

## VALORES RESPIRATORIOS OBTENIDOS EN SUJETOS NORMALES

Dr. EDUARDO VILLACIS M. (1), Sr. FERNANDO MOSCOSO S., Sr. FERNANDO TERAN C.  
y Sr. LUIS BURBANO D.

Dpto. de Fisiología Cardiopulmonar  
Sanatorio Pablo Arturo Suárez, Quito.

Aunque los cambios de la función pulmonar provocados por la altura no han sido aceptados por los fisiólogos pulmonares en alturas inferiores a 3.000 metros sobre el nivel del mar<sup>1,2</sup>, es indudable que, a nuestra altitud, los valores funcionales pulmonares son completamente diferentes de los aceptados como normales para el nivel del mar. El presente trabajo tuvo por objeto investigar los valores normales de la función pulmonar para la ciudad de Quito, ya que no conocemos sino un trabajo<sup>3</sup> sobre el tema, en el cual no se precisan materiales ni métodos y los valores presentados son incompletos.

### MATERIALES Y METODOS

Los datos de la función pulmonar se determinaron en condiciones basales, en 22 hombres con edades entre 19 y 50 años y 10 mujeres con edades entre 23 y 38 años; todos residentes en la ciudad de Quito y que

fueron considerados como normales en su aspecto cardiopulmonar clínico y radiológicamente. Diez hombres tuvieron, además, electrocardiograma reportado como normal.

Los sujetos de nuestro estudio fueron distribuidos en tres grupos: un grupo comprendió 10 hombres y otro 10 mujeres, en los cuales se realizaron pruebas ventilatorias. En un tercer grupo de 12 hombres se determinaron los valores de oxígeno y bióxido de carbono en muestras de aire alveolar y los de oxígeno en la sangre arterial.

Los datos de la función ventilatoria se obtuvieron en posición ortostática. Los volúmenes pulmonares se midieron en un espirómetro Stead-Wells (Collins); el volumen minuto se calculó sobre el gas colectado en

(1) Dirección actual: Clínica del Seguro Social, Quito.

un aparato de Tissot del tipo del gasómetro de 120 litros. El análisis de las muestras del aire alveolar y del aire espirado, recogidas en aerotonomómetros de mercurio para determinar el contenido de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, se realizó con el micrométodo de Schölander. El espacio muerto fisiológico se calculó mediante la ecuación de Böhr. La ventilación alveolar por minuto se obtuvo sustrayendo al valor de la ventilación del espacio muerto por minuto de la cifra del volumen minuto.

Las presiones parciales alveolares de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se determinaron multiplicando la Presión Barométrica local (548 mm. Hg.), menos la presión parcial del vapor de agua de Quito (34 mm. Hg.), por la concentración fraccional de cada uno de estos gases en la muestra de aire alveolar.

Los volúmenes pulmonares y las cifras ventilatorias están expresadas a BTPS (Body Temperature and Pressu-

re Saturated), es decir a 37 grados (temperatura corporal) y 548 mm. Hg. (Presión Barométrica de Quito 2.818 m. sobre el nivel del mar).

La capacidad vital y la máxima ventilación voluntaria se expresan en valor absoluto y en por ciento del valor teórico correspondiente, calculado por los fórmulas de Baldwin y Cournaud.

Los muestras de sangre arterial fueron obtenidas por punción de la arteria humeral derecha y su contenido de O<sub>2</sub> fue determinado por el método manométrico de Van Slyke y por el método de análisis infrarrojo en un oxímetro de cubeta Elema Schölander.

## RESULTADOS

Los valores normales para la **capacidad vital, máxima ventilación voluntaria y capacidad vital formada** en tres segundos aparecen en la Tabla I.

T A B L A I

VALORES RESPIRATORIOS OBTENIDOS EN 20 SUJETOS NORMALES  
Quito, 1967

(Valores expresados en promedio, con la respectiva desviación estándar)

| PARÁMETRO  | HOMBRES<br>(10 casos) | MUJERES<br>(10 casos) |
|--|-----------------------|-----------------------|
| <b>Capacidad Vital</b><br>(en litros)                            | 4.85 ± 0.52           | 3.06 ± 0.39           |
| <b>Capacidad Vital</b><br>(en % del valor teórico)               | 115 ± 10.5            | 107 ± 11              |
| <b>Máxima Ventilación Voluntaria</b><br>(litros/min.)            | 122 ± 19              | 74 ± 16               |
| <b>Máxima Ventilación Voluntaria</b><br>(en % del valor teórico) | 95 ± 13.5             | 87 ± 15.2             |
| <b>Capacidad Vital Forzada</b>                                   |                       |                       |
| Primer segundo   | 76 ± 11               | 81 ± 15.6             |
| Segundo "  | 98 ± 2.4              | 98 ± 1.6              |
| Tercer "   | 99.7 ± 0.67           | 99.8 ± 0.77           |

