



Volumen Cardíaco: en el nativo normal de altura en el portador de soroche crónico y en el individuo normal de nivel del mar*

E. MARTICORENA
J. SVERINO
R. GAMBOA
F. SIME
D. PEÑALOZA y C. DIAZ

RESUMEN — Utilizando la técnica radiográfica, basada en el método de la elipse, se determinó el volúmen cardíaco en el hombre normal de altura de nivel del mar, y en pacientes con soroche crónico residiendo a 4,340 metros de altura sobre el nivel del mar.

El valor medio de volúmen cardíaco en el individuo normal de altura fue mayor que el encontrado a nivel del mar, sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa.

El valor medio de volúmen cardíaco en los casos de soroche crónico fue significativamente mayor que los valores medios obtenidos en el nativo normal de la altura.

Se estudió el grado de correlación entre el volúmen cardíaco y otros parámetros, tales como el hematocrito, el volúmen sanguíneo, la presión sistémica y la presión pulmonar. La

única correlación significativa fue entre el volúmen cardíaco y la presión pulmonar.

La escasa diferencia existente entre el volúmen cardíaco de los sujetos normales de nivel del mar comparados con los de la altura, puede atribuirse al tipo sistólico de sobrecarga ventricular derecha, característica fisiológica de estos últimos, lo cual como es conocido conduce preferentemente a la hipertrofia ventricular de tipo concéntrico. Las mayores dimensiones del volúmen cardíaco en el soroche crónico se deberían al mayor grado de presión pulmonar y a la presumible anoxia miocardia, consecuencia del grado severo de insaturación arterial.

SUMMARY.— Utilizing a radiologic thecnic based on the Eclipse Method it has been investigated the cardiad volume (CV) of normal high altitude natives, patients of chronic mountain sicknes (CMS) living at 4,340 mts. ab.s.l. and normal residents at sea level.

The C. V. of high altitude normal individual were higher compared with normal resident at S/L, however, this difference were not significant.

* del Centro de Investigación, Instituto de Biología Andina, Dpto. de Medicina — U. N. M. S. M., Centro de Investigaciones Médicas de la Altura, Centro in-Perú, Instituto de Investigaciones de la Altura, Universidad Peruana Cayetano Heredia.

The mean value of CV or CMS patients were significantly higher than those encountered at normal high lands residents.

Correlation of CV and hematocrit, blood volume, systemic and pulmonar pressure were explored. The only significative correlation found was the pulmonar pressure.

The slight difference between the CV of high altitude and sea level residents, may be consequence to the systolic type of the right ventricular overload, which produces concentric type of the ventricular hypertrophy rather than dilation. The higher values of the CV in patients with CMS should be explained by the higher degree of pulmony pressure and presumably by myocardic anoxia, subsequent to severe arterial unsaturation.

Introducción.— Ha sido demostrado radiológicamente el incremento del diámetro transverso de la silueta cardíaca en el individuo de altura¹⁻³. Miranda, A. y Col.² reportan hipertrofia ventricular derecha en el 65% de sujetos (residentes a 4.340 m. sobre el nivel del mar) que mostraban aumento del diámetro transverso en la radiografía orácica en posición A-P.

Establecer diagnóstico de agrandamiento cardíaco en el nativo de altura, valiéndose de placas radiográficas en posición A-P sería hasta cierto punto discutible ya que la moderada hipertensión pulmonar⁴⁻⁶ que dichos individuos tienen, solamente podría ser causa de hipertrofia concéntrica del ventrículo derecho. Se admite sin embargo, que la hipoxia de "curso permanente" (tal cual es la de la altura) puede originar agrandamiento cardíaco global involucrando al ventrículo izquierdo⁷, por lo cual puede inferirse que paralelamente al efecto "hipertensivo pulmonar" de la hipoxia, la misma, actuando "crónicamente", podría ser causa de agrandamiento cardíaco global. Por estas consideraciones, decidimos investigar la integridad volumétrica del corazón⁸⁻¹⁰, (volumen cardíaco: VC) tanto en el individuo normal de altura así como en el portador de soroche crónico¹¹⁻¹³. Como grupo de comparación para el inicialmente mencionado, se estudió individuos normales de nivel del mar.

Se exploró la probable correlación entre el VC el nativo de altura con ciertos parámetros tales como: hematocrito y volumen sanguíneo¹⁴⁻¹⁶; presión media sistemática¹⁷ y presión media pulmonar.

