \pm 18,5\%$; en dos casos la proporción fue menor de 80%.

En la figura 1 se expone la correlación e intervalos de confianza del 95% entre el VEF₁ y el Log *n* del TAV, para mujeres y varones.

El valor predictivo de la fórmula propuesta se evaluó en un grupo independiente de 20 sujetos, 10 varones y 10 mujeres. En la tabla I se exponen los valores del TAV, VEF₁-TAV, VEF₁-Espiro y VEF₁-Pred, para ambos grupos. En los varones, el valor promedio del VEF₁-Espiro, VEF₁-Pred y VEF₁-TAV fue de $4,0 \pm 0,6$ l, $4,0 \pm 0,3$ l y $3,8 \pm 0,2$ l, respectivamente ($p = NS$). En todos ellos el valor de la proporción VEF₁-TAV/VEF₁-Pred fue superior al 80%, con un promedio de $96,3 \pm 7,1\%$. En las mujeres, los valores del VEF₁-Espiro, VEF₁-Pred y VEF₁-TAV fueron de $3,3 \pm 0,5$ l, $3,1 \pm 0,3$ l y $2,9 \pm$

$0,1$ l respectivamente ($p = NS$). El valor promedio de la proporción VEF₁-TAV/VEF₁-Pred fue de $92,3 \pm 7,9\%$; sólo en un caso el valor fue inferior a 80%.

Discusión

Considerando que en sólo 3 sujetos (1,5%) de la población estudiada, la proporción VEF₁-TAV/VEF₁-Pred fue inferior al 80%, y que no existieron diferencias significativas entre el VEF₁-Espiro, VEF₁-Pred y VEF₁-TAV, puede concluirse que el TAV es un indicador útil para el cálculo del VEF₁ en sujetos sanos.

El tiempo de apnea voluntaria varía dependiendo del género, aumenta con la hiperventilación y en mediciones sucesivas^{1,2}, por lo que se ha señalado la probabilidad de que el aprendizaje desempeñe un papel importante en el incremento voluntario del tiempo de apnea. En este estudio, para controlar las posibles variaciones relacionadas al aprendizaje, se consideró como TAV a la tercera de tres mediciones sucesivas, de acuerdo con la técnica descrita, la misma que representa la máxima capacidad de apnea voluntaria y de correlación con el

TABLA I
Evaluación del VEF₁ estimado a partir del tiempo de apnea voluntaria

Varones (n = 10)					Mujeres (n = 10)				
TAV	VEF ₁ -Espiro	VEF ₁ -Pred	VEF ₁ -TAV	%	TAV	VEF ₁ -Espiro	VEF ₁ -Pred	VEF ₁ -TAV	%
3,6	3,67	3,70	3,5	93,2	3,8	2,6	2,79	2,8	100,0
4,0	4,21	3,90	3,8	98,6	4,2	3,62	3,22	2,9	91,4
4,1	3,79	3,99	3,8	95,3	4,0	3,37	3,52	2,9	81,8
4,0	4,17	3,99	3,7	93,7	4,2	3,02	2,87	2,9	102,5
4,1	5,11	4,56	3,8	83,4	3,4	3,10	2,97	2,7	89,5
4,0	3,54	3,95	3,7	92,4	4,4	3,82	3,43	3,0	88,1
4,6	3,22	3,83	4,1	106,6	4,1	3,83	3,07	2,9	95,0
4,4	3,81	4,23	4,0	94,1	3,4	3,54	3,34	2,7	79,9
3,6	3,67	3,70	3,5	94,2	4,1	2,50	2,86	2,9	101,9
4,4	3,66	3,68	4,0	108,6	4,4	3,56	3,27	3,0	92,4

TAV: logaritmo natural del tiempo de apnea voluntaria medido en segundos; VEF₁-Pred: volumen espiratorio forzado en un segundo predicho o esperado; VEF₁-Espiro: volumen espiratorio forzado en un segundo medido por espirometría; VEF₁-TAV: volumen espiratorio forzado en un segundo calculado a partir del TAV; %: VEF₁-TAV/VEF₁-Pred.

VEF₁, alcanzando una reproducibilidad mayor del 95% y una variación interensayo menor del 2%.

Por otro lado, en virtud de que la edad es un factor que influye sobre la función ventilatoria⁷, se integró como variable independiente al modelo de regresión. De esta forma, al controlar las principales variables de confusión (variabilidad en la medición del TAV y la edad) se logró la máxima correlación y, por ende, el máximo valor predictivo de la fórmula propuesta, con la cual el valor del VEF₁-TAV obtenido fue similar al medido con el espirómetro, por lo que se puede considerar que la estimación del VEF₁ a partir del TAV proporciona una alternativa útil para la detección en el primer nivel de atención médica de los individuos que requieran estudios de función pulmonar.

