

Aportes de la Pletismografía Corporal Total al estudio de la adaptación respiratoria a la vida en altura

*Mercedes Villena , Enrique Vargas

Abstract

The adaptation process to life at high altitudes is permanently studied and recent technological advances increase the knowledge of the mechanism involved.

The purpose of the study of respiratory parameters using total corporal plethysmography (TCP) is to measure the normal lung volumen of high altitude natives, measurements that sofar had not been obtained by this method. TCP also improves the diagnosis of chronic desadaptation to life at altitude.

The authors present the principles and techniques of the measurements of the following parameters:

- a) Residual volume and functional residual capacity
- b) Tracheobronchial airway resistance
- c) Lung compliance
- d) Estracorporal spirometry
- e) Forced vital capacity
- f) Ventilatory drive test

The advantages of the method are analyzed and compared with other classical methods.

The results presented concern studies of normal adult high altitude dwellers, of both sexes and different age groups, and are compared to those obtained at sea level in similar groups.

The results showed that:

- 1) The values of lung volumen and capacities measured by TCP are comparable, however slightly higher than those obtained by other methods (8 - 13%).

* Dpto. Respiratorio - Instituto Boliviano de Biología de Altura.

- 2) The maximal expiratory flows (FEF) of high altitude natives present significant differences in comparison with those of sea level residents. Maximal expiratory flow was 27 - 32% higher at altitude; FEF at 75% of the forced vital capacity was 17 - 21% lower at altitude.
- 3) Semistatic lung compliance, the tracheo-bronchial airway resistances and the ventilatory drive test, showed comparable values to those obtained with other methods.

Resumen

Los procesos de adaptación a la vida en la altura son permanentemente estudiados y el avance de la tecnología, permite conocer aspectos cada vez más novedosos. El objetivo del estudio de parámetros respiratorios a través de la Pleiismografía Corporal Total (PCT), ha sido el de determinar algunos valores normales para nativos residentes de la altura, inexistentes hasta la aplicación del método y, afinar el diagnóstico de la desadaptación crónica a la vida en la altura.

Se explica el principio y la técnica de las medidas de: a) Volumen Residual y Capacidad residual funcional; b) Resistencias de las vías aéreas traqueo-bronquiales; c) Compliance pulmonar semiestática; d) Espirometría extracorporal; e) Capacidad vital forzada; f) Test de sensibilidad de los centros respiratorios.

Se analizan las ventajas del método y se lo compara con otros clásicamente utilizados.

Se dan a conocer los resultados de estudios obtenidos en adultos nativos residentes en la altura, normales de ambos sexos y de diferentes edades comparándolos con los obtenidos a nivel del mar en grupos etáreos similares.

Los resultados muestran que: 1) Los valores de volúmenes y capacidades pulmonares obtenidos por PCT son comparables, aunque ligeramente superiores a los que se obtienen con otros métodos (8-13%); 2) Los flujos espiratorios de nativos de la altura, tienen diferencias significativas en relación con los del nivel del mar (Flujo espiratorio máximo forzado: 27-32% superior en la altura; flujo a 75% de la capacidad vital forzada: 17-21% menor en la altura); 3) La compliance semiestática y las resistencias traqueo-bronquiales así como los test de sensibilidad de los centros respiratorios, muestran valores comparables a los obtenidos con otros métodos.

Introducción

La influencia de la altura en los seres vivos ha sido motivo de interés para numerosos investigadores.

A partir de los estudios de Paul Bert (1860) se iniciaron investigaciones referidas a modificaciones fisiológicas que provocan los cambios de altura en el ser humano (1) (2).

Aceptado el concepto de modificaciones fisiológicas, es decir de una adaptación a la altura, se inician estudios con el fin de conocer los mecanismos que intervienen en este proceso (3) (4) (5) (6). A pesar de los innumerables estudios efectuados (7) (8) (9) (10) (11) aún quedan interrogantes, especialmente en lo que se refiere a los cuadros en los que estos mecanismos no actúan o dejan de actuar en sujetos nativos de la altura (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18).