Material y Métodos.—

I. Individuos Estudiados

A) Individuos de altura:

a) Grupo normal

Setenta individuos de sexo masculino, nativos y residentes en la ciudad de Cerro de Pasco (4,340 m. sobre el nivel del mar). Sus edades variaron entre 19 y 38 años con una media de 28.6

b) Pacientes con soroche crónico

Diez individuos portadores de soroche crónico, de sexo masculino, nativos y residentes en la ciudad antes mencionada. La edad varió entre 22 y 61 años con una media de 38.2.

B) Individuos de nivel del mar:

Treintitres individuos de nivel del mar, adultos, de sexo masculino, residentes en Lima. La edad varió entre 17 y 36 años, con una media de 23.6 años respectivamente.

II. Parámetros explorados

A) Exámen clínico:

Se efectuó historia clínica detallada y examen físico completo en la totalidad de los casos estudiados, con el objeto de identificar aquellos portadores de soroche crónico¹¹⁻¹³. Se enfatizó dicho examen en el grupo de altura.

B) Hematocrito, volúmen sanguíneo total:

En 63 individuos normales del grupo de altura y en todos los casos de soroche crónico, se obtuvo el valor del hematocrito siguiendo un procedimiento micrométrico. En el grupo de los normales se predijo el volúmen sanguíneo utilizando la fórmula preconizada por Monge C. y col.¹⁸. El valor numérico obtenido, se multiplicó por el hematocrito y se dividió entre dos, con lo cual se pretendió utilizar un "parámetro fisiológico convencional", que nos permitiera investigar la posible correlación entre dicho "parámetro arbitrario" y el VC.

C) Electrocardiograma:

En la serie total de los individuos normales de altura y en los portadores de soroche Crónico se registró un trazado electrocardiográfico incluyendo las derivaciones de miembros y las precordiales de V1 a V6. El objeto de este control fue para definir la normalidad de los individuos en observación^{1,19-20}, así como para ayudarnos a

identificar los pacientes con soroche crónico¹¹⁻¹³

D) Estudio hemodinámico:

La finalidad de esta exploración fue la de eliminar todo individuo que no se ubicara entre los "estándards normales" de altura⁴⁻⁶, así como sustentar el diagnóstico de los portadores de soroche crónico¹²⁻¹³

El examen se efectuó en 17 individuos normales de altura y en 6 portadores de soroche crónico. Se exploró las cavidades derechas y se llegó hasta el "capilar pulmonar". Se punzó la arteria braquial. De ambos circuitos se obtuvieron muestras de sangre para el análisis de gases, al mismo tiempo que se practicaba la colección de aire espirado para el cálculo del consumo de O₂.

Las presiones en ambos sistemas se obtuvieron utilizando un "calibrador" Statham P23 Db y un registrador de dos canales, Sanborn, modelo 60-1300. El valor medio se calculó por integración eléctrica.

E) Determinación del volumen cardíaco:

La técnica radiográfica para obtener el volumen cardíaco fue basada en el método de la elipse⁸⁻¹⁰. Esta técnica¹⁰ relaciona el corazón con esta figura geométrica requiriéndose una radiografía frontal y otra lateral izquierda tomada a 1.80 m. de distancia. Utilizando ambas placas se efectúan las medidas de acuerdo a lo sugerido por Barnhard, H. J. y col.¹⁰.

Finalmente se desarrolla la siguiente fórmula:

$$VC = 1/6 \times d1 \times d3$$

VC = volumen del corazón en ml.

1/6 = Constante geométrica 0.523

d1, d2, d3 en cm. = diámetro longitudinal y transversal en la placa frontal y anteroposterior en la radiografía lateral respectivamente. Fig. 1.



El valor del volumen cardíaco obtenido fue reducido en un 10% por la divergencia entre la placa y el tamaño de la silueta cardíaca debido a la magnificiencia de los rayos X. Este resultado se corrigió por la superficie corporal utilizando el monograma de Dubois para obtener el VC en ml/m².

Resultados

A) Hallazgos clínicos:

Ambos grupos, los de altura^{1-6, 19-27} así como los de nivel del mar, fueron exponentes normales de sus lugares de residencia. Los pacientes con soroche crónico no se encontraban en insuficiencia cardíaca mostrando por consiguiente los hallazgos propios que suelen detectarse cuando los individuos residiendo en la altura pierden su adaptación a la misma¹¹⁻¹³

B) Hematocrito y volumen sanguíneo. Presión media sistémica y Presión media pulmonar.

