

DESCRIPCION DE LA DINAMICA CIRCULATORIA EN EL CORAZON Y PULMONES DE HABITANTES DEL NIVEL DEL MAR Y DE LAS GRANDES ALTURAS POR MEDIO DE LA TECNICA DE DILUCION DEL COLORANTE

CARLOS MONGE C., ALBERTO CAZORLA T., GUILLERMO WHITTEMBURY M.,
YOLANDA SAKATA B., Y CARLOS RIZO-PATRÓN

INTRODUCCION

El método de dilución, usado para medir el volumen de expulsión del corazón (1, 2), ha probado ser útil para la descripción de la circulación central. Esta técnica ha sido ampliamente usada para la determinación del volumen de expulsión del corazón y del tiempo circulatorio medio y volumen intratorácico descrito por Hamilton (2).

En 1951, Newman y colaboradores (3), hicieron un análisis de los factores que regulaban la morfología de la curva y describieron una fórmula que podía ser usada en la determinación del "Volumen Central". Este volumen correspondería al volumen de sangre contenido en los pulmones. En publicación posterior, Newman y colaboradores (4) describieron experimentos en animales, para probar la validez de sus suposiciones teóricas.

El método en un solo experimento permite la medida de a) tiempos circulatorios; b) volumen de expulsión del corazón; c) volumen intratorácico (Hamilton); d) volumen central (Newman) y e) volumen sanguíneo total.

(*) Agradecemos la autorización para publicar este trabajo aparecido en Acta Fisiológica Latino Americana, Vol. 5, N.4; 198-210, 1955.

El objeto de nuestro estudio es, describir la dinámica de la circulación en el corazón y los pulmones de habitantes del nivel del mar y de las grandes alturas por medio de la técnica de dilución del colorante. Se ha demostrado que los nativos peruanos que han nacido y habitan las grandes alturas, tienen un tórax más grande (5, 6) y una mayor capacidad vital que los habitantes del nivel del mar; nosotros habíamos pensado en la posibilidad de que los nativos de las grandes alturas tuvieran una mayor cantidad de sangre en los pulmones y que la técnica de dilución del colorante pudiera ser una valiosa ayuda en su determinación.

No hemos encontrado ningún trabajo sistemático en hombres y mujeres usando la fórmula de Newman, por eso hemos incluido un grupo de mujeres normales, habitantes del nivel del mar, que se comparan con un grupo similar de hombres.

MATERIAL Y METODOS

Hemos seleccionado para este estudio un grupo de 45 personas normales. Veinte hombres y 15 mujeres del nivel del mar y 10 hombres de las grandes alturas de los Andes peruanos, que pertenecen a una raza que ha vivido en las grandes alturas desde tiempos prehistóricos.

El criterio de selección se basó en la historia, examen físico, electrocardiograma, radiografía de tórax y estudio hematológico. Tuvimos cuidado de eliminar casos de pneumoconiosis, un hallazgo frecuente en los nativos de la altura que trabajan en minas. El grupo de nivel del mar incluía gente que nunca vivió en la altura. Las edades variaron en los hombres entre 21 y 26; en las mujeres entre 16 y 27. El grupo de altura incluía 10 nativos hombres que nunca habían estado a nivel del mar y que residían en Morococha o alturas vecinas; sus edades estaban entre 18 y 30.

Los lugares de estudio fueron: Lima, a 150 mts. sobre el nivel del mar y Morococha a 4,540 mts. (14,900 pies) sobre el nivel del mar.

La técnica experimental es la misma descrita por Hamilton (7) con algunas modificaciones. El aparato para la colección seriada de la sangre arterial es el descrito por Newman (3). Todos los sujetos llegaban en la mañana al laboratorio, en ayunas, con excepción de los nativos de altura que habían tomado un ligero desayuno consistente en un pan, alrededor de cuatro horas antes del experimento. El experimento se hacía con la persona en decúbito dorsal, después de un reposo mínimo de 30 minutos. En todos los casos, después de la anes-

testa local con procaína, se punzaba la arteria femoral con una aguja número 18, unida a un pequeño tubo de plástica. El mismo tubo se usó en todos los experimentos y servía para coleccionar la sangre en pequeños tubos de ensayo. Dos cm³ de una solución al 1% de azul de Evans se medían en una jeringa de 3 cm³ lubricadas con aceite mineral; la jeringa conteniendo el colorante y unida a una aguja N^o 20 era pesada en una balanza de precisión, antes de la inyección y después de ella.

