

PARAMETROS PLETISMOGRAFICOS EN SUJETOS NORMALES

L. A. IZQUIERDO DEL AMO, J. M. ARRIERO MARIN, F. RODRIGUEZ DE CASTRO, J. PICHÉ NUÑEZ, E. DELGADO PEREZ y A. SUEIRO BENDITO

Servicio de Neumología. Hospital Ramón y Cajal. Madrid.

Estudiamos en 31 sujetos normales los valores de normalidad de capacidad residual funcional (FRC), resistencia de la vía aérea (Raw) y conductancia específica (SGaw) obtenidos por pletismografía, encontrándose valores concordantes con los referidos en la literatura. Nuestro límite inferior de normalidad para la SGaw fue $0,120 \text{ cmH}_2\text{O}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

La variabilidad interprueba de la FRC fue baja, siendo alta la de Raw y SGaw, y fueron necesarios incrementos superiores al 21 en la Raw y al 18,5 % en la SGaw para alcanzar significación.

No encontramos diferencias significativas entre los valores pletismográficos de fumadores y no fumadores.

Existía una correlación significativa entre conductancia (Gaw) y FRC ($r = 0,74$), y era mayor que entre Gaw y talla ($r = 0,68$); a pesar de lo cual la dispersión en los valores de la SGaw era importante (coeficiente de variación interindividuo del 18,5 %) pero menor que para la Raw (29,2 %). Todo ello parece aconsejar el empleo de la SGaw para la comparación interindividuo y el establecimiento de la normalidad.

Se analizan los aspectos fisiológicos que pueden haber intervenido en la obtención de estos resultados.

Arch Bronconeumol 1985; 21:279-283

Pletismographic parameters in normal individuals

This study included 31 normal individuals in whom normal values for functional residual capacity (FRC), airway resistance (Raw) and specific airway conductance (SGaw) were obtained by pletismography; values were in agreement with those documented in the literature. Our lower limit for normalcy for the SGaw was $\text{H}_2\text{O}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

The interassay variation in FRC was low while the Raw and SGaw were high and increases above 21 for Raw and 18.5 % for SGaw were needed to reach significance levels. No significant differences were found between pletismographic values for smokers and nonsmokers.

There was a significant correlation between conductance (gaw) and FRC ($r = 0.74$) which was higher than that for Gaw and height ($r = 0.68$) in spite of the dispersion in Gaw values being considerable (interindividual variation coefficient 18.5 %) but less than that for Raw (29.2 %).

These findings suggest that SGaw be used for interindividual comparison and to establish levels of normalcy. The physiologic aspects which may have influenced these results are discussed.

Introducción

La pletismografía corporal es, en la actualidad, un sistema de exploración ampliamente utilizado en la mayoría de los laboratorios de neumología para el estudio de la función pulmonar. Los dos parámetros, obtenidos directamente con el pletismógrafo, de mayor utilidad neumológica son: el volumen de gas intratorácico (TGV) y la resistencia de las vías de conducción al flujo aéreo (Raw).

Habitualmente el TGV se mide a nivel de capacidad residual funcional (FRC), por lo que el volumen residual (RV) se puede obtener restando a la FRC el volumen de reserva espiratorio; la capaci-

dad pulmonar total (TLC) se obtendría entonces sumando al RV la capacidad vital (VC).

Aunque los parámetros pletismográficos TGV-FRC (TGV medido a nivel de FRC), Raw y conductancia específica (SGaw) son ampliamente utilizados para valorar la función pulmonar y las respuestas a broncodilatadores y tests de provocación, existen pocos trabajos que estudien cuáles son los valores de normalidad y cuál la variabilidad interprueba para cada uno de ellos. En el presente trabajo analizamos estos dos aspectos en sujetos normales y estudiamos la existencia o no de ritmo horario durante el tiempo de funcionamiento del laboratorio para determinar si no tener en cuenta la hora de realización de las pruebas supone un error significativo.

Recibido el 19-2-1985 y aceptado el 8-6-1985.