Sus resultados mostraron valores concordantes con las características de los grupos en estudio²¹⁻²⁵

C) Volumen cardíaco

a) Volumen cardíaco en individuos normales de altura y pacientes con soroche crónico.

El VC en el nativo normal de altura fue de 435 ml/m² con una DE ± 55.6 y EE. 6.6. Los valores extremos fueron 557 y 327 ml/m².

El valor medio del VC en pacientes con soroche crónico fue de 563 con una De ± 57.2 y EE, 18.1. Sus valores extremos: .950 ml/m² y 306 ml/m². El valor de las diferencias entre ambas medias fue significativa, p < 0.02, Tabla I.

TABLA I

VOLUMEN CARDIACO EN EL NATIVO NORMAL DE ALTURA Y EN EL SUJETO CON SOROCHÉ CRÓNICO

	Nº	MEDIA	DE	EE
NORMALES DE ALT.	70	435	55.6	6.6
PACIENTE SOROCHÉ	10	563	57.2	18.1
t		14.6		
p		< 0.02		

b) *Volumen cardíaco en individuos normales de altura y del nivel del mar.*

Los valores correspondientes al VC en el individuo normal de altura se indican en el párrafo anterior (a). A nivel del mar, dichas cifras fueron como sigue:

valor medio: 421 ml/m²; DE ± 60.5, EE, 10.5. Los valores extremos: 554 y 312 ml/m², respectivamente. La diferencia entre ambas medias no se encontró significativa, p < 0.2 m. Tabla II.

TABLA II

VOLUMEN CARDIACO EN EL NATIVO DE ALTURA y de Nivel M.

	Nº	MEDIA	DE	EE
NIVEL DEL MAR	33	421	60.5	10.5
ALTURA	70	435	55.6	6.6
t	1.45			
p	< 0.20			

D) *Volumen Cardíaco en el individuo de altura y su correlación con diferentes parámetros.*

a) *Volumen cardíaco y hematocrito*

No se encontró correlación entre VC y hematocrito, r: 0.16, Fig. 2.

VOLUMEN CARDIACO y HEMATOCRITO

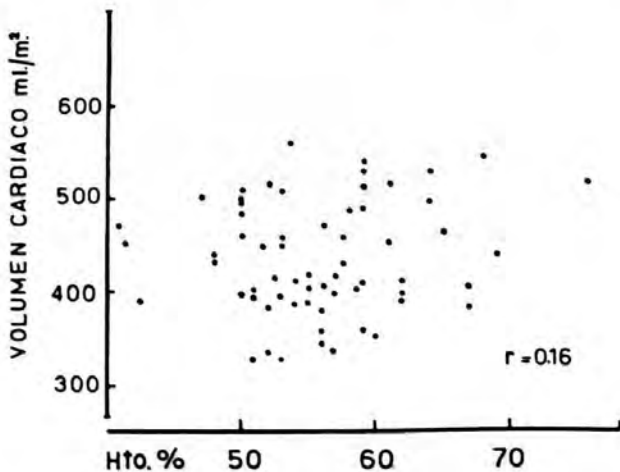


FIG. 2

b) *Volumen cardíaco y volumen sanguíneo/hematocrito.*

No se encontró correlación entre VC y el "valor fisiológico convencional" descrito. El valor de r fue 0.08, Fig. 3.

VOLUMEN CARDIACO y VOLUMEN SANGUINEO y Hto.

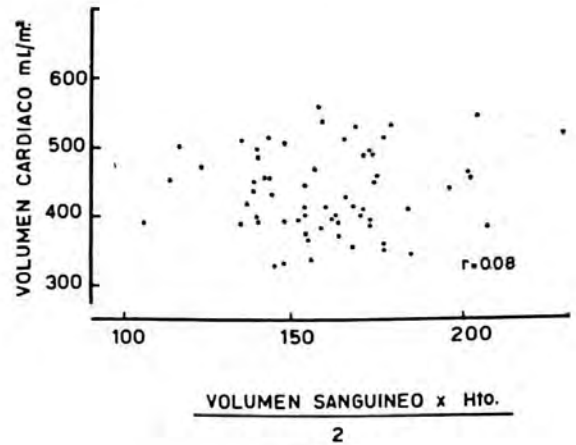


FIG. 3

c) *Volumen cardíaco y presión sistémica media.*

No se encontró correlación entre VC y la presión sistémica media, r: 0.14, Fig. 4.