Las cifras de la capacidad vital y la máxima ventilación voluntaria, en sus valores absolutos, son iguales a las reportadas por todos los autores<sup>2,7</sup>. La capacidad vital en por ciento de su respectivo valor teórico fue superior al 100% en todos los casos, como ha sido descrito por De Micheli y Salguero para altitudes de 2.240 y 2.818 metros sobre el nivel del mar, respectivamente. La capacidad vital forzada, en el primer segundo es ligeramente inferior a la cifra reportada como normal por Comroe, pero

coincide con los hallados por Knowles y Bass.

En la Tabla II se expresan las cifras ventilatorias normales en reposo y durante el ejercicio muscular. Los valores ventilatorios en reposo son mayores a los descritos por otros autores a nivel del mar<sup>2,5,6,8</sup>.

La frecuencia respiratoria en reposo es casi igual a la señalada por Salguero y superior a la establecida como normal por Comroe.

El volumen minuto en ejercicio es igual al reportado por Bass y la rela-

T A B L A II

VALORES RESPIRATORIOS OBTENIDOS EN 20 SUJETOS NORMALES  
Quito, 1967

(Valores expresados en promedio, con la respectiva desviación estándar)

| PARAMETRO  | HOMBRES<br>(10 casos) | MUJERES<br>(10 casos) |
|--|-----------------------|-----------------------|
| <b>Aire Corriente</b> (en litros)                            |                       |                       |
| En reposo  | 0.852 ± 0.84          | 0.580 ± 0.05          |
| En ejercicio   | 1.303 ± 1.06          | 0.828 ± 0.17          |
| <b>Frecuencia Respiratoria</b>                               |                       |                       |
| En reposo  | 17 ± 5.9              | 20 ± 3.4              |
| En ejercicio   | 19 ± 2                | 22 ± 3.74             |
| <b>Relación Espacio Muerto<br/>Aire Corriente Porcentual</b> |                       |                       |
| En reposo  | 36 ± 12.9             | 53 ± 6.3              |
| En ejercicio   | 33 ± 9.8              | 38 ± 6.15             |
| <b>Volumen Minuto</b> (lt./m.)                               |                       |                       |
| En reposo  | 13.81 ± 3.8           | 11.49 ± 1.52          |
| En ejercicio   | 20.14 ± 4.3           | 17.96 ± 5.44          |
| <b>Ventilación Alveolar</b> (lt./m.)                         |                       |                       |
| En reposo  | 8.66 ± 2.6            | 5.44 ± 1.17           |
| En ejercicio   | 13.29 ± 2.8           | 11.11 ± 3.34          |

ción espacio muerto / aire corriente % durante el ejercicio muscular disminuye en relación a su valor en reposo, como lo han señalado Rossier y Col.

En la Tabla III se presentan los valores de las presiones alveolares de

O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, la eliminación de CO<sub>2</sub> y el consumo de O<sub>2</sub>, en reposo y en ejercicio, así como la saturación arterial de O<sub>2</sub> en reposo. La presión alveolar de CO<sub>2</sub> en reposo está disminuida en relación a los valores normales (para el nivel del mar<sup>(\*)</sup>).

TABLA III  
VALORES RESPIRATORIOS OBTENIDOS EN 20 SUJETOS NORMALES  
Quito, 1967

(Valores expresados en promedio, con la respectiva desviación estándar)

| PARAMETRO   | HOMBRES<br>(10 casos) |         | MUJERES<br>(10 casos) |         |
|---|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| <b>Presión Alveolar de CO<sub>2</sub></b><br>(en mm. de Hg.)  |                       |         |                       |         |
| En reposo (*)   | 26                    | ± 3.73  | 26                    | ± 3.5   |
| En ejercicio  | 29                    | ± 2.76  | 28                    | ± 1.76  |
| <b>Presión Alveolar de O<sub>2</sub></b><br>(en mm. de Hg.)   |                       |         |                       |         |
| En reposo (*)   | 78                    | ± 5.89  | 77                    | ± 5.83  |
| En ejercicio  | 75                    | ± 4.84  | 76                    | ± 2.68  |
| <b>Eliminación de CO<sub>2</sub> (cc/m.)</b>  |                       |         |                       |         |
| En reposo   | 242                   | ± 44.53 | 160                   | ± 19.83 |
| En ejercicio  | 454                   | ± 90.34 | 351                   | ± 113.7 |
| <b>Consumo de O<sub>2</sub> (cc/m.)</b>   |                       |         |                       |         |
| En reposo   | 299                   | ± 52.46 | 207                   | ± 22.1  |
| En ejercicio  | 551                   | ± 96.5  | 432                   | ± 121.2 |
| <b>Coefficiente Respiratorio</b>  |                       |         |                       |         |
| En reposo   | 0.80                  |         | 0.77                  |         |
| En ejercicio  | 0.82                  |         | 0.81                  |         |
| <b>Saturación arterial de O<sub>2</sub> Porcentual (**)</b><br>(en 12 casos determinados por oximetría de cubeto) | 90                    | ± 2.9   |                       |         |
|   | 92                    | ± 3.0   |                       |         |