Responder a estas interrogantes, obliga a utilizar tecnología moderna. En el campo respiratorio, la Pletismografía Corporal Total (PCT), permite efectuar estudios de alta confiabilidad que muestran alteraciones funcionales, antes de que exista sintomatología clínica.

Los parámetros respiratorios son determinados a partir de las modificaciones de las moléculas gaseosas de un medio artificialmente delimitado, durante la ventilación de reposo o la forzada.

Material y Método

Se utilizó una cadena pletismográfica constituida por: un pletismógrafo corporal total volumétrico, captosres de presión, amplificadores HP, convertidor analógico-digital HP, computador HP (9825 A) impresora HP (9871 A), programa computarizado para determinación de función pulmonar.

Para la comparación de valores se hizo uso de un espirómetro Collins con analizador de helio.

Se estudiaron 183 sujetos normales, de ambos sexos y de edades comprendidas entre 20 y 59 años.

Después de explicarles detenidamente los métodos, se procedió a las medidas de volúmenes y capacidades pulmonares, flujos espiratorios forzados, mecánica ventilatoria y resistencias traqueo-bronquiales.

Las medidas de los componentes de la capacidad vital (VRI, VRE, VC) por PCT se efectúan midiendo las variaciones de volumen o de presión dentro del pletismógrafo, variaciones que se producen por el desplazamiento de la caja torácica durante la respiración de reposo o la forzada. Los volúmenes dinámicos se miden con la ayuda de un neumotacógrafo.

Este principio también es utilizado para el estudio de la sensibilidad de los centros respiratorios a los estímulos O_2 y CO_2 .

La medida de la capacidad residual funcional (CRF) y del volumen residual (VR), se basa en la ley de gases de Boyle y Mariotte ($P \cdot V = K$). El sujeto a examinar, encerrado en el pletismógrafo, respira al exterior. Logrado el necesario equilibrio térmico y durante el final de una espiración, una válvula electrónica de control automático situada por delante de la boca del sujeto, se cierra impidiendo el flujo del aire.

Paralelamente al cierre de la válvula, el sujeto debe efectuar esfuerzos inspiratorios y espiratorios. Simultáneamente se miden la presión bucal (p) y el cambio de volumen dentro del pletismógrafo (v). Con estas medidas se hace el cálculo del volumen intratorácico bajo la siguiente fórmula:

$$(CRF) \quad V = \frac{\Delta v}{\Delta p} P$$

Donde Δv = Variación de volumen intrapletismográfico
 Δp = Variación de presión bucal
 P = Presión barométrica - presión de vapor de agua

Las resistencias traqueo-bronquiales se miden bajo la técnica propuesta por Du Bois (respiración jadeante o panting). El sujeto debe respirar durante 3 - 5 segundos a una frecuencia de 2 ciclos/seg. para un volumen de 300 ml aproximadamente.

Simultáneamente se miden las variaciones del volumen intrapletismográfico y el flujo aéreo con ayuda de un neumotacógrafo.

$$R = \frac{-\Delta v}{\dot{V}}$$

Donde R = Resistencias traqueo-bronquiales
 Δv = Variación de volumen intrapletismográfico
 \dot{V} = Flujo aéreo

Puesto que el pletismógrafo mide también las modificaciones de presión

intrapleural durante los períodos de flujo mínimo o nulo, es posible obtener medidas de la compliance pulmonar semiestática que traduce el grado de elasticidad del tejido pulmonar, haciendo uso del método del balón intraesofágico con el que se obtiene el valor de la presión negativa intrapleural para ser relacionada con las variaciones del volumen de la ventilación de reposo.

$$C_0 = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

C_0 = Compliance pulmonar

ΔV = Variaciones de volumen ventilatorio

Δp = Variaciones de presión intraesofágica

Resultados

Las tablas y figuras muestran los valores obtenidos. Las diferencias observadas entre las medidas por PCT y por espirometría clásica, así como las diferencias de flujos espiratorios máximos forzados comparados con los valores teóricos para el nivel del mar, son similares.