TABLA I

Valores medios y desviaciones estándar de los parámetros pletimográficos a las distintas horas

	9 h	11 h 30'	14 h
TGV-FRC	3,348 ± 0,815	3,320 ± 0,747	3,212 ± 0,707 (L)
Raw	1,93 ± 0,57	1,88 ± 0,60	1,96 ± 0,52 (cmH ₂ O. l ⁻¹ . s)
SGaw	0,171 ± 0,030	0,174 ± 0,034	0,171 ± 0,033 (cmH ₂ O ⁻¹ . s ⁻¹)

TGV-FRC = Volumen de gas intratorácico medido a capacidad residual funcional.

Raw = Resistencia al flujo de la vía aérea. SGaw = Conductancia específica.

Material y métodos

El pletismógrafo empleado fue un Jaeger Body Test de volumen constante. Todas las mañanas, antes de la iniciación de las pruebas, se hacía una calibración de volumen y presión. Para la calibración de volumen se hacía pasar por el neumotacógrafo un volumen de aire conocido (1 l) y se ajustaba para producir en el registrador el desplazamiento correspondiente a este volumen. Para la presión, se aplicaba una presión de 2 cm de H₂O al transductor de presiones del neumotacógrafo y se ajustaba, asimismo, para producir el desplazamiento correspondiente a esta presión.

La técnica utilizada para la obtención de TGV-FRC y Raw fue la original de DuBois et al^{1,2} con las modificaciones de Bargeton et al³ y Jaeger et al⁴ para la realización en condiciones de respiración espontánea. Para la obtención de la relación entre flujo y presión pleural (P_{pl}) se efectuaron un mínimo de 8 registros considerados válidos, realizándose las mediciones sobre el trazado inspiratorio entre 0 y 0,5 l/s. Para calcular la relación entre P_{pl} y presión alveolar (P_{al}), exigíamos un mínimo de 3 registros que fueran líneas rectas fácilmente medibles. Las medias de los valores de los trazados considerados correctos se utilizaron como cifras representativas.

Todos los sujetos eran voluntarios, ninguno tenía historia de enfermedad cardíaca ni pulmonar, exigiéndose, además, una exploración física y espirometría dentro de la normalidad. Se procuró que el grupo fuera homogéneo en edad y que hubiera una adecuada relación entre hombres y mujeres, y entre fumadores y no fumadores. A los fumadores se les exigía un hábito tabáquico importante, de al menos 20 cigarrillos al día.

La evaluación de cada individuo la hizo un solo explorador. La SGaw se obtuvo según la fórmula $SGaw = (1/Raw)/TGV-FRC$. Las pruebas se repitieron en cada sujeto a tres horas distintas dentro de la misma mañana: a las 9, a las 11,30 y a las 14 horas. Durante la mañana en que se realizaron las pruebas se ordenó a los sujetos que se abstuvieran de comer y fumar. Antes de cada prueba el sujeto permanecía en reposo, en el laboratorio, un mínimo de 10 minutos.

El grupo estaba compuesto por 31 individuos, 17 hombres y 14 mujeres. A seis sujetos se les repitieron las pruebas varios meses después. Para la valoración de ritmo horario, variación interprueba y correlación entre los distintos parámetros, se consideraron las 37 exploraciones como independientes.

TABLA II

Coefficientes de variación interprueba de los parámetros pletimográficos y valores que deben alcanzar los incrementos para ser significativos

	Coefficiente de variación (%)	Incrementos significativos (%)
TGV-FRC	3,7 ± 3,1	8,8
Raw	10,5 ± 6,3	20,9
SGaw	9,3 ± 5,5	18,4

Para abreviaturas ver tabla I.

Para valorar si existían diferencias horarias significativas, se empleó el test de Wilcoxon para datos apareados. El estudio de las diferencias entre fumadores y no fumadores se realizó con el test de Wilcoxon para datos no apareados. La variabilidad fue expresada en coeficiente de variación ($CV = DE. 100/\bar{x}$). Las ecuaciones de regresión lineal se obtuvieron según el método de los mínimos cuadrados. La significación se consideró para valores de p menores de 0,05.