(\*) Corresponde a 22 casos.

(\*\*) 10 casos determinados por oximetría de Von Slyke.

y es igual a la calculada como normal para Quito<sup>1</sup>. La presión alveolar de O<sub>2</sub> en reposo, es menor a la citada como normal para el nivel del mar y es igual a la calculada como normal para nuestra ciudad<sup>2</sup> y comparable a la determinada por otros autores<sup>3</sup> en una altura ligeramente inferior.

Aunque la eliminación de CO<sub>2</sub> en reposo es mayor a la señalada por Comroe, el consumo de O<sub>2</sub> es igual al reportado por este autor y por Knowles.

La saturación arterial de O<sub>2</sub>, es menor a la obtenida a nivel del mar (97,9%) e igual a la determinada por De Micheli a la altura de 2.240 metros sobre el nivel del mar.

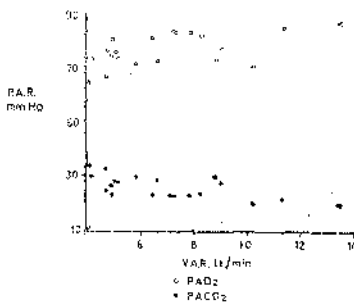


Fig. Nº 1.—Valores respiratorios obtenidos en sujetos Normales.

Las Figuras 1 y 2 muestran la correlación entre las presiones alveolares de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> y la ventilación, en reposo y en ejercicio. Se puede notar que los valores tensionales de los gases alveolares permanecen estables a pesar de las notables variaciones ventilatorias. Igualmente, se puede apre-

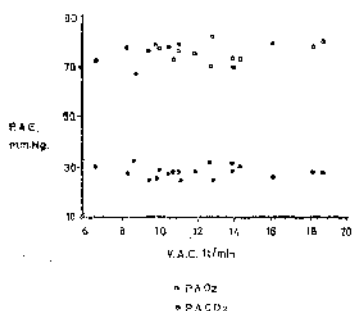


Fig. Nº 2.—Valores respiratorios obtenidos en sujetos Normales.

ciar que no se modifican los valores de las presiones alveolares en reposo con el ejercicio muscular.

En los diagramas de las figuras 3, 4 y 5 se observa la correlación lineal que existe entre el consumo de O<sub>2</sub> y la ventilación alveolar, en reposo y en ejercicio.

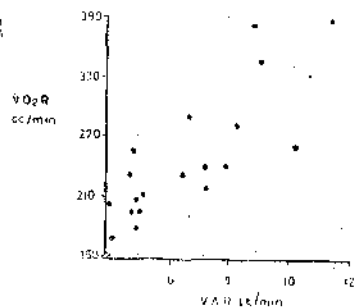


Fig. Nº 3.—Valores respiratorios obtenidos en sujetos Normales.

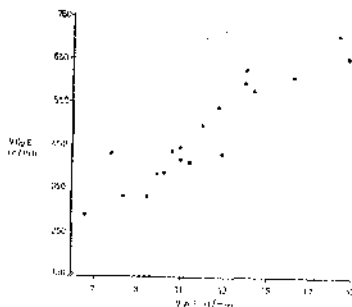


Fig. Nº 4.—Valores respiratorios obtenidos en sujetos Normales.

#### DISCUSIÓN

Las cifras de la capacidad vital porcentual observadas en los sujetos normales nos permiten afirmar que las fórmulas para la obtención de este valor son inadecuadas para nuestro altitud, ya que, en todos los casos, fueron superiores al 100%, presumi-

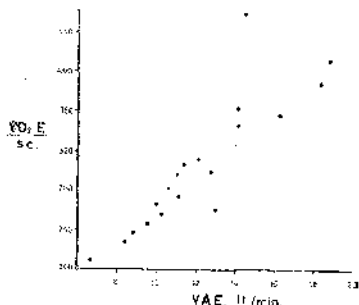


Fig. Nº 5.—Valores respiratorios obtenidos en sujetos Normales.

blemente, por una mayor dilatación torácica en relación a la estatura y edad de los sujetos examinados.