Los valores de CV obtenidos por PCT (+ 0.35 dm³) y de volumen espiratorio máximo por segundo (+ 0.42 dm³) son superiores a los encontrados por espirometría clásica (Tablas II y III).

Los valores de capacidad residual funcional y de volumen residual en los cuatro grupos étaeos estudiados por PCT son superiores a los obtenidos por la técnica de dilución de helio. Para la C.R.F. existe una diferencia promedio de + 0.38 dm³ y para el VR de + 0.25 dm³ (Tablas IV y V).

Las observaciones más importantes corresponden a los estudios efectuados sobre la curva de capacidad vital forzada (CVF). Todos los grupos presentan valores muy superiores del flujo espiratorio máximo forzado (FEMF), en relación a los valores teóricos del nivel del mar (Tabla VI) (Fig. 1 y 2). Por el contrario el flujo a 75% de la CVF, en los cuatro grupos étaeos es inferior en relación a los valores del nivel del mar (Tabla VII) (Fig. 3 y 4).

Los valores de las resistencias traqueo-bronquiales y de la compliance pulmonar semiestática son similares a los encontrados a nivel del mar.

Discusión

La fisiología pulmonar en la altura, ha sido objeto de numerosos estudios, habiéndose llegado a establecer diferentes parámetros respiratorios (5) (6) (8)

(9) (10) (13). Entre ellos, uno de los más importantes, el volumen residual, que representa un factor de cambio estructural, fundamental para adecuar el transporte del oxígeno a los tejidos, a partir de una presión alveolar de O_2 (PAO_2) suficientemente estable, que compense la menor presión inspiratoria de oxígeno (PIO_2) que existe en la altura.

El aumento del volumen residual en nativos de la altura está establecido desde hace muchos años (3) (8). En el presente trabajo se han comparado los valores de este parámetro, obtenido por PCT y por el método espirográfico de dilución de helio. Los resultados muestran diferencias un poco mayores que las encontradas por otros autores (19) (20).

Cabe mencionar en este punto, que la PCT mide el volumen intratorácico total (20) mientras que con el método de dilución de helio, sólo se miden, en un tiempo determinado, los espacios bien ventilados, debido a que el aire no llega a penetrar a los alvéolos cuyos bronquiolos se encuentran obstruidos. Por otra parte, los estudios efectuados (21) para determinar las modificaciones que el aire intra abdominal podría producir en las medidas del volumen residual, muestran que este último no sufre variaciones aún cuando el aire intra abdominal esté aumentado.

Por lo mencionado, la PCT viene a ser un método de elección para estudiar este importante parámetro de adaptación a la vida en la altura. En cuanto a los otros parámetros (capacidad vital y sus componentes), cabe remarcar que a través de la PCT, se obtiene medidas directamente en condiciones BTPS debido a que el aire dentro del recinto se recalienta y humedece, en tanto que la espirometría clásica requiere una corrección de ATPS a BTPS. Estos factores físicos parecen, por una parte, ser los responsables de las diferencias que se encuentran y por otra parte en la PCT no existe espacio muerto del equipo.

En lo que se refiere a la CVF, se sabe que cuando los flujos aéreos, especialmente espiratorios son forzados, la PCT capta más fácilmente las variaciones del volumen del tórax (22). Así mismo todos los autores están de acuerdo en que la menor densidad del aire en la altura, hace que el mismo entre y salga más fácilmente del sistema broncopulmonar durante los movimientos inspiratorios y espiratorios forzados, hecho que explicaría el aumento del FEMF, encontrado en nuestro estudio. La disminución del flujo a 75% de la CVF, tendría relación con el aumento del volumen residual en sujetos nacidos y residentes en la altura. Esta apreciación tiene el respaldo de haber encontrado en sujetos nativos del nivel del mar y llegados a la altura, flujos a 75% de la CVF similares a los que tenían en sus lugares de origen.

