

La pletismografía como método de apoyo diagnóstico en las enfermedades broncopulmonares en nuestro medio

Mercedes Villena C., Enrique Vargas P., Ricardo Videá G.

Departamento Respiratorio - I.B.B.A.

ABSTRACT

The present paper is a preliminary communication on a study whose purpose it is to establish normal values of the respiratory function of high altitude dwellers (3.600 m), utilizing total body plethysmography and to apply these values in the clinic of pulmonary diseases.

Total body plethysmography allows to establish parameters of pulmonary physiology for modifications of the thoracic volume at rest and during forced respiratory movements. The principle of this method is based on the law by Boyle and Mariotte.

The principle and measuring technique of a) functional residual capacity, b) airway resistance, c) extra-corporal spirometry and forced vital capacity are explained. Advantages and disadvantages of this method are analyzed and it is compared with other methods utilized in local clinics.

The results obtained in high altitude natives are shown. The subjects, males and females, were between 14 and 64 years old. The results are compared with sea level values.

The results demonstrate the following: 1) The values obtained by body plethysmography in high altitude dwellers for pulmonary volumes and capacities are comparable to those obtained by other methods but slightly higher. 2) Analysis of the forced vital capacity (FVC) curve shows a higher peak flow (PF) than that of low altitude residents. 3) Maximal expiratory flow per forced vital capacity at 75 per cent of the expired vital capacity (V75) is smaller in high altitude natives, and the shape of the curve, which apparently is different from that obtained at sea level, seems to be related to this phenomenon. 4) Tracheo-bronchial resistances are similar in both groups.

RESUMEN

Se trata de una comunicación preliminar de un estudio que tiene por finalidad establecer, por pletismografía corporal total, parámetros normales de la función respiratoria en personas habitantes de altura (3.600 m.) y su aplicación en clínica neomológica.

La pletismografía corporal total permite determinar parámetros de fisiología pulmonar a partir de las mo-

dificaciones de volumen del tórax sea durante la ventilación de reposo o al ejecutar movimientos ventilatorios forzados. El principio del método está basado en la ley de gases perfectos de Boyle y Mariotte.

Se explica el principio y la técnica de medida de: a) capacidad residual funcional, b) resistencias de las vías aéreas, c) espirometría extra-corporal y capacidad vital forzada. Se analizan las ventajas y desventajas de este

método y se lo compara con otros utilizados en nuestro medio.

Se muestran los resultados obtenidos en personas nativas de altura; de ambos sexos y con edades que oscilan entre 14 y 65 años, se hace la comparación respectiva con valores del nivel del mar.

Los resultados muestran que: 1) Los valores obtenidos en habitantes de altura para los volúmenes y capacidades pulmonares por pletismografía corporal son comparables aunque ligeramente superiores a los que se obtienen con otros métodos, 2) El análisis de la curva de capacidad vital forzada (CVF) muestra un flujo espiratorio máximo forzado (FEM) más elevado que el que se observa en sujetos del nivel del mar. 3) El débito a 750/o de la CVF es menor en los nativos de altura y la forma de la curva, que al parecer es diferente de la obtenida a nivel del mar, parece depender de éste fenómeno. 4) Las resistencias traqueo-bronquiales son similares en ambos grupos de estudio.

PALABRAS CLAVE: Altura, pletismografía corporal total, volúmenes y capacidades pulmonares, resistencias traqueo-bronquiales.

INTRODUCCION

Los cada vez más novedosos avances tecnológicos permiten en la actualidad realizar medidas más precisas que ayudan al clínico a definir un diagnóstico o evaluar el grado de alteración funcional que una enfermedad produce en un aparato.

La pletismografía corporal total, ya método rutinario en algunos países, es en el nuestro un método nuevo y casi desconocido. Considerado por muchos colegas una técnica sofisticada, viene a ser un medio que permite determinar ciertos parámetros que son de mucho interés para el clínico.

NOCIONES FUNDAMENTALES

En fisiología el término "PLETISMOGRAFIA" que viene del griego "Plethusmos" (crecimiento, aumento) se aplica a toda técnica que mide, las variaciones de volumen de un órgano o segmento corporal.