La técnica consistía en la inyección del azul de Evans en una vena antecubital y la colección simultánea de muestras de sangre arterial a intervalos de dos segundos. Antes de la inyección, de la aguja colocada en la arteria, se coleccionaban muestras para blancos y hemacrito. Diez minutos después de la inyección de T-1824, se sacaba una muestra de sangre venosa para determinación de volumen plasmático.

Los análisis se hicieron, en espectrofotómetro Cólman Jr. a 620 mμ., en suero, usando una microtécnica por medio de tubos capilares para determinar punto de fusión. Se evitó la hemólisis en casi todos los casos; en las pocas muestras en que hubo hemólisis, se hizo una corrección para la presencia de hemoglobina haciendo una nueva lectura a 540 mμ.; el factor de corrección era sin importancia. Los hematocritos se centrifugaron a 3,000 rpm. durante 30 minutos a nivel del mar y durante 60 minutos en la altura (hematocritos altos).

CALCULOS

La cantidad de colorante inyectado fué calculado por diferencia de pesadas de la jeringa. Las curvas de dilución se colocaron en papel semilogarítmico.

Tiempos circulatorios.— Se midieron los siguientes tiempos:

a) tiempo de aparición: desde el momento de la inyección hasta la aparición del colorante; b) tiempo de formación de la curva: desde el comienzo de la curva de dilución hasta su vértice; c) tiempo circulatorio medio, por medio de la fórmula de Hamilton (8).

$$M = \frac{T_1C_1 + T_2C_2 + \dots + T_nC_n}{C_1 + C_2 + \dots + C_n} \quad M \text{ es la coordenada T del}$$

centro de gravedad de la curva; C₁, C₂,.....C_n son las lecturas de las concentraciones en los tiempos T₁, T₂,.....T_n. El tiempo circulatorio medio es el tiempo desde la mitad del período de inyección hasta M.

$$\text{Volumen de expulsión del corazón.}— \text{Hamilton (2)} \quad F = \frac{I \times 60}{CT}$$

I es la cantidad de colorante inyectado; CT es el área de la curva; F está expresada en litros por minuto.

$$\text{Volumen sanguíneo intratorácico.}— \text{Hamilton (8)} = \frac{F \times TCM}{60}$$

F es el volumen de expulsión del corazón en litros por minuto y TCM el tiempo circulatorio medio.

Volumen Pulmonar (volumen Central).— Fórmula de Newman (3)

$$S = \frac{F}{V}$$

S es la pendiente; F es el flujo por unidad de tiempo; V es el volumen central.

$$\text{Volumen sanguíneo total.}— \frac{I \times 100}{C_{10} \times (100 - Ht)} \quad \text{I es la cantidad de co-}$$

lorante inyectado; C₁₀ la concentración del colorante a los 10 minutos; (100-Ht) es el plasmacrito. Se hizo una pequeña corrección para compensar la cantidad de colorante perdido durante la colección arterial. No se corrigieron los hematocritos por plasma atrapado.

RESULTADOS

Los datos experimentales se resumen en las tablas 1, 2 y 3. Los tiempos y volúmenes se han corregido para un metro cuadrado de superficie corporal; esta corrección es importante al comparar los grupos de nivel del mar con los de la altura, desde que los nativos de la altura son de menor talla y peso que los habitantes del nivel del mar.

Como estamos interesados en la comparación de hombres y mujeres a nivel del mar y hombres de la altura con los de nivel del mar, hemos construido la tabla No. 4 para mostrar las diferencias entre los valores medios de los grupos. La tabla 4 muestra también los valores de P. Hemos tomado en consideración solamente P menores de 0.05.

El lector que no está familiarizado con datos de habitantes de las grandes alturas, se sorprenderá de la amplia variación de datos, pero ésto es un hallazgo común en un medio en el cual la saturación arterial está en la parte más vertical de la curva de disociación de oxígeno.