Por otra parte existe una correlación directa, cuando se comparan el flujo a

75% y el volumen residual de sujetos nativos de la altura.

Las medidas de resistencias traqueo-bronquiales obtenidas por PCT no pueden ser comparadas con las que se encuentran por otras técnicas en nuestro medio, debido a que estas últimas determinan además las resistencias que el tejido pulmonar ofrece al desplazamiento del aire.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio han sido comparados con los que existen a nivel del mar, habiéndose encontrado similitud (< 0.22 KPa).

En cuanto a la compliance pulmonar semiestática, comparada con la del nivel del mar, tampoco hemos encontrado diferencias significativas.

Estas dos últimas observaciones corroboran los resultados de estudios anteriores (8) (15) en los que no se han encontrado diferencias ni de compliance pulmonar ni de resistencias dinámicas en la altura y el nivel del mar.

Finalmente, aún cuando el número de sujetos estudiados es reducido y no permite aún determinar valores teóricos para nuestra altura (3.600) consideramos que los resultados son un valioso aporte al conocimiento de los procesos respiratorios de adaptación a la altura y, que por la precisión que ofrece la técnica de la PCT, se constituye en un método de apoyo diagnóstico importante, capaz de detectar alteraciones funcionales en su inicio, aún sin sintomatología clínica, permitiendo además, determinar con precisión la ausencia de alteración funcional respiratoria en sujetos que presentan eritrocitosis por desadaptación crónica a la altura.

Bibliografía

1. VIAULT F. Sur l' augmentation considérable du nombre de globules rouges dans le sang chez les habitants des hautes plateaux de l' Amérique de Sud. C.R. Acad. Sci. Paris 1890.
2. BARCROFT, BINGER, BOCK, DOGGART, FORBES, HARROP, MEAKINS, REDFIELD. Observations upon the effect of high altitude on the physiological process of the human body, carried out in the peruvian Andes, chiefly at Cerro de Pasco. Phil Trans. Royal Soc. London. Series B 1922.
3. HURTADO A., VELASQUEZ G., REYNAFARGE C., LOZADA R., CHAVEZ ASTE SALAZAR. Mechanisms of natural acclimatization. Air University School Prepor. 1956.

4. CHIODI H, Respiratory adaptation to chronic high altitude hypoxia J. Appl. Physiol, 1957.
5. VELASQUEZ T., Acquired acclimatization to sea level life at high altitude PAHO/WHO, 1966.
6. LEFRANCOIS R, GAUTIER H., PASQUIS P., VARGAS E. Factors controlling respiration during muscular exercise at altitude. Federation Proc., 1969.
7. FAURA J., RAMOS J., REYNAFARGE C., Effect of altitude on erythropoiesis Blood 1969.
8. VARGAS E., Características respiratorias de los nativos de la altura. Boletín del Instituto Boliviano de Biología de la Altura. La Paz, 1970.
9. CUDKOWICZ L., SPIELVOGEL H., ZUBIETA, Respiratory studies in women at high altitude (3.600 y 5.200 m) Respiration 1972.
10. COUDERT J., PAZ ZAMORA M., VARGAS E., Volumes pulmonaires, ventilation et pression des gaz du sang chez les residents de haute altitude transférés a basse altitude J. Physiol Paris 1973.
11. ANTEZANA G., PAZ ZAMORA M., VARGAS E., Aclimatarse a la altura. UNESCO. El correo 1978.
12. MONGE C. Las enfermedades de Los Andes, Anales Fac. Medicina. Lima 1928.
13. ERGUETA J., SPIELVOGEL H., CUDKOWICZ L., Cardio-respiratory studies in Monge's syndrome. Respiration 1971.
14. WHITTEMBURY J., MONGE C., High altitude, haematocrit and age. Nature 1972.
15. VARGAS E., PAZ ZAMORA M., ERGUETA J., PINTO E., MEDEIROS S., Obesidad y eritrocitosis. Valoración funcional respiratoria. Anuario IBBA . La Paz 1973.
16. GUENARD H., VARGAS E., VILLENA M., CARRAS PM., Hypoxemie et hematocrite dans la polyglobulie pathologique. Bull. Eur. Phys. Respiratoire, 1984.

