

MECANICA VENTILATORIA EN EL HOMBRE HABITANTE DE ALTURA

R. LEFRANCOIS, H. GAUTIER, P. PASQUIS

La ventilación pulmonar de las personas nacidas en la altura es menor que la observada en las personas originarias de tierras bajas y aclimatadas a la vida en altura, tanto en reposo como durante el ejercicio muscular.

Esta diferencia fue explicada por una menor eficacia del estímulo ventilatorio de los primeros (1, 2, 3). Sin embargo, esta diferencia de respuestas en un mismo ambiente podrá ser, total o en parte ligada a la propiedad mecánica toraco-pulmonar en las personas nacidas en altura; el sistema efector ventilatorio de estos últimos con respuestas diferentes a una misma sollicitación central.

Trabajos concernientes a este problema fueron efectuados sea en altitud simulada, sea en altitud real en las personas residentes aclimatadas.

Nos pareció interesante de comparar algunos datos clásicos sobre mecánica ventilatoria obtenidos en los nativos de regiones elevadas con los recogidos en sujetos aclimatados a la misma altura.

METODOS.—

1.— **Sujetos.**— Todas son personas adultas sedentarias repartidas en 3 grupos: 18 nativos de La Paz, Bolivia 3.600 m. 10 personas nacidas a nivel del mar y estudiadas sea a nivel del mar, sea luego de una estadía de un mes en La Paz.

2.— **Técnicas.**— La presión transtoraco-pulmonar tomada entre la boca y el ambiente, la presión transpariental obtenida entre la presión esofágica y el ambiente y la presión transpulmonar asimilada a la presión esófago-bucal son medidas con ayuda de electro manómetros diferenciales. El débito instantáneo es obtenido por neumotacografía, los volúmenes pulmonares por integración electrónica de la señal precedente.

3.— **Protocolo.**—

Los datos espirométricos clásicos:

Capacidad vital, volumen espiratorio máximo por segundo — (VEMS) y la ventilación máxima voluntaria, fueron medidos.

La compliance toraco-pulmonar y parietal fueron determinadas reportando sobre un diagrama volumen - presión, las presiones correspondientes para diferentes volúmenes obtenidos por relajación sobre un manómetro a diferentes niveles de la capacidad vital; la capacidad vital es deducida de los precedentes.

En reposo y en el curso de ejercicios musculares de 60 y 120 watts realizados por el método del step-test, la compliance pulmonar, las resistencias dinámicas así como el trabajo ventilatorio fueron determinados.

Finalmente, el trabajo ventilatorio fue medido en el curso de las pruebas de ventilación máxima voluntaria, fue determinado midiendo varios ciclos y expresado en litros. cmH₂O. min (potencia ventilatoria).

Resultados.—

1) **Espirometría.**— En la altura, la capacidad vital y el VEMS, expresados en comparación con los valores de la CECA (4), no muestran un cambio muy significativo, el débito ventilatorio máximo de cada sujeto, cualquiera que sea su origen, está aumentado significativamente ($p > 0,0001$).

O sea que habría muy poca variación en la ventilación máxima cualquiera sea el origen del sujeto. (Cuadro I).

2.— Propiedades mecánicas estáticas. (Fig. 1)

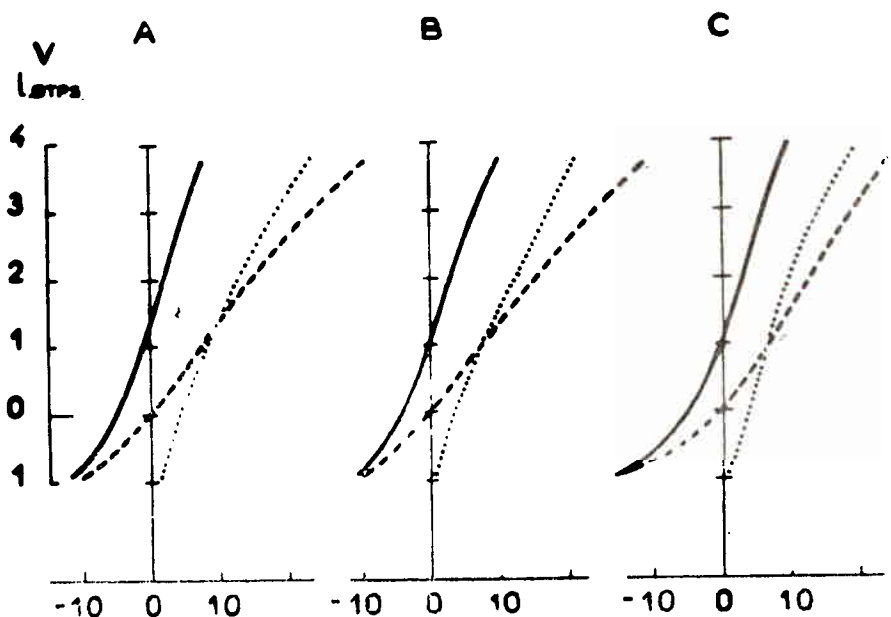


Figura 1.— Curvas volumen — presión transpulmonar (líneas cortadas), transparietales (línea llena) y pulmonares (línea punteada) obtenidas, en A 25 m. en personas originarias de tierras bajas; en B y C, a 3.600 m. en nativos de la costa y altura. El cero de volumen corresponde al volumen al final de la espiración de reposo. Las 3 curvas se superponen.