En el caso del aparato respiratorio, las variaciones de volumen que se miden durante el ciclo respiratorio, son las del tórax, iguales por definición a las que se producen en el pulmón.

La pletismografía corporal total permite determinar un cierto número de parámetros respiratorios a partir

de las modificaciones de las moléculas gaseosas de un medio artificialmente delimitado, durante la ventilación de reposo o la forzada.

HISTORIA

El primero en estudiar el método pletismográfico fue Paul Bert (1868-1870) y lo hizo para investigar la frecuencia ventilatoria en animales de experimentación. Durante su estudio, él observó que los movimientos respiratorios producían variaciones sincrónicas de presión en el interior de un recinto cerrado. Así, sacó conclusiones no solo sobre la frecuencia, sino también sobre la presión intratorácica.

El año 1881 y un año después Pfluger, inician la medida de la Capacidad Residual Funcional.

A partir del año 1955 Dubois y col. con sus modernos trabajos hacen posible que la pletismografía pase a la práctica corriente. Este autor da a conocer sucesivamente las técnicas para la medida de los volúmenes intratorácicos y de las resistencias de las vías aéreas.

En la misma época Bargeton, establece las bases teóricas de la pletismografía.

En el momento actual, todas estas técnicas han sido ampliamente explotadas, tanto en el campo de la investigación fisiológica y farmacológica como en el de la exploración funcional.

MATERIAL

En el presente trabajo se hace uso de una cadena pletismográfica, cuyos componentes son:

- Pletismógrafo corporal total volumétrico.
- Captore de presión (Valyline-MP45-4 y Hewlett-Packard-270)
- Amplificadores Hewlett-Packard (8805C-47304A)
- Convertisor analógico-digital Hewlett-Packard (47310A)
- Computadora electrónica-digital Hewlett-Packard (9825A)
- Impresora Hewlett-Packard (9871A)
- Cinta magnética registrada con un programa especial para determinación de función pulmonar.

METODO

En principio el pletismógrafo corporal es una caja herméticamente cerrada, munida de un dispositivo

de registro. La construcción y las características del aparato son en gran parte definidas por el modo de registro.

En líneas generales se diferencian dos tipos de pletismógrafos: barométrico y volumétrico. Con el primero se trabaja a volumen constante y presión variable; son estas variaciones que permiten el estudio de los fenómenos respiratorios.

Con el pletismógrafo volumétrico, la presión es constante. El desplazamiento de moléculas gaseosas, (es decir los cambios de volumen), es registrado gracias a un espirómetro conectado al pletismógrafo o a través de un neumotacógrafo que permite el paso del gas que se intercambia con el exterior.

La capacidad de pletismógrafo barométrico debe ser suficiente para que las variaciones de presión no incomoden al paciente. Capacidades que varían entre 650 y 900 lt. son aceptables.

La capacidad del pletismógrafo volumétrico solo está limitada por el volumen del sujeto a examinar. Este tipo de aparato tiene una capacidad aproximada de 300 lts.

Técnica de las medidas

Es necesario tener en cuenta ciertos aspectos:

Un sujeto encerrado en un pletismógrafo, calienta y humedece el aire del interior de éste. El aumento de volumen que sigue es más rápido al principio y luego se lentifica. La velocidad de calentamiento depende de la cantidad de aire presente y del gradiente de temperatura entre el sujeto y la atmósfera del pletismógrafo, así como de los intercambios de calor entre el pletismógrafo y el aire ambiente.

Antes de iniciar las medidas es necesario esperar una cierta estabilización de la temperatura a fin de evitar una distorsión de los resultados por variaciones en la línea de base del registro.

Es necesario, además, considerar la saturación del vapor de agua dentro del pletismógrafo. Si ello sucede, existe necesariamente una disminución de la presión, provocada por una condensación del vapor de agua sobre las paredes del pletismógrafo con los consiguientes errores de medida.

Existe aún otro factor que puede perturbar el registro pletismográfico, y es, toda variación

brusca de presión en torno al aparato, o desplazamiento de aire dentro de la habitación.