Resultados

Los valores medios y desviaciones estándares de TGV-FRC, Raw y SGaw, a distintas horas, están expresados en la tabla I. No encontramos diferencias significativas entre los valores a las distintas horas para cada uno de estos parámetros. Las medias y desviaciones estándares de los valores medios de las tres pruebas fueron: $3,280 \pm 0,736$ l para TGV-FRC, $1,92 \pm 0,56$ cm de H₂O. l⁻¹. s para la Raw y $0,173 \pm 0,032$ cmH₂O⁻¹. s⁻¹ para la SGaw.

Las medias y desviaciones estándares de los coeficientes de variación interhora para TGV-FRC, Raw y SGaw se refieren en la tabla II; donde también se expresan los valores que deben alcanzar los incrementos interprueba, en cada uno de los parámetros, para alcanzar significación.

La edad, talla y sexo, y los valores de TGV-FRC, Raw y SGaw del grupo de sujetos fumadores, y del grupo de no fumadores se refieren en la tabla III. No existían diferencias significativas entre ambos grupos para ninguna de las variables.

Encontramos una correlación significativa entre conductancia (Gaw) y TGV-FRC ($r = 0,74$; $Gaw = 0,141. TGV-FRC + 0,092$). También existía correlación significativa entre Gaw y talla ($r = 0,68$); no la encontramos entre SGaw y talla ni entre SGaw y TGV-FRC, aunque entre SGaw y Gaw sí existía ($r = 0,467$).

Discusión

El TGV-FRC es un parámetro que está claramente influenciado por el tamaño corporal, por tanto, si queremos comparar los valores propios con los obtenidos en otros trabajos, la talla de los sujetos no debe ser significativamente distinta.



TABLA III

Características antropomórficas y valores pletismográficos del grupo de fumadores y del grupo de no fumadores

	Fumadores (n = 23)	No fumadores (n = 14)	p
Edad	27,0 ± 5,0	28,0 ± 5,8 (años)	> 0,05
Talla	169 ± 9	167 ± 9 (cm)	> 0,05
Relación hombre/mujer	11/12	7/7	
Gaw	0,559 ± 0,136	0,555 ± 0,150 (L. cmH ₂ O ⁻¹ . s ⁻¹)	> 0,05
SGaw	0,170 ± 0,034	0,177 ± 0,027 (cmH ₂ O ⁻¹ . s ⁻¹)	> 0,05
TGV-FRC	3,329 ± 0,712	3,326 ± 0,769 (L)	> 0,05

Gaw = Conductancia. Resto de abreviaturas en tabla I.

El valor medio del TGV-FRC fue en nuestro grupo de 3,280 ± 0,736 l. Los valores referidos en la literatura son bastante dispares entre sí: Guyatt et al⁵ comunican una media de 3,63 l, mientras que otros autores dan valores en torno a 3,5 l^{4,6}. En el trabajo original de DuBois et al¹, el valor medio de TGV-FRC era de 2,97; otros autores⁷ comunican 2,71 para adolescentes cuya media de altura, 1,70 m, es muy similar a la nuestra. El escaso número de sujetos estudiados en todos estos trabajos y las distintas condiciones de estandarización, junto a las probables diferencias en los grupos estudiados, pueden explicar la disparidad de resultados.

El valor medio de la Raw fue en nuestro grupo de 1,92 ± 0,56 cmH₂O. l⁻¹. s. En el trabajo original de DuBois et al² el valor medio era 1,50. Hay que tener en cuenta que en este trabajo el método utilizado era el «panting» y la medición se hacía a un flujo de 1 l/s. Cuando se consultan trabajos que emplean el método de respiración espontánea, los valores de Raw son algo mayores: Grassi et al⁸ refieren un valor medio de 1,86, otros refieren 1,73^{4,9} y Amrein et al¹⁰ comunican 1,81 para hombres y 1,99 para mujeres. Si aplicamos 1,64 desviaciones estándares obtendremos que valores por encima de 2,84 son significativamente altos, cifra en concordancia con los 0,3 kPa. l⁻¹ (3 cmH₂O. l⁻¹. s) expresados por la European Community for Coal and Steel como límite superior de la normalidad para la Raw¹¹.