Dado que los valores del TAV se distribuyen de manera no paramétrica, fue necesario calcular su Logn, con lo cual se logró su distribución normal, a efectos de realizar el análisis de regresión lineal para la determinación de los valores de las constantes *a* y *b*. Aun cuando esta maniobra pudiera constituir una posible limitación en la aplicación de la fórmula propuesta, es necesario tener en cuenta que en la actualidad las calculadoras que contienen la función para el cálculo de Logn son muy accesibles.

La estimación del VEF₁-TAV según se propone, no pretende ser ni es un sustituto de la espirometría; sin embargo, hay que considerar que en los países en vías de desarrollo la posibilidad de que todas las unidades médicas cuenten con espirómetros que permitan una adecuada evaluación del paciente con problemas respiratorios es inviable a corto plazo; en este contexto, el cálculo del VEF₁-TAV puede ser un valioso complemento en el estudio de los sujetos con afección pulmonar. El uso de métodos indirectos en la evaluación de la función ventilatoria es común; así, por ejemplo, en la evaluación preoperatoria de la función pulmonar se han desarrollado pruebas sencillas y fáciles de realizar pero que proporcionan resultados confiables, como lo es la prueba de Stair Climbing⁹. Al respecto, las principales ventajas que ofrece el cálculo del VEF₁ a partir del TAV son su disponibilidad en todos los niveles de atención médica, que se basa en un parámetro (TAV) relacionado con la función respiratoria, que es confiable, fácil de realizar, reproducible y de precio asequible.

Por otro lado, es necesario destacar que no fue un objetivo de este trabajo evaluar la sensibilidad y especifici-

ANEXO I

Ejemplo para la determinación del VEF₁ en función del TAV, utilizando el modelo de regresión lineal que se propone en este trabajo

Determinar el VEF₁ de una persona del sexo femenino de 40 años de edad que tiene un TAV = 22,2 s y una estatura de 141 cm
 Fórmula de la ecuación general de la recta $y = a + bx$
 $y = \text{VEF}_1$
 $x = \text{Logn del TAV}$
 $a = 1,4$
 $b = 0,37$
 Logaritmo natural de 22,2 = 3,1
 $\text{VEF}_1 = 1,4 + [(0,37) 3,1] = 2,5$
 VEF₁ según la fórmula de Knudson para ese grupo de edad y género:
 $\text{VEF}_1 = (-0,019 \text{ edad}) + (0,03332 \text{ estatura}) - 1,821 = 2,12$
 Proporción del VEF₁ determinado a partir del TAV entre el VEF₁ determinado con la fórmula de Knudson = 117%

idad del VEF₁-TAV en sujetos con enfermedades respiratorias; su determinación en entidades como el asma bronquial u otros padecimientos respiratorios será motivo de estudios posteriores con el diseño apropiado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carrillo Rodríguez JG, Sansores Martínez R, Salas Hernández J, Ramírez Venegas A, Chapela Mendoza R, Villalba Caloca J. Medición del tiempo de apnea voluntaria en una población de sujetos sanos mexicanos. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex* 1994; 7: 290-294.
2. Carrillo Rodríguez JG, Pérez Padilla R, Chapela Mendoza R, Salas Hernández J, Sansores Martínez R, Galindo Ochoa S et al. Medición del tiempo de apnea voluntaria en pacientes con enfermedad pulmonar intersticial difusa. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex* 1991; 4: 136-140.
3. Pérez-Padilla R, Cervantes D, Chapela R, Selman M. Rating of breathlessness at rest during acute asthma: correlation with spirometry and usefulness of breath-holding time. *Rev Invest Clin* 1989; 41: 209-213.
4. Crapo R, Morris A, Gardner R. Reference spirometric values techniques and equipment that meet ATS recommendations. *Am Rev Respir Dis* 1981; 123: 659-664.
5. Epidemiology standardization project. *Am Rev Respir Dis* 1978; 118: 445.
6. ATS statement. Snowbird workshop on standardization of spirometry. *Am Rev Respir Dis* 1979; 119: 831-838.
7. Knudson R, Lebowitz M, Holberg C, Burrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127: 725-734.
8. Salas Ramírez M, Segura Méndez NH, Martínez-Cairo Cueto S. Tendencia de la mortalidad por asma en México. *Bol Oficina Sanit Panam* 1994; 116: 298-306.
9. Randolph Bolton JW, Weiman DS. Stair climbing as an indicator of pulmonary function. *Chest* 1987; 92: 783-788.