APLICACIONES DE LA PLETISMOGRAFIA CORPORAL TOTAL

MEDIDA DE LA CAPACIDAD RESIDUAL FUNCIONAL.-

Principio.- Está basado en la ley de gases expresada por Boyle y Mariotte: A temperatura constante el producto Presión x Volumen de un gas, es constante.

$$P \cdot V = K$$

Si sometemos el gas a una variación de presión, su volumen se modificará proporcionalmente.

Fue Gad que en 1881 puso en práctica una técnica de determinación del volumen de aire intratorácico basada en éste principio, pero es recién a partir de 1956 que Dubois y colaboradores con un equipamiento moderno obtienen resultados precisos y reproducibles.

Técnica.- El sujeto a examinar, encerrado en un pletismógrafo respira al interior o al exterior del mismo. Una vez obtenido el equilibrio térmico y durante el final de una espiración, se cierra rápidamente una llave de paso de aire que está situada delante de la boca del sujeto, éste efectúa inmediatamente esfuerzos inspiratorios y espiratorios, es decir que, comprime y distiende alternativamente el volumen de aire intratorácico.

Si durante éstas maniobras se mide simultáneamente la presión bucal (p) y el cambio de volumen dentro del pletismógrafo (v), se tienen los datos necesarios para calcular el volumen de aire intratorácico. En efecto, en ausencia de flujo aéreo, las variaciones de presión, medidas en la boca, representan las correspondientes variaciones de presión en todo el aparato respiratorio. La variación de volumen en el pletismógrafo es igual, pero de signo opuesto, a la variación del volumen intratorácico.

$$(CRF) V = - \frac{v}{p} \cdot P$$

donde:

v = Variación de volumen intrapletismográfico

p = Variación de presión en la boca

P = Presión barométrica—presión de vapor de agua

MEDIDA DE LAS RESISTENCIAS DE VIAS AEREAS

Principio.- Cuando un sujeto encerrado en un pletismógrafo respira el aire contenido en el recinto, los cambios

de volúmen en el interior dependen de las variaciones que sufre éste aire dentro del pulmón durante los movimientos respiratorios.

Si la temperatura del aire inspirado es inferior a la del cuerpo, este aire recalentado y saturado en vapor de agua, aumentará su volúmen. Esta influencia de la temperatura sobre el volúmen inspirado se ha designado como "efecto temperatura". El aire inspirado además sufre variaciones de presión en los alvéolos y las vías aéreas durante los movimientos respiratorios. Estas variaciones de presión provienen de la resistencia que las vías aéreas oponen al paso del aire durante los movimientos respiratorios. Este fenómeno se ha designado "efecto resistencia".

La pletismografía mide las resistencias de las vías aéreas bajo el principio mencionado considerando las variaciones de presión (p) entre la boca y los alvéolos por una parte, y el débito aéreo por otra (V̇).

De donde:
$$R = \frac{p}{\dot{V}}$$

Técnica.- Fue propuesta por Du Bois y es la de la respiración jadeante o "Panting" de los anglosajones.

El sujeto debe respirar a una frecuencia de alrededor de 2 ciclos/seg. para un volúmen de 300 ml aproximadamente y durante 3 - 5 seg.

En este tiempo se miden las variaciones del volúmen intrapletismográfico y el débito aéreo.

ESPIROMETRIA EXTRACORPORAL

Esta aplicación de la técnica pletismográfica fue hecha por numerosos autores a partir del año 1828. Recientemente ha sido objeto de un estudio crítico.

Técnica.- Consiste en medir las variaciones de volumen o de presión dentro de pletismógrafo y así obtener la medida directa del desplazamiento de la caja torácica durante la respiración.

Aplicaciones.- La espirometría extracorporal no puede ser considerada como una simple técnica de reemplazo de la medida de la ventilación por espirografía o por integración del neumotacógrafo.

En efecto, el pletismógrafo registra los movimientos de la caja torácica, siendo por ello la técnica de elección en algunos casos particulares como cuando se desea conocer la velocidad de contracción y el trabajo de los músculos respiratorios.

Esta técnica, la más sencilla, se puede aplicar también para la medida de la capacidad vital forzada con la ayuda de un neumotacógrafo.

El pletismógrafo también es capaz de medir los cambios intrapulmonares durante los períodos de apnea por lo que ésta técnica se aplica para la medida de la compliance pulmonar estática.