Existe una gran dispersión de valores interindividuo en la Raw, como indica un DE de 0,56. Aunque este valor puede estar influenciado por las distintas edades, tallas y sexo, posiblemente estos factores no sean los principales condicionantes ya que en una larga serie¹⁰ no se encuentran influencias significativas de estas variables. Aunque en nuestro grupo existía correlación significativa entre Raw y altura, había sujetos del mismo sexo que, con edades y talla similares, presentaban valores de Raw muy dispares. Esto hace que se suela emplear un límite superior de normalidad en vez de tantos por ciento de valores teóricos, para expresar la Raw.

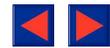
En nuestro grupo la edad media de la SGaw fue 0,173 ± 0,032 cmH₂O⁻¹. s⁻¹, siendo por tanto el

límite de normalidad 0,120. En algunos de los primeros trabajos se citan valores medios superiores, entre 0,220 y 0,303^{5,12-15}; la técnica usada entonces era el «panting», que da valores de SGaw algo superiores a la respiración espontánea; Grassi et al⁸ refieren con esta técnica 0,210, que se aproxima a nuestro valor medio.

La existencia o no de variaciones horarias en los diferentes tests de función pulmonar es un tema debatido en la literatura por existir resultados tanto a favor^{9,16-21} como en contra²²⁻²⁴. En nuestro trabajo no encontramos variaciones significativas que permitan hablar de ritmo horario entre las 9 y 14 horas (que son las de funcionamiento de nuestro laboratorio); lo que implica que el error derivado de repetir las pruebas a distintas horas, entre las referidas, no es significativo. Debido a que nuestro estudio comprendió solamente 5 horas y a haber estudiado globalmente los resultados, podríamos no haber detectado la existencia real de ritmos horarios individuales, como se refiere en la literatura²⁵.

La variabilidad interprueba en nuestro grupo fue de 3,7 ± 3,1 % de CV para TGV-FRC; valor en principio sorprendentemente bajo dada la cantidad de factores que pueden intervenir en la medición del gas intratorácico: frecuencia de respiración²⁶, aire abdominal²⁷, músculos empleados²⁸, etcétera. El aire abdominal interfiere la medición del TGV sobre todo cuando se realiza a RV o a TLC²⁷. Cuando la medición se hace a FRC sólo se produce una pequeña supervaloración que aumenta cuando lo hace el volumen abdominal²⁸; sin embargo, cuando éste aumenta, disminuye la FRC²⁹, existiendo, por tanto, una tendencia a neutralizarse la supervaloración que el aumento de aire abdominal produce. Por otra parte, es de esperar la no variación del volumen de aire abdominal en nuestros sujetos, al haber permanecido en ayunas la mañana en que se realizaron las pruebas. También es de esperar que un mismo sujeto no varíe sustancialmente de una prueba a otra los músculos empleados o la frecuencia respiratoria.

La variabilidad interprueba de la Raw, 10,5 ± 6,3 % de CV, es importante, y para alcanzar significación, un incremento debe ser superior al 20,9 %. No creemos que este alto valor se deba a



defectos metodológicos, ya que se procuró evitar los efectos agudos que tabaco y ejercicio producen en la Raw, prohibiendo fumar a los sujetos y obligándoles a estar en reposo en el laboratorio durante varios minutos antes de la realización de las pruebas.

En la alta variabilidad de la Raw pueden haber intervenido varios factores: 1. La resistencia de la vía superior (RawS) contribuye con un importante componente a la Raw^{30,31} y la variabilidad de la RawS es por ello considerable, posiblemente debido a los cambios anatómicos ocurridos en la laringe³¹. 2. La resistencia de las vías aéreas inferiores varía significativamente con pequeños cambios de volumen⁷. 3. Por último, la Raw puede variar por pequeños cambios en el tono bronquial de una a otra prueba, recordemos la sensibilidad de este parámetro para detectar cambios en el tono bronquial inducidos por tabaco^{13,32}, ejercicio³³ o broncodilatadores¹⁵. Por otra parte estos datos son concordantes con el hecho, ya señalado por otros⁹, de que la variabilidad de la Raw es superior a la del TGV-FRC, VC y volumen espiratorio máximo en el primer segundo (FEV₁).