VOLUMEN CARDIACO y PRESION SISTEMICA

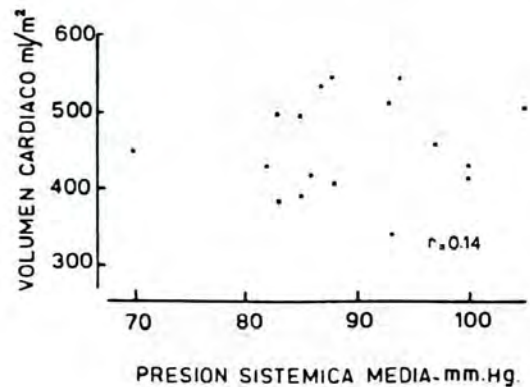


FIG. 4

d) *Volúmen Cardíaco y presión media pulmonar.*

Se detectó correlación significativa entre VC y presión media pulmonar, $r : 0.59$, Fig. 5.

VOLUMEN CARDIACO Y PRES.A PULMONAR

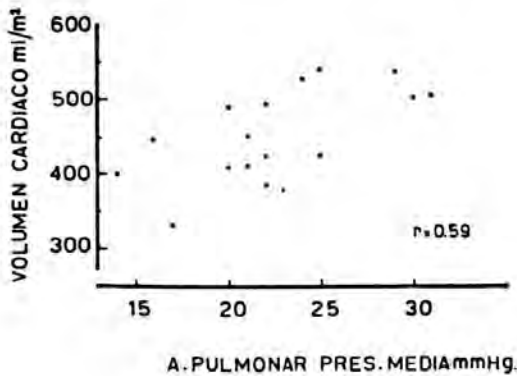


FIG.5

Discusión.— El volumen cardíaco expresa las dimensiones de dicho órgano en forma especial⁸⁻¹⁰. Utilizando esta técnica, no se encontró diferencia significativa entre el VC del individuo normal de altura y los del nivel del mar, aún cuando un valor medio ligeramente más elevado correspondió al sujeto de altura. Esto podría explicarse en razón de que el individuo adaptado a la altura tiene sólo un ligero agrandamiento cardíaco, fundamentalmente del ventrículo derecho^{19-20,28-29}, el cual se hipertrofia sistólicamente no determinando por lo tanto mayor aumento de su volumen.

Cuando el individuo de altura se desadapta a dicho ambiente, el volumen cardíaco involucraría ambos ventrículos^{13,30}. Experimentalmente, se ha demostrado hipertrofia ventricular izquierda en situaciones extremas de hipoxia. La hipertrofia ventricular derecha aparecería por consiguiente en un período inicial y sería seguida por la del ventrículo izquierdo cuando la hipoxia es constante y acentuada⁷. Este "crecimiento global del corazón" en condiciones de "extrema hipoxia" — tal cual se observa en el portador de soroche crónico^{13,30} — estaría vinculado a los efectos de la insaturación arterial sobre el "metabolismo miocárdico". De acuerdo con Badder, H. S.³¹, un incremento crónico del metabolismo miocárdico por latido y por unidad de masa de

tejido, serían probablemente el mejor estímulo para hipertrofia cardíaca.

El hematocrito que guarda relación con la altura²⁵, no se encontró vinculado al VC. A nivel del mar se ha reportado una buena correlación entre este y el volumen sanguíneo ó Hb, siendo más significativo con este último^{14-16,32}.

La ausencia de correlación entre la presión sistémica media y el VC en el individuo es semejante a los de nivel del mar⁶, por lo cual se infiere su no participación en los cambios de volumen cardíaco. A nivel del mar, la relación entre presión sistólica y el volumen cardíaco ha sido reportada significativa, no así tratándose de la presión diastólica. No obstante, en estos mismos individuos tanto o la presión sistólica como la diastólica, cuando se los corrige por la edad no guardan relación con el volumen cardíaco¹⁷.

Significativa resultó la correlación en el individuo de altura entre VC y presión media en la arteria pulmonar. Este hallazgo parecería ser congruente con su moderada hipertensión pulmonar⁴⁻⁶; sin embargo, debido a que tal hipertensión no es muy expresiva es difícil precisar su verdadera importancia. En todo caso solo originaría una leve hipertrofia "concéntrica" del ventrículo derecho, más no un aumento del volumen total del corazón, por lo cual, otros factores tales como la hipoxia crónica⁷ — en este caso de altura — bien podrían estar en juego. Cabe señalar que los efectos del vuelo en pilotos pueden ser causa de agrandamiento cardíaco³³⁻³⁶ por las condiciones de hipoxia intermitente que tales vuelos originan.