17. VILLENA M., VARGAS E., GUENARD H., NALLAR N., TELLEZ W., SPIELVOGEL H. Etude en double insu de l' effect de l' almitrine sur les malades porteurs de polyglobulie pathologique de' altitude. Bull. Eur. Phys. Resp. 1985.
18. GUENARD H., VILLENA M., VARGAS E., La polycythème pathologique d' altitude: essai thérapeutique avec le bismesilate d' Almitrine. Rev. Med. Int. Ed. L.B. Ballière Paris, 1986.
19. TROQUET J. Quelques remarques au sujet de la méthode pléthysmographique appliquée á l' étude de la ventilation pulmonaire. Arch. Internationales Physiologie. Bioch.
20. BEDELL G., MARSHALL R., DUBOIS A.B., COMROE I. H., Plethysmographie determination of the volume of gas trapped in the lungs. J. Clin. Invest. 1956.
21. BEDELL G., MARSHALL R., DUBOIS A.B., HARRIS J.H. Measurement of the volume of gas in the gastro-intestinal tract. J. Clin; Invest. 1956.
22. JAEGER M.J. OTIS A.B. Effects of compressibility of alveolar gas on dynamics and work of breathing. J. Appl. Physiol 1964.

Tabla I

	20 - 29 años		30 - 39 años		40 - 49 años		50 - 59 años	
	V	M	V	M	V	M	V	M
Nº	46	22	31	14	24	15	21	10
Edad	26 ± 3	24 ± 2	35 ± 4	37 ± 2	44 ± 5	42 ± 3	56 ± 3	54 ± 4
Peso (Kg)	61 ± 7	54 ± 4	63 ± 5	55 ± 3	67 ± 2	57 ± 6	67 ± 4	56 ± 6
Talla (m)	1.69 ± 0.11	1.62 ± 0.09	1.67 ± 0.08	1.59 ± 0.06	1.69 ± 0.07	1.60 ± 0.05	1.68 ± 0.06	1.57 ± 0.09

Tabla I. Muestra los datos biométricos (Media y DS) de los sujetos varones (V) y mujeres (M), estudiados.

Tabla II

Grupo Etareo	Capacidad Vital (CV-dm ³)			Vol. Esp. Max. Seg. (VEMS-dm ³)	
	Espirometría	Pletismografía	Δ dm ³	Espirometría	Pletismografía
<u>Varones</u>					
20 - 29 (n=46)	5.06 ± 0.62	5.41 ± 0.74	0.35	4.06 ± 0.50	4.48 ± 0.62
30 - 39 (n=31)	4.84 ± 0.63	5.21 ± 0.63	0.37	3.71 ± 0.49	4.12 ± 0.87
40 - 49 (n=24)	4.91 ± 0.66	5.25 ± 0.91	0.34	3.73 ± 0.48	4.15 ± 0.72
50 - 59 (n=21)	4.61 ± 0.37	4.96 ± 0.89	0.35	3.30 ± 0.51	3.37 ± 0.92

Tabla II. Compara los valores (medias y DS) de la capacidad vital y del volumen espiratorio máximo por segundo, obtenidos en los mismos sujetos por espirometría y pletismografía corporal total.