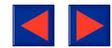
Hay que tener presente que estas cifras de variabilidad están obtenidas en sujetos normales y que los portadores de patología pulmonar pueden presentar mayores índices de variación; recordemos que la variabilidad de VC y FEV₁ es tres veces mayor en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica que en normales³⁴.

No encontramos diferencias significativas al comparar los parámetros: TGV-FRC, Raw y SGaw, entre el grupo de fumadores y el de los no fumadores. Aunque la razón de esta ausencia de significación podría ser debida al pequeño número de sujetos estudiados, es más probable que se deba a que la pletismografía es poco sensible para detectar deterioros iniciales de la función pulmonar.

Diversos autores encuentran que en algunos sujetos la Gaw aumenta de forma casi lineal con la insuflación pulmonar^{5,7,14,35}, mientras que en otros sujetos encuentran relación curvilínea^{5,15,35}. En la valoración interindividual de la relación dGaw/dTGV se ha encontrado una gran variabilidad^{5,7}, concordante con la importante variación interindividuo encontrada por nosotros en la SGaw (DE = 0,032). Sin embargo, el CV interindividuo de la SGaw (18,5) es notablemente inferior al 29,2 % de la Raw; esto puede estar condicionado por la correlación significativa existente entre Gaw y TGV-FRC ($r = 0,74$). Por estas razones nosotros preferimos usar la SGaw en vez de la Raw como parámetro para la comparación interindividuo y para el establecimiento de los límites de la normalidad. En nuestro trabajo son valores significativamente bajos de SGaw los inferiores a 0,120, que es un valor ligeramente superior al 0,104 referido por la European Community for Coal and Steel¹¹.

BIBLIOGRAFIA

- DuBois AB, Botelho S, Bebell GN, Marshall R, Comroe JH Jr. A rapid pletismographic method for measuring thoracic gas volume. A comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. *J Clin Invest*; 1956; 35:322-326.
- DuBois AB, Botelho S, Comroe JH Jr. A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. *J Clin Invest* 1956; 3:327-335.
- Bargeton D, Barres G, Lefebure des Nopes R, Gaugue P. Mesure de la résistance des voies aériennes de l'homme dans la respiration normale. *J Physiol (Paris)* 1957; 49:37-39.
- Jaeger MJ, Otis AB. Measurement of airway resistance with a volume displacement body plethysmograph. *J Appl Physiol* 1964; 19:813-820.
- Guyatt AR, Alpers JH, Hill ID, Bramley AC. Variability of plethysmographic measurements of airways resistance in man. *J Appl Physiol* 1967; 22:383-389.
- Lord PW, Brook AGF, Edward JM. Variation between observers in the estimation of airway resistance and thoracic gas volume. *Thorax* 1977; 32:67-70.
- Zapletal A, Motoyoma ER, Van de Woestijne KP, Hunt VR, Bouhuys A. Maximum expiratory flow-volume curves and airway conductance in children and adolescents. *J Appl Physiol* 1969; 26:308-316.
- Grassi C, Rampulla C. Corso di aggiornamento di fisiopatologia respiratoria. La pletismografia corporea. *Minerva Medica* 1976; 67:2665-2676.
- Hruby J, Butler J. Variability of routine pulmonary function test. *Thorax* 1975; 30:548-553.
- Amrein R, Keller R, Joos H, Herzog H. Valeurs théoriques nouvelles de l'exploration de la fonction ventilatoire du poumon. *Bull Physiopath Rep* 1970; 6:317-349.
- European Community for Coal and Steel: «Standardization of lung function tests». *Bull Europ Physiopath Resp* 1983; 19(suppl. 5):33-38.
- Pelzer AM, Thomson ML. Effect of age, sex, stature and smoking habits on human airway conductance. *J Appl Physiol* 1966; 21:469-476.
- Nadel JA, Comroe JM Jr. Acute effects of inhalation of cigarette smoke on airway conductance. *J Appl Physiol* 1961; 16:713-716.
- Briscoe WA, DuBois AB. The relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjects of different age and body size. *J Clin Invest* 1958; 37:1279-1285.
- Butler J, Caro CG, Alcalá R, DuBois AB. Physiological factors affecting airway resistance in normal subjects and in patients with obstructive respiratory disease. *J Clin Invest* 1960; 39:584-591.
- Lewinsohn HC, Capel LH, Smart J. Changes in forced expiratory volumes throughout the day. *Br Med J* 1960; 1: 462-464.
- McDermott M. Diurnal and weekly cyclical changes in lung airways resistance. *J Physiol* 1966; 186:90P-92P.
- Reinberg A, Gervis P. Circadian rhythms in respiratory functions with special reference to human chronophysiology and chronopharmacology. *Bull Physiopathol Respir* 1972; 2: 663-677.
- Kerr HD. Diurnal variation of respiratory function independent of air quality. *Arch Environ Health* 1973; 26: 144-152.
- Hetzel MR, Clark TJH, Brow D. Normal circadian rhythms in peak expiratory flow rate (Abstract). *Thorax* 1978; 33:668.
- Hetzel MR, Clark TJH. Patterns of diurnal variation of asthma. *Br J Dis Chest* 1977; 71:87-92.
- McCarthy DS, Graig DB, Cherniak RM. Intraindividual variability in maximum expiratory flow-volume and closing volume in asymptomatic subjects. *Am Rev Respir Dis* 1975; 112:407-411.
- Becklare MR, Le Clerc M, Strobach H, Swift J. The N₂ closing volume test in population studies: sources of variation and reproducibility. *Am Rev Respir Dis* 1975; 111:141-147.