CUADRO I

No	CAPACIDAD RESIDUAL FUNCIONAL (CRF - dm ³)		VOLUMEN RESIDUAL (VR - dm ³)	
	DILUCIÓN DE HELIO	PLETISMOGRAFIA	DILUCIÓN DE HELIO	PLETISMOGRAFIA
1	3.30	3.80	1.68	1.91
2	3.26	3.57	2.05	2.60
3	4.05	4.62	1.24	1.36
4	4.94	4.72	1.90	2.08
5	3.42	3.88	1.68	1.76
6	2.12	2.73	1.94	1.29
7	2.50	3.45	1.28	1.51
8	2.93	3.42	1.94	2.02
9	2.53	2.94	1.37	1.53
10	2.59	3.16	1.18	1.50
M	3.18	3.57	1.54	1.78
	+ 0.75	+ 0.66	+ 0.26	+ 0.38

Δ = 0.24 dm³

CUADRO I.- Relaciona los valores de la capacidad residual funcional y del volumen residual obtenidos por el método espirográfico de dilución de helio y los encontrados por pletismografía. Para la CRF se observa una diferencia de 0.39 dm³ que corresponden a un incremento del 11 o/o en los resultados obtenidos por pletismografía. Para el V.R., la diferencia es de 0.24 dm³ (13 o/o) en favor de los resultados pletismográficos.

CUADRO III

FLUJO ESPIRATORIO MÁXIMO FORZADO (FEMF 1/seg)		
No.	NIVEL DEL MAR	LA PAZ (3600 m)
1	7.60	9.00
2	9.50	10.80
3	10.10	11.70
4	7.50	8.30
5	9.40	11.10
6	12.00	14.16
7	9.50	10.80
8	11.70	13.18
9	10.60	12.00
10	8.70	11.00
11	9.70	11.60
12	10.70	11.30
13	7.40	8.10
14	7.80	8.80
15	11.90	13.87
16	6.21	7.02
17	9.49	13.87
18	8.67	11.04
19	6.22	8.99
20	6.16	8.88
\bar{M}	8.14 ± 3.21	10.78 ± 2.07
$\Delta = 2.64$ 1/seg		

CUADRO III.— Relaciona los valores del flujo espiratorio forzado obtenidos en 20 sujetos sanos nativos de la altura y los teóricos a nivel del mar. Los resultados muestran un importante aumento (2.64 1/seg — 32 o/o) de este parámetro en los sujetos estudiados en La Paz (3600 m.)

Figura 2

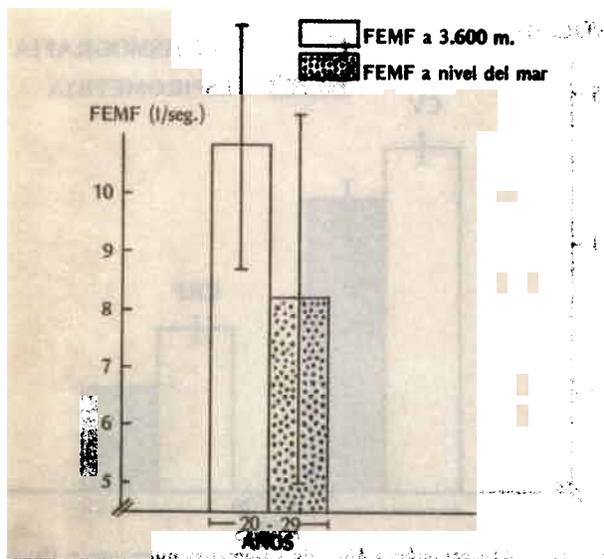


Fig. 2.— Comparación gráfica del flujo espiratorio máximo forzado (FEMF) en litros/seg. obtenidos en sujetos nativos y residentes de la altura (3.600 m.) y los obtenidos a nivel del mar en sujetos de la misma edad y talla.