El régimen ventilatorio vigente, en reposo, en los casos investigados, fue el de la hiperventilación pulmonar, cuyo mecanismo más probable es la hipoxia e hipoxemia presente en todos ellos. Este régimen ventilatorio documentado explicaría la dilatación torácica a que nos referimos anteriormente.

La disminución de la relación espacio muerto / aire corriente % durante el ejercicio se podría explicar por un aumento del gasto cardíaco proporcionalmente mayor al incremento de la ventilación durante el esfuerzo muscular.

La disminución de la presión alveolar de  $CO_2$  es el resultado lógico de la hiperventilación alveolar; la presión alveolar de  $O_2$  es baja a pesar del incremento de la ventilación alveolar, debido a que existe una disminución de la presión de  $O_2$  en el aire inspirado, en nuestra altitud.

La saturación arterial de  $O_2$  está disminuida, en relación a los valores normales obtenidos a nivel del mar, como consecuencia del descenso de la presión alveolar de  $O_2$ .

Durante el ejercicio muscular permanecieron constantes las presiones alveolares de  $O_2$  y  $CO_2$ , por lo cual el mecanismo fisiológico del aumento de la ventilación pulmonar en ejercicio no puede ser atribuido a estímulos químicos sino a factores corticales, cerebrales o neurales<sup>7</sup>; por otro lado, demuestran que más importancia tienen, por el criterio de normalidad ventilatoria, las constantes qui-

micas que las cifras volumétricas de la ventilación.

Contrariamente a lo pensado por otros autores<sup>2</sup>, el incremento de la ventilación pulmonar en nuestra ciudad significa un recargo en el trabajo de los músculos respiratorios, como lo demuestra el aumento del consumo de O<sub>2</sub> directamente proporcional al incremento de la ventilación alveolar. Esta afirmación concuerda con los reportes de otros investigadores<sup>3</sup>.

### RESUMEN

Los datos de la función pulmonar estudiados en 32 sujetos normales residentes en la ciudad de Quito comprueban la existencia de hiperventilación alveolar; sin embargo, la presión alveolar de O<sub>2</sub> y la saturación arterial de O<sub>2</sub> estuvieron disminuidas como consecuencia del descenso de la presión de O<sub>2</sub> en el aire inspirado. Esta hiperventilación ocasiona un mayor trabajo a los músculos de la respiración.

### SUMMARY

The pulmonary function data observed in 32 normal subjects living in Quito show the presence of alveolar hyperventilation; in spite of this fact it was found a low alveolar pressure of O<sub>2</sub> as well as oxygen arterial hypsaturation due to the fall of the por-

tial pressure of O<sub>2</sub> in the inspired air. This hyperventilation increases the work of the respiratory muscles.

### BIBLIOGRAFIA

- 1.—ROTTA, A.: "Modificaciones de la circulación en las grandes alturas". Abstracts of Symposium, III World Congress of Cardiology, Bruselas, 1958.
- 2.—DE MICHLI, A., VILLACIS, E., GUZZY, P. y RUBIO, V.: "Observaciones sobre los valores hemodinámicos y respiratorios obtenidos en sujetos normales". Arch. Inst. Cardiol. Mex. 30: 507, 1960.
- 3.—SALGUEIRO, I. y SANTAMARIA, E.: "Características y particularidades de los aparatos circulatorio y respiratorio del habitante de los Andes Ecuatorianos". Gac. Méd. (Guayaquil) 8: 240, 1953.
- 4.—COMROE, J. H., Jr., FORSTER, R., E., DUBOIS, A. B., BRISCOE W., A. and CARLSEN, E.: "The lung. Clinical physiology and pulmonary function tests". Year Book Medical Publishers, Inc. 2ª ed., 1962.
- 5.—KNOWLES, J. H.: "Respiratory physiology and its clinical application". Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1959.
- 6.—BASS, B., H.: "Lung function tests". H. K. Lewis & Co. Ltd., Londres, 1959.
- 7.—BATES, D., V. and CHRISTIE, R., V.: "Respiratory function in disease". W. B. Saunders, Co., Philadelphia, 1964.
- 8.—ROSSER, P., H., BUHLMANN, A., A. and WIESINGER, K.: "Respiration. Physiological principles and their clinical applications". The C. V. Mosby Co., St. Louis, 1960.