T A B L A N° 1 -- (Varones nivel del mar)

Nombre	Edad	P	SC	TAC	TCM	TFC	Ht.	IC	VC	VIT	VST	VC	VIT	VC	VIT
		Kg.	m2.	seg/m2	seg/m2	seg/m2	%	L/m ² .m2	L/m2	l./m2	L/m2	%	l./m2	L/m2	%
E.C.	26	65.0	1.78	10.4	17.5	6.0	45.0	3.9	0.47	1.99	2.79	16.8	1.99	2.79	16.8
A.G.	26	68.5	1.76	9.7	17.7	5.5	45.5	3.4	0.38	1.74	2.83	13.5	1.74	2.83	13.5
L.M.	21	66.5	1.75	8.6	14.8	4.4	46.3	3.9	0.42	1.67	2.56	16.5	1.67	2.56	16.5
J.S.	22	67.5	1.83	8.2	14.8	5.3	46.5	3.3	0.36	1.47	2.47	15.0	1.47	2.47	15.0
J.H.	25	70.0	1.82	8.2	16.1	5.1	46.0	3.6	0.55	1.73	2.71	20.3	1.73	2.71	20.3
G.M.	24	77.0	1.92	5.4	11.8	4.9	47.1	4.1	0.31	1.55	2.61	12.0	1.55	2.61	12.0
L.N.	22	75.8	1.90	9.5	16.2	4.5	44.1	3.1	0.38	1.60	2.92	13.2	1.60	2.92	13.2
J.S.	24	52.8	1.56	10.3	19.8	6.5	46.0	3.2	0.33	1.67	2.69	12.2	1.67	2.69	12.2
E.G.	27	52.8	1.56	13.2	21.2	4.9	46.5	3.8	0.43	2.08	2.83	15.2	2.08	2.83	15.2
A.C.	22	59.5	1.63	8.8	15.1	5.0	46.8	4.0	0.34	1.67	2.36	14.6	1.67	2.36	14.6
G.C.	22	60.5	1.67	8.7	15.9	5.3	46.2	3.7	0.40	1.62	2.90	13.9	1.62	2.90	13.9
A.C.	23	55.6	1.60	10.2	16.2	5.7	46.0	3.2	0.21	1.40	2.60	7.9	1.40	2.60	7.9
A.L.	23	55.8	1.52	10.2	17.8	5.1	50.0	3.3	0.42	1.49	2.53	16.3	1.49	2.53	16.3
J.J.	22	55.6	1.63	9.1	14.4	4.5	46.0	4.4	0.28	1.71	2.43	11.7	1.71	2.43	11.7
G.L.	22	64.2	1.74	11.7	19.8	4.7	42.5	3.3	0.56	1.92	2.31	24.4	1.92	2.31	24.4
J.S.	25	74.1	1.85	7.0	11.2	2.9	46.5	4.1	0.31	1.43	2.76	11.1	1.43	2.76	11.1
G.W.	22	62.5	1.72	11.3	21.5	6.7	48.0	2.4	0.49	1.50	2.62	28.6	1.50	2.62	28.6
L.R.	23	70.0	1.85	7.9	15.0	5.3	47.1	3.3	0.35	1.51	2.67	13.0	1.51	2.67	13.0
C.R.	21	57.4	1.63	11.9	20.5	6.8	44.8	3.5	0.46	1.93	2.28	13.9	1.93	2.28	13.9
J.F.	23	55.5	1.60	6.2	12.1	5.0	42.5	3.8	0.35	1.27	2.40	14.5	1.27	2.40	14.5
MEDIA			1.72	9.3	16.5	5.2	46.0	3.56	0.39	1.65	2.66	15.2	1.65	2.66	15.2
Desviación Standard				1.94	3.02	0.89	1.69	0.46	0.09	0.21	0.23	4.70	0.21	0.23	4.70

P : Peso

SC : Superficie corporal

TAC : Tiempo de aparición del colorante

TFC: Tiempo de formación de la Curva

Ht. : Hematocrito

IC : Indice cardiaco

VC : Volumen central

VIT: Volumen intratorácico

VST: Volumen sanguíneo total.