3) Sobre la misma curva de CVF, se aprecian valores disminuídos en mayor o menor porcentaje del débito a 75o/o, excepto en un solo de los casos. (Cuadro IV y Fig. 3 y 4)

CUADRO IV

FLUJO A 75 o/o DE LA CVF (FEM75 1/seg).		
No.	NIVEL DEL MAR	LA PAZ (3600m)
1	2.50	2.40
2	3.65	3.40
3	2.80	2.20
4	3.30	3.05
5	3.50	3.30
6	2.75	2.15
7	3.15	2.50
8	3.45	3.35
9	2.60	1.80
10	2.90	3.35
11	1.75	1.60
12	2.30	2.15
13	2.10	2.40
14	2.15	1.88
15	3.40	2.30
16	2.59	2.12
17	3.21	2.50
18	2.84	1.88
19	2.64	1.87
20	2.57	1.58
\bar{M}	2.81 ± 0.52	2.39 ± 0.60
$\Delta = 0.41$ 1/seg		

CUADRO IV.— Relaciona los resultados del débito aéreo al 75 o/o de la capacidad vital forzada (V75), obtenidos en 20 sujetos sanos nativos de la altura y los valores teóricos a nivel del mar. Los valores de este parámetro se muestran disminuídos (0.42 dm³ — 17 o/o) en los nativos de altura en comparación con los del nivel del mar.

Figura 3

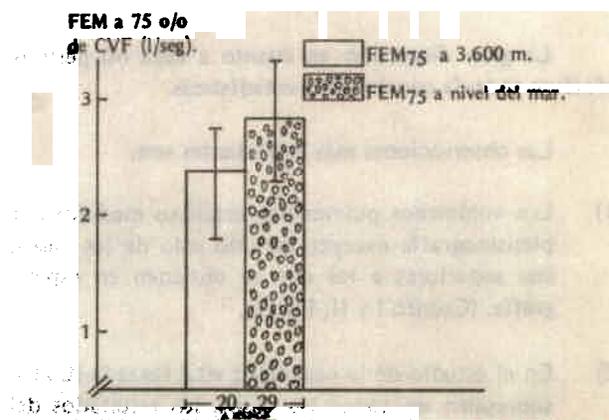


Fig. 3.— Se comparan los valores del flujo espiratorio máximo (FEM) a 75 o/o de la capacidad vital forzada (CVF) en litros/seg. obtenido en sujetos de la misma edad y talla, nativos residentes de la altura y del nivel del mar.

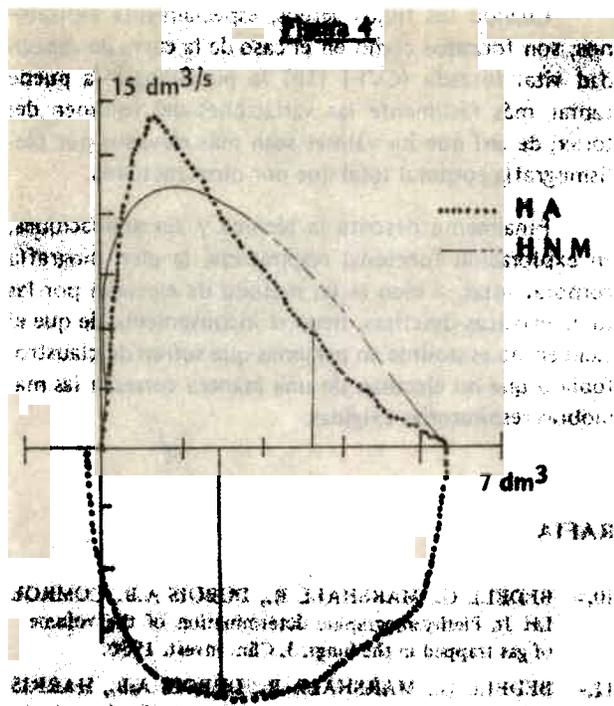


Fig. 4.— Curvas de capacidad vital forzada (CVF) obtenidas en dos grupos de sujetos de la misma edad y talla. Morfología en habitantes de altura (HA) línea punteada, y en los del nivel del mar (HNM) línea discontinua.

- 4) Los valores de las resistencias traqueobronquiales obtenidos son similares a las de los sujetos del nivel del mar.