Tabla III

Grupo Etareo	Capacidad Vital (CV-dm ³)			Vol. Esp. Max. Seg. (VEMS-dm ³)		
	Espirometría	Pletismografía	Δ dm ³	Espirometría	Pletismografía	Δ dm ³
Mujeres						
20 - 29 (n=22)	3.79 ± 0.57	4.13 ± 0.62	0.34	3.06 ± 0.46	3.47 ± 0.51	0.41
30 - 39 (n=14)	3.51 ± 0.62	3.87 ± 0.72	0.36	2.79 ± 0.52	3.22 ± 0.32	0.43
40 - 49 (n=15)	3.59 ± 0.54	3.94 ± 0.81	0.35	3.19 ± 0.47	3.60 ± 0.45	0.41
50 - 59 (n=10)	3.21 ± 0.49	3.58 ± 0.56	0.37	2.42 ± 0.53	2.84 ± 0.39	0.42

Tabla III. Compara los valores (medias y DS) de la capacidad vital y del volumen espiratorio máximo por segundo, obtenidos en los mismos sujetos por espirometría y pletismografía corporal total.

Tabla IV

Grupo Etareo	Capacidad Residual Funcional (CRF-dm ³)				Volumen Residual (VR-dm ³)		
	Dilución de Helio	Pletismografía	Δ dm ³	Dilución de Helio	Pletismografía	Δ dm ³	
Varones							
20 - 29 (n=46)	3.69 ± 0.41	4.07 ± 0.36	0.38	1.79 ± 0.41	2.03 ± 0.36	0.24	
30 - 39 (n=31)	3.87 ± 0.67	4.24 ± 0.58	0.37	1.88 ± 0.36	2.14 ± 0.37	0.26	
40 - 49 (n=24)	3.93 ± 0.75	4.32 ± 0.69	0.39	2.07 ± 0.42	2.32 ± 0.38	0.25	
50 - 59 (n=21)	4.34 ± 0.69	4.72 ± 0.72	0.38	2.29 ± 0.56	2.56 ± 0.49	0.27	

Tabla IV. Compara los valores (medias y DS) de la capacidad residual funcional y del volumen residual obtenidos en los mismos sujetos, por espirometría clásica (método de dilución de helio) y los obtenidos por pletismografía corporal total.

Tabla V

Grupo Etareo	Capacidad Residual Funcional (CRF-dm ³)			Volumen Residual (VR-dm ³)		
	Dilución de Helio	Pletismografía	Δ dm ³	Dilución de Helio	Pletismografía	Δ dm ³
<u>Mujeres</u>						
20 - 29 (n=22)	2.82 ± 0.45	3.18 ± 0.39	0.36	1.36 ± 0.38	1.61 ± 0.39	0.25
30 - 39 (n=14)	2.00 ± 0.54	3.39 ± 0.56	0.39	1.44 ± 0.41	1.67 ± 0.38	0.23
40 - 49 (n=15)	3.43 ± 0.63	3.80 ± 0.59	0.37	1.80 ± 0.56	2.08 ± 0.41	0.28
50 - 59 (n=10)	2.97 ± 0.72	3.35 ± 0.62	0.38	1.54 ± 0.68	1.80 ± 0.47	0.26

Tabla V. Compara los valores (medias y DS) de la capacidad residual funcional y del volumen residual obtenidos en los mismos sujetos, por espirometría clásica (método de dilución de helio) y los obtenidos por pletismografía corporal total.

Tabla VI**Flujo Espiratorio Máximo Forzado
(FEMF l/seg)**

Grupo Etareo	La Paz (3.600 m)	Nivel del Mar	Diferencia Altura/N de M
<u>Varones</u>			
20 - 29 (n=46)	10.78 ± 2.07	8.14 ± 1.97	+ 2.64
30 - 39 (n=31)	9.06 ± 1.80	7.20 ± 2.02	+ 1.86
40 - 49 (n=24)	7.51 ± 1.95	6.45 ± 1.85	+ 1.06
50 - 59 (n=21)	5.95 ± 1.01	5.15 ± 0.97	+ 0.80

Tabla VI. Compara los valores (medias y DS) del flujo espiratorio máximo forzado en sujetos nativos de la altura (3.600 m) y los teóricos a nivel del mar.