Algunos investigadores han reportado disminución de la silueta cardíaca en individuos expuestos a 22,500 pies de altura³⁷. Otros, han observado cambios semejantes en residentes temporales de la altura³⁸. Una apreciable disminución del volumen de expulsión se ha postulado para explicar tales hallazgos³⁷, lo cual no podría impugnarse tratándose de aclimatados a la altura, quienes en condiciones de normalidad no presentan disminución de su volumen de expulsión⁵⁻⁶.

Consideramos que nuestros resultados al haber detectado un ligero aumento del volumen cardíaco en el individuo normal de altura en relación al del nivel del mar, tiene importancia por sus implicancias clínicas y — precisamente para — evitar errores en la evaluación de pacientes de altura. A nivel del mar, se admite que las técnicas que determinan el volumen cardíaco tienen

validez clínica sobre todo cuando se utilizan como técnica de seguimiento en la evolución de pacientes³⁹⁻⁴⁰. Creemos que esta misma utilidad puede ser aplicada en casos de individuos de altura.

BIBLIOGRAFIA

- 1.— Rotta, A.: Physiologic conditions of Heart in natives of high altitudes. *Am. H. J.* 33: 669, 1947.
- 2.— Miranda, A.; Rotta, A.: Medidas del corazón en nativos de la altura. *An. Fac. Med.* 26: 49, 1944.
- 3.— Kerwin, A. J.: Observations in heart Size of natives living at high altitudes. *Am. H. J.* 28: 69, 1944.
- 4.— Rotta, A., Canepa, A., Hurtado, A., Velasquez, T., and Chavez, R.: Pulmonary circulation at sea level and at high altitudes. *J. Appl. Physiol* 9: 328, 1956.
- 5.— Sime, F., Banchemo, N., Peñaloza, D., Gamboa, R., Cruz, J., and Marticorena, E.: Pulmonary hypertension in children born and living at high altitudes. *Am. J. Cardiol*, 11: 143, 1963.
- 6.— Peñaloza, D., Sime, F., Banchemo, N., Gamboa, R., Cruz, J., and Marticorena, E.: Pulmonary hypertension in healthy men born and living at high altitudes. *Am. J. Cardiol*, 11: 150, 1963.
- 7.— Barnard, P. J.: Experimental anoxia cardiac enlargement. *Lab. Investig.* 7: 81, 1958.
- 8.— Jonsell, S.: A method for determination of the heart size by teleoroentgenography (A heart volume index). *Act. Radiol* 20: 325, 1939.
- 9.— Kjellberg, S. R.; Lind, J.; Lonroth, H., and Rudhe, U.: Variations in heart volume in normal children of school age. *Act. Radiol.* 41: 441, 1954.
- 10.— Barnhard, H. J., Pierce, J. A., Joyce, J. W. and Bates, J. H.: Roentgenographic determination of total lung capacity: *Am. J. Med.* — 51: 1960.
- 11.— Monge, C.: Life in the Andes and chronic mountain sickness *Science*, 95: 79, 1942.
- 12.— Hurtado, A.: Chronic mountain Sickness. *J. A. M. A.* 120: 1278, 1942.
- 13.— Peñaloza, D.; Sime, F. y Ruiz, Z.: Corazón Pulmonar en el mal de montaña crónico.— Concepto actual de la enfermedad de Monge II Congreso Peruano de Salud Ocupacional, P 151, 1970.
- 14.— Kjellberg, S. R.; Rudhe, U. and Sjöstrand, J.: The relation of the Cardiac Volume to the weight and surface area of the body. The blood volume and the physical capacity for work. *Acta Radiol.* 31: 113, 1949.
- 15.— Kjellberg, S. R.; Rudhe, U., and Sjöstrand, T.: The relationship between the pulmonary blood content. The heart volume and the filling rate of the left ventricle. *Acta Physiol. Scand* 24:49, 1951.
- 16.— König, K., Reindell, H., Musshoff, K., Roskamm, H., and Kessler, M.: Das Herz volumen und die körperliche leistungsfähigkeit bei 20-60 Jährigen gesunden Männern. *Arch. Kreise — Forsh* 35: 37, 1961.
- 17.— Strandell, T.: Heart Volume and its relation to Anthropometric data in old men compared with young man. *Act. Med. Scand.* 176: 205, 1964.