24. Cochrane GM, Prieto F, Clark TJH. Intrasubject variability of maximal expiratory flow volume curve. *Thorax* 1977; 32:171-176.
25. Hetzel MR, Clark TJH. Comparison of normal and asthmatic circadian rhythms in peak expiratory flow rate. *Thorax* 1980; 35:732-738.
26. Bohadana AB, Peslin R, Hannhart B, Teculescu D. Influence of panting frequency on plethysmographic measurements of thoracic gas volume. *J Appl Physiol: Respirat. Environ. Exercise Physiol* 1982; 52:739-747.
27. Brown R, Hoppin FG, Ingram HR Jr., Sanders NA, McFadden ER Jr. Influence of abdominal gas in the Boyle's Law determination of thoracic gas volume. *J Appl Physiol: Respirat. Environ. Exercise Physiol* 1978; 44:469-473.
28. Habid MP, Engel LA. Influence of the panting technique on the plethysmographic measurement of thoracic gas volume. *Am Rev Respir Dis* 1978; 117:265-271.
29. Van de Woestijne KP, Vermeine S. La plethysmographie corporelle in l'exploration fonctionelle pulmonaire. H. Denolin, P. Sadoul y N.G.M. Orie. Paris: Flammarion 1967; 514.
30. Ferris BG, Mead J, Opie LH. Partitioning of respiratory flow resistance in man. *J Appl Physiol* 1964; 19:653-658.
31. Hyatt RE, Wilcox RE. Extrathoracic airway resistance in man. *J Appl Physiol* 1961; 16:326-330.
32. McDermott M, Collins MM. Acute effects of smoking on lung airways resistance in normal and bronchitic subjects. *Thorax* 1965; 20:562-569.
33. Kagawa J, Kerr HD. Effects of brief graded exercise on specific airway conductance in normal subjects. *J Appl Physiol* 1970; 28:138-144.
34. Rozas CJ, Goldman AL. Daily spirometric variability. Normal subjects and subjects with chronic bronchitis and without airflow obstruction. *Arch Intern Med* 1982; 142:1287-1291.
35. Blide RW, Kerry HD, Spices WS Jr. Measurement of upper and lower airway resistance and conductance in man. *J Appl Physiol* 1964; 19:1059-1069.