Tabla VII**Flujo a 75% de la Capacidad Vital Forzada
(FEM 75 l/seg)**

Grupo Etareo	La Paz (3.600 m)	Nivel del Mar	Diferencia Altura/N de M
<u>Varones</u>			
20 - 29 (n=46)	2.47 ± 1.03	2.82 ± 1.20	- 0.35
30 - 39 (n=31)	2.25 ± 1.30	2.62 ± 1.15	- 0.37
40 - 49 (n=24)	1.70 ± 1.05	2.20 ± 1.20	- 0.50
50 - 59 (n=21)	1.49 ± 0.83	2.05 ± 1.10	- 0.56

Tabla VI. Compara los valores (medias y DS) del flujo espiratorio a 75% de la capacidad vital forzada en sujetos nativos de la altura (3.600 m) y los teóricos a nivel del mar.

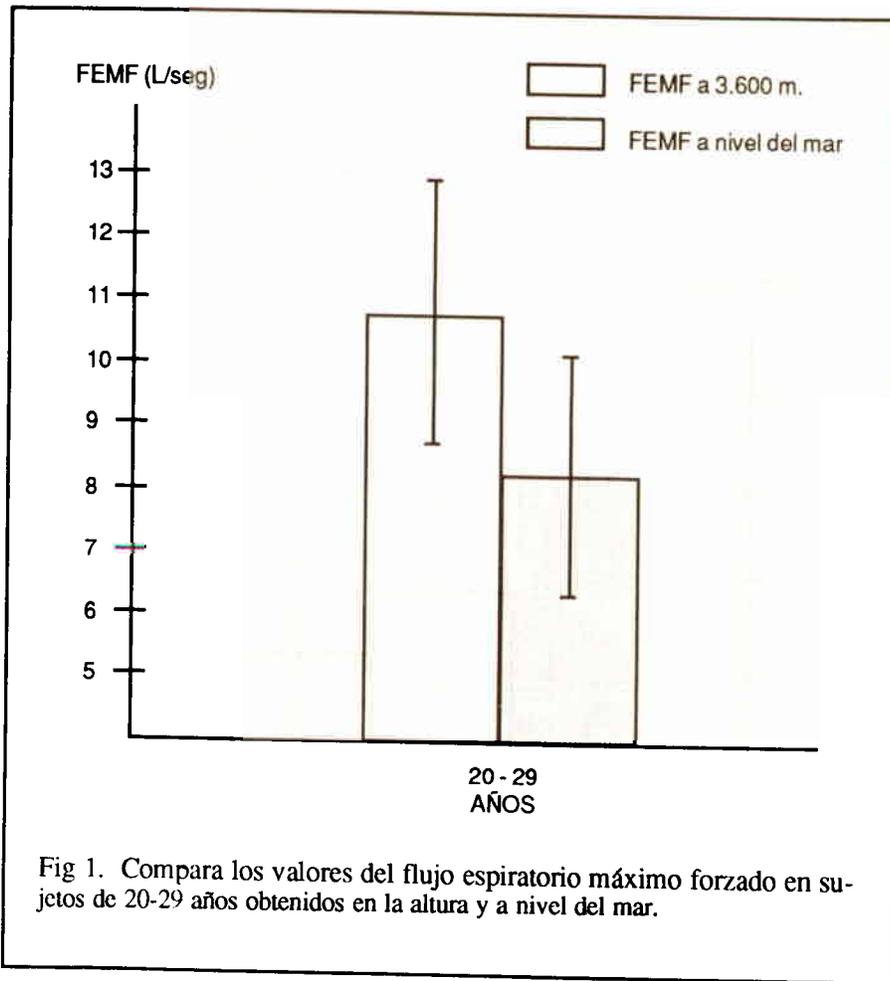


Fig 1. Compara los valores del flujo espiratorio máximo forzado en sujetos de 20-29 años obtenidos en la altura y a nivel del mar.