Las curvas construidas a partir del diagrama volumen - presión son comparables en los diferentes grupos de sujetos. Las propiedades elásticas toraco pulmonares de los nativos de altura son de esta manera comparables a las de los sujetos nacidos a nivel del mar.

3.— Propiedades mecánicas dinámicas.

La compliance pulmonar dinámica, expresada en valor absoluto o con relación a la capacidad vital, (compliance específica) así como las resistencias toraco pulmonar son idénticas en los 3 grupos de sujetos. Para los 3 niveles metabólicos estudiados: reposo, ejercicio de 60 y 120 watts, la potencia ventilatoria desarrollada por los nativos de altura es menor que aquella observada en personas del nivel del mar. Sin embargo en todos los casos la potencia ventilatoria desarrollada para un débito dado es la misma en ambos grupos a 3.600 m. (Cuadro II, Fig. 2).

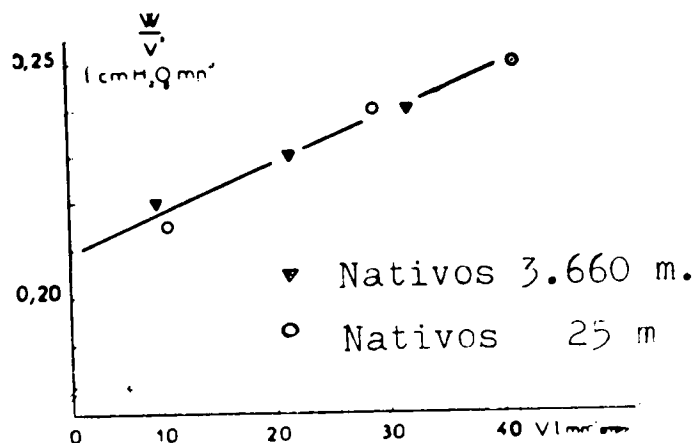


Figura 2.— Correlación entre potencia ventilatoria sobre el cuadrado de la ventilación en función de VE (N=0.99).

Discusión.— 1) Espirometría.— Las medidas de la capacidad vital en altura simulada (5,6) muestran una disminución de 3% a 5.500 m. y 7% a 10, 200 m. con un aumento del VEMS del orden de 5 a 8%. Estas variaciones no son modificadas por la inhalación de oxígeno.

En una altura real y en sujetos residentes a 4.300 m. Rahn (5), Shields (7) y Tenney (8) observan los mismos resultados que en altura simulada, pero luego de una semana de permanencia estas modificaciones desaparecen.

Los resultados reportados en el presente trabajo fueron observados luego de una estadía de un mes, corresponden a lo escrito por autores precedentes.

No se observó diferencia entre los sujetos originarios de altitudes diferentes como lo demostró Hurtado (9).

2.— Trabajo Ventilatorio.— Otis (10) estableció que la potencia ventilatoria está ligada al débito por la relación: $W = bV^2 CV^3$

(1); los parámetros b y c dependen de las propiedades mecánicas del aparato toraco pulmonar y además, b depende de la viscosidad y c de la masa volúmica de los gases inhalados.

Nosotros vimos anteriormente que las propiedades mecánicas del tórax son comparables para todos los grupos de sujetos estudiados; en consecuencia, las modificaciones del valor de b y c no pueden resultar sino de modificaciones de las propiedades físicas de los gases inhalados.

Ahora bien, a 3.600 m. los valores de la viscosidad y de la masa volúmica del aire representan respectivamente el 98 y 63 por ciento del valor correspondiente al nivel del mar.

A este nivel (25 m.), cuando se inhala O₂ puro, los valores de b y c calculados por Petit (11) son 210×10^{-3} y 160×10^{-5} .

El oxígeno de carácter más viscoso y más denso que el aire, los coeficientes b y c, cuando el sujeto respira aire ambiente se convierten 217×10^{-3} y 145×10^{-5} respectivamente.

A 3.600 m. la ecuación (1) puede escribirse:

$$W = 213 \times 10^{-3} V_2 + 90 \times 10^{-5} V_3 \quad (2)$$

A partir de los valores experimentales calculados en los 2 grupos de sujetos a 3.600 m. (Cuadro II), los parámetros de la ecuación regresión que ligan W/V_2 y el débito fueron determinados (Fig. 2) y la ecuación se escribe entonces:

$$W = 206 \times 10^{-3} V_2 + 114.8 \times 10^{-5} V_3 \quad (3)$$

Los valores de b y c de la ecuación (3) son significativamente diferentes de los valores de la ecuación (2), es decir que los valores medidos en la altura real son comparables a los establecidos en altura simulada.