- 18.— Monge Cassinelli, C., Cazorla, A., Whittembury, G., Sakata, Y. y Rizo-Patron, C.: Descripción de la Dinámica Circulatoria del Corazón y Pulmones en habitantes de nivel del mar y de las grandes alturas por medio de la técnica de dilución del colorante. *Andes Fac. Med.* 39: 498, 1956.
- 19.— Rotta, A., and López, A.: Electrocardiographic patterns in man at high altitudes, *circulation*, 5: 719, 1959.
- 20.— Peñaloza, D.; Gamboa, R., Marticorena, E., Echevarria, M., Dyer, J., and Gutierrez, E.: The influence of high altitudes on the electrical activity of the heart. *Electrocardiographic and vectocardiographic observations in adolescence and adulthood*, *Am. JH. J.* 61: 101, 1961.
- 21.— Hurtado, A.: Some clinical aspects of life at high altitudes. *Ann Int. Med.* 53: 247, 1960.
- 22.— Rotta, A., Morales, G., Battilana, G.: Valores de colesterol sanguíneo y de presión arterial en sujetos sanos de nivel del mar y de altura. *Rev. Peruana de Cardiología*, 12: 9, 1956.
- 23.— Marticorena, E., Severino, J. y Chavez, A.: Presión Arterial Sistémica en el nativo de altura, *Arch. Inst. Biol. And.* 2: 18, 1967.
- 24.— Zapata, B. y Marticorena, E.: Presión Arterial Sistémica en el Individuo senil de altura. *Arch. Inst. Biol.* 2: 220, 1968.
- 25.— Reynafarje, C., Lozano, R., and Valdiviezo, J.: The polycythemia of high altitudes: Iron metabolism and related aspects, *Blood*, 14: 433, 1959.
- 26.— Marticorena, E., y Torres, C.: Dilatación del arco medio pulmonar en el niño normal de altura. Su significado electrocardiográfico, *Arch. Inst. Biol. And.* 3: 30, 1969.
- 27.— Marticorena, E., Moreano, W. y Diaz, C.: Significado hemodinámico de la dilatación del arco medio pulmonar en el niño normal de altura. *Arch. Inst. Biol. And.* 3: 66, 1969.
- 28.— Arias-Stella, J., and Recavarren, S.: Right ventricular hypertrophy in native children living at high altitude. *Amer. J. Path.*, 41: 55, 1962.
- 29.— Recavarren, S., and Arias-Stella, J.: Topography of the right ventricular hypertrophy of children native to high altitudes. *Amer. J. Path.* 41: 467, 1962.
- 30.— Marticorena, E. y Nuro, M.: Observaciones personales.
- 31.— Badder, H. S.: The stimulus to hypertrophy of the miocardium, *circulation*, 30: 128, 1964.
- 32.— Holgren, A., Jonson, B., Levander, M., Linder-Holm, H., Sjöstrana, T., and Störm, G.: Low physical working capacity in suspected heart cases to inadequate adjustment of peripheral blood flow (vasoregulatory asthenia). *Acta. Med. Scand.* 158: 413, 1957.
- 33.— Etienne, G., and Lamy, G.: L'hypertrophie du coeur chez les aviateurs. *Arch. d. mal. du coeur*, 11: 510, 1918.
- 34.— Reviglio, G.M.: Contributo alla conoscenza modificazioni dei diametric cardiacei e del volume del cuore riscontrata all' indagine roentgenologica nei piloti. *Rassegna di Med. appl. lavoro indust.* 5: 154, 1934.
- 35.— Schaare, U.: Veränderungen der lunge un herzem als anpassung an fliegerische blanspruchung. *luft ahrtmedizin* 3: 104, 1939.
- 36.— Pescador, L.: Algunas notas sobre las alteraciones de cora-

- zón en los vuelos de alta cota. Rev. Clin. Españ. 2: 449, 1941.
- 37.— Graybiel, A., Patterson, J. L., and Houston, Ch. S.: The changes in heart size in man during partial acclimatization to simulated high altitudes, *circulation*, 1: 991, 1950.
- 38.— Barcroft, J., Binger, C., Bock, A., Daggart, Jh., Forbes, W. F., Harrop, G. A., Meakins, J. C., and Redfield, A. C.: Observations upon the effect of high altitude on the physiological processes of the human body, carried out in the Peruvian Andes, chiefly at Cerro de Pasco. *Phil. Tr. Roy. Soc., London*, 211: 351, 1923.
- 39.— Hanson, J. S.: Radiologic Estimation of heart volume, *J. A. M. A.* 176: 100, 1961.
- 40.— Domenet, J. G., Evans, D. W. and Howarth, F. H.: Clinical experience with radiological determination of heart volume, *Brit. Heart J.* 25: 575, 1963.