DISCUSION

Resulta evidente que la adopción de un método de exploración funcional respiratoria, para ser aplicado en nuestro medio (La Paz, 3600 m), como es la Pletismografía Corporal Total, sugiere el hecho de considerar diversos factores físicos relacionados con las variaciones de la presión barométrica (1), sobre todo teniendo en cuenta que este método está íntimamente relacionado con las variaciones intrapletismográficas de volúmenes gaseosos traducidos electrónicamente por variaciones de presión (2).

Algunos de los parámetros de fisiología pulmonar en la altura, ya fueron establecidos desde hace tiempo (3) (4) (5). De todos ellos las variaciones del Volumen Residual en función de los procesos de adaptación tienen gran importancia, de ahí nuestro interés de estudiar, en forma particular, este parámetro que representa un factor de cambio estructural, fundamental, para facilitar un aporte adecuado de oxígeno a los tejidos a partir de una presión alveolar (PAO_2) suficientemente estable que compensa la menor presión inspiratoria de oxígeno en el aire ambiente (PIO_2) (6) (7).

Las variaciones de la capacidad vital (CV), del volumen espiratorio máximo por segundo, también fueron descritas (4) (8). Por el contrario no se encuentran variaciones en las propiedades mecánicas tóraco pulmonares, siendo estas idénticas en sus valores a las registradas en sujetos normales del nivel del mar (8) (9).

En nuestro trabajo, las medidas del volumen residual obtenidas por pletismografía han sido comparadas con las obtenidas por el método espirográfico de dilución al helio; sobre 10 sujetos sanos, hemos encontrado entre ambas técnicas una diferencia un poco mayor (240 ± 170 ml) que la encontrada por otros autores (10) (11).

Las variaciones encontradas entre ambas técnicas han sido, desde hace mucho tiempo, objeto de estudio (11) (12). Puesto que la pletismografía corporal total mide las variaciones del volumen total dentro del recinto, la interrogante surgió al pensar en qué proporción del aire intra-abdominal podría hacer variar las medidas del aire intratorácico. Después de estudios (11) (12) al respecto, en la práctica se admite que el aire intra-abdominal, aún aumentado en ciertas ocasiones, no interviene de manera importante en la medida del aire residual pulmonar.

Ya, sobre la aplicación clínica de la medida del volumen residual por pletismografía, creemos importante remarcar las observaciones de Bedell y col. (10) (11). Sus afirmaciones y numerosos otros estudios posteriores, confirman el hecho de que la pletismografía mide el volumen intratorácico total, mientras que la técnica clásica de dilución de helio no mide sino los espacios aéreos bien ventilados, debido a que este gas no llega a penetrar a los alvéolos cuyos bronquiolos se encuentran obstruidos.

Debido a que los valores de las resistencias traqueo-bronquiales obtenidos por pletismografía no pueden ser comparados con los obtenidos por otras técnicas puesto que, estas últimas no miden las resistencias de las vías aéreas en forma aislada, sino que determinan, además, las resistencias que el tejido pulmonar presenta al desplazamiento del aire, por ésta razón hemos comparado nuestros resultados con los teóricos a nivel del mar. Aún cuando nuestra técnica de inscripción no permite el análisis de las curvas correspondientes a cada ciclo, hemos observado a priori una diferencia morfológica del trazo espiratorio en relación a las curvas obtenidas en sujetos nacidos a nivel del mar. La diferencia parece ser solo morfológica, pues las cifras para las resistencias traqueo-bronquiales (menores a 0.22 KPa /1/s) son similares en la altura como a nivel del mar.

En lo que se refiere a los valores de capacidad vital (CV) y sus componentes: volumen de reserva inspiratoria

(VRI), volúmen de reserva espiratoria (VRE), volúmen corriente (VC), las medidas tomadas por pletismografía corporal total se hacen en condiciones corporales (BTPS) en forma directa, debido a que el aire se recalienta y humedece dentro del recinto, mientras que la espirometría requiere una corrección a partir de los valores obtenidos en condiciones ambientales (ATPS) de acuerdo a la temperatura y presión barométricas.

Es posible que, por una parte, sean estos factores físicos los responsables de las variaciones que se encuentran y que muestran valores un tanto más elevados cuando se los obtiene por pletismografía corporal total.