Por otra parte la ecuación, (3) fue establecida utilizando indiferentemente los valores pertenecientes a sujetos originarios de la altura y en los del nivel del mar y el coeficiente de correlación obtenido ($r = 0,99$) confirmando que no existe diferencia entre las propiedades mecánicas toraco pulmonares en los 2 grupos de sujetos.

3.— Ventilación Máxima Voluntaria.

El débito ventilatorio máximo se encuentra aumentado en altura (6, 7, 12).

Ahora bien según Slonin y Chapin (13) este aumento es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión barométrica; es decir que a 3.600 m. ($PB = 490$ mm. Hg.), el débito máximo debería ser 125 por ciento del valor observado a nivel del mar.

Los valores encontrados a 3.600 m. son respectivamente 122 y 126 por ciento de los valores observados a nivel del mar en ambos grupos de sujetos. Estos resultados confirman los datos de Slonin y Chapin y la identidad de las propiedades mecánicas torácicas y de los 2 grupos de sujetos.

La ventilación desarrollada en el curso de la ventilación máxima voluntaria no está modificada durante una estadia en altura (Tabla I). Los nativos de 3.600 m. son más chicos que los otros sujetos y por eso que presentan una ventilación máxima menor (140 l.mm—1 frente a 151 l.mm—1). De eso resulta que su potencia ventilatoria es menor. Sin embargo por un débito ventilatorio dado, las potencias desarrolladas por los 2 grupos de sujetos son idénticas (10, 14) (Tabla I).

Lugar de las medidas	3.660 m.		25 m.
Origen de los sujetos	Costa	Altura	Costa
Número de sujetos	10	18	4
E d a d	28	27	31
P e s o	70	67	78
T a l l a	174	168	173
CV (%)	97	98	99
VEMS/CV (%)	71	74	73
Compliance pulmonar dinámica	206	172	221
Resistencias dinámicas inspiratorias	2	2.7	3.2
Resistencias dinámicas espiratorias	4	3.5	4.8

Origen de los sujetos	Costa	Altitud
Número de sujetos	3	5

Reposo		
V L/Min BTPS	10.6	9.5
W L/CM H2O. Min	24	20
W / V2	0.215	0.22
60 Watts		
V L/Min BTPS	28.8	21.4
W L/CM H2O Min	163	104
W / V2	0.24	0.23
120 Watts		
V l/Min BTPS	41.1	31.8
W l/CM H2O Min	425	255
W / V2	0.25	0.24

CONCLUSION.—

Las propiedades mecánicas toracopulmonares son idénticas al nivel del mar y a grandes alturas, cualquiera que sea el lugar de nacimiento de los sujetos. La única modificación observada en los dos grupos de sujetos es un aumento de la ventilación máxima voluntaria; la potencia desarrollada en el curso de esta prueba es la misma que al nivel del mar, este mejoramiento de los resultados está únicamente ligada a cambios de las propiedades físicas del aire. En estas condiciones las diferencias de comportamiento ventilatorio observadas en los nativos de altura no son el resultado de una alteración de la función de transferencia del efector ventilatorio sino más bien de un ajuste diferente del control respiratorio.

BIBLIOGRAFIA

- (1) R. Lefrancois, H. Gautier et P. Pasquis, *Resp. Physiol.*, 1968, t. 4, p. 217.
- (2) R. Lefrancois, H. Gautier, P. Pasquis et E. Vargas, *Fed. Proceed.*, 1969, t. 28, p. 1296.
- (3) R. Lefrancois, H. Gautier, P. Pasquis et M. F. Monconduit, *J. de Physiol* 1969, t. 61, p. 355.
- (4) CECA, *Aide-mémoire pour la pratique de l'examen de la fonction ventilatoire par spirométrie*, Ed. Masson, Paris, 1961.
- (5) H. Rahn et D. Hammond, *J. Appl Physiol*, 1952, t. 4, p. 715.
- (6) F. Ulvedal, T. E. Morgan Jr., R. C. Cutler et B. E. Welch, *J. Appl. Physiol.*, 1963, t. 18, p. 904.
- (7) J. L. Shields, J. P. Hanno, C. W. Harris et W. S. Platner, *J. Appl. Physiol.*,
- (8) S. M. Tenney, H. Rahn, R. C. Stroud et J. C. Mithoefer, *J. Appl. Physiol.*, 1952, t. 5, p. 607.
- (9) A. Hurtado, in *Handbook of Physiology*. Section 4, p. 843.
- (10) A. B. Otis, W. O. Fenn et H. Rahn, *J. Appl. Physiol.*, 1950, t. 2, p. 592.
- (11) J. M. Petit, G. Milic - Emili et J. Troquet, *Rev. Med. Aeron*, 1963, t. 7, p. 276.
- (12) S. Miles, *J. of Physiol.*, 1957, t. 137, p. 85 p.
- (13) N. B. Slonim et J. L. Chapin, in *Respiration Physiology*, Ed. C. V. Mosby Company, 1967, p. 45.
- (14) J. E. Cotes, *Proc. Roy. Soc., London*, 1954, t. 143, p. 32.
- (15) J. Germouty, *Dans la Fonction Respiratoire*, p. 207.