Cuando los flujos aéreos, especialmente espiratorios, son forzados como en el caso de la curva de capacidad vital forzada (CVF) (18) la pletismografía puede captar más fácilmente las variaciones del volúmen del torax; de ahí que los valores sean más elevados por pletismografía corporal total que por otros métodos.

Finalmente descrita la técnica y sus aplicaciones, en exploración funcional respiratoria, la pletismografía corporal total, si bien es un método de elección por las características descritas, tiene el inconveniente de que el examen no es posible en personas que sufren de claustrofobia o que no ejecutan de una manera correcta las maniobras respiratorias exigidas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- R.H.S. SCHULEZEWSKI. Valores físicos del área de La Paz - Laboratorio de Física Cósmica. Prensa Medica, Vol XVIII No. 4, Julio-Agosto 1966.
- 2.- BARGENTON D., BARRES G., GAUGE P. Relation pression-volume dans le pléthysmographie à air J. Physiol. Paris 1964.
- 3.- LEFRANCOIS R., PASQUIS P., GAUTIER H., VARGAS E. Mecanismos d'adaptation de l'homme a la haute altitude. Quest Medical 1972.
- 4.- HURTADO A., VELASQUEZ T. REYNAFARGE C., LOZANO R., CHAVEZ R., ASTE-SALAZAR H., REYNAFARGE B., SANCHEZ C., MUÑOZ J. Mechanism of natural acclimatization. Studies on the native resident of Morococha-Perú. Report 56-1, Air University School of Medicine. Randolph Field Texas, U.S.A. Pag. 1-1956.
- 5.- VARGAS PAQUECO E. Características de los nativos de la altura. Revista del Instituto Boliviano de Biología de Altura No. 12 - La Paz 1970.
- 6.- GULERIA J.S., PANDE J.M., SETHI P.K., ROY S.B. Pulmonary diffusing capacity at high altitude. J. Appl. Physiol. 31-1971.
- 7.- LEFRANCOIS R., PASQUIS P., GAUTIER H. y CAVAER A.M. Factors controlling respiration during muscular exercise at altitude. Federation Proc. 1969.
- 8.- LEFRANCOIS R., GAUTIER H., PASQUIS P. Mecánica ventilatoria en el hombre habitante de altura. Comptes Rendus des Seances de la Société de Biologie, 1969.
- 9.- VARGAS PACHECO E., Exploración funcional y mecánica ventilatoria. Anuario del I.B.B.A. - La Paz, 1979.
- 10.- BEDELL G., MARSHALL R., DUBOIS A.B., COMROE I.H. Jr. Plethysmographie determination of the volume of gas trapped in the lungs. J. Clin. Invest. 1956.
- 11.- 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.
- 12.- MILIC-EMILI J., ORZALESI M.M., COOK C.D., TURNER J.M. Respiratory thoraco-abdominal mechanics in man. J. Appl. Physiol. 1964.
- 13.- TROQUET J. Quelques remarques au sujet de la méthode pléthysmographique appliquée à l'étude de la ventilation pulmonaire. Arch. Internationales Physiologie. Bioch - Belgica 1965.
- 14.- TIMBAL J., VARENE P., JACQUEMIN CH. La Pléthysmographie corporelle totale, technique d'exploration fonctionnelle cardio-pulmonaire. Path. Biol. Vol. 15 - Paris 1967.
- 15.- VARENE P., JACQUEMIN C., ATLAN G., SAUMON G. Place de la Plethysmographie corporelle totale dans la mesure des grandeurs de sortie du système mécanique ventilatoire. Bull. Physio. Path. Rep.s 1971 Nancy.
- 16.- VALIRON M.O., VARENE P. Automatisation de la mesure des volumes pulmonaires par plethysmographie corporelle totale. R.M.B. Vol. 1 No. 4 Burdeos, 1979.
- 17.- KAYS C., VALIRON M.O., VARENE P. Calcul automatisé des resistances traqueo-bronchiques par plethysmographie corporelle totale. Lab. d'exploration Fonctionnelle - Hopital Pellerin-Burdeos 1981.
- 18.- JAEGER M.J., OTIS A.B. Effects of compressibility of alveolar gas on dynamics and work of breathing. J. Appl. Physiol. 1964.