A N A L I S I S D E L A

T A B L A N° 2 — (Mujeres nivel del mar)

Nombre	Edad	P	SC	TAC	TCM	TFC	Ht.	IC	VC	VIT	VST	$\frac{VC}{VST} \times 100$	$\frac{VIT}{VST} \times 100$
		Kg.	m2.	seg/m2	seg/m2	seg/m2	%	L/m/m2	L/m2	L/m2	L/m2	%	%
M.V.	22	49.8	1.52	5.3	11.1	3.9	41.5	4.9	0.36	1.37	2.26	15.9	60.5
Y.S.	26	50.7	1.46	15.5	23.0	5.6	40.0	2.6	0.37	1.45	2.26	16.4	64.7
B.R.	26	67.4	1.67	9.6	16.0	4.8	40.0	4.6	0.49	2.03	2.52	19.4	81.1
G.R.	26	50.6	1.53	7.8	14.1	5.2	40.0	3.8	0.39	1.37	2.36	16.4	57.9
L.P.	23	55.3	1.54	6.6	13.9	5.3	40.0	2.8	0.32	0.99	2.70	14.7	45.7
A.V.	22	45.6	1.39	7.3	14.0	4.4	40.6	3.8	0.33	1.22	1.99	18.4	61.2
L.M.	24	47.5	1.41	8.1	14.0	4.8	41.5	4.4	0.35	1.45	2.0	17.4	72.2
D.M.	25	52.0	1.51	5.8	11.7	5.8	40.0	3.1	0.22	0.91	2.46	10.7	44.5
V.C.	18	49.8	1.44	6.9	14.9	6.9	37.0	2.9	0.30	1.02	2.02	14.8	50.4
L.B.	22	54.0	1.54	7.1	14.5	5.9	40.5	3.3	0.44	1.24	2.33	19.0	53.1
J.E.	23	65.0	1.63	8.7	15.3	5.0	36.0	3.2	0.32	1.35	2.55	12.6	35.2
T.E.	16	50.3	1.43	10.1	18.0	4.3	38.0	3.4	0.38	1.46	2.58	14.6	56.6
T.E.F.	16	53.3	1.49	11.13	19.4	5.0	41.0	3.8	0.48	1.85	2.50	19.0	74.0
J.S.	17	48.5	1.39	10.2	16.9	4.4	41.0	4.8	0.46	1.90	2.40	19.0	79.1
D.Y.	25	50.2	1.54	4.7	12.2	4.7	40.5	4.3	0.50	1.34	2.75	19.2	48.6
MEDIA		1.50		8.3	15.3	5.1	39.8	3.71	0.38	1.40	2.34	16.5	60.0
Desviación Standard				2.73	3.10	0.80	1.60	0.75	0.08	0.30	0.23	2.64	13.40

T A B L A N° 3 — (Varones altura)

Nombre	Edad	P	SC	TAC	TCM	TFC	Hu.	IC	VC	VIT	VST	$\frac{VC}{VST} \times 100$	$\frac{VIT}{VST} \times 100$
		Kg.	m ² .	seg/m ²	seg/m ²	seg/m ²	%	L/m/m ²	L/m ²	L/m ²	L/m ²	%	%
D.T.	18	53.8	1.52	9.9	16.7	5.6	60.9	4.2	0.35	1.79	3.32	10.6	54.0
C.S.	22	56.4	1.57	10.4	22.9	10.4	69.3	3.0	0.54	1.83	3.27	16.5	55.8
L.R.	23	52.3	1.47	11.2	23.3	6.4	60.6	3.9	0.77	2.21	3.71	24.5	59.5
F.U.	25	59.7	1.65	10.9	15.1	7.5	55.7	4.0	0.65	1.68	3.85	16.9	43.6
G.Ch.	21	53.0	1.50	9.8	16.2	4.5	54.9	4.8	0.54	1.95	3.18	17.0	61.2
L.I.	28	53.7	1.51	15.0	27.5	7.8	53.0	4.7	1.06	3.23	3.58	29.6	90.2
P.V.	22	56.2	1.54	14.3	27.6	9.1	64.7	3.4	0.79	2.39	3.77	21.4	63.3
H.E.	30	54.2	1.52	12.0	24.3	6.6	66.4	3.6	0.85	2.19	3.89	21.9	56.4
B.Z.	23	56.5	1.67	7.3	16.1	6.0	61.3	5.0	0.83	2.23	5.50	23.8	63.7
T.S.	23	58.9	1.60	9.4	16.9	6.1	50.7	3.6	0.33	1.62	2.21	12.3	73.4
MEDIA		1.55	11.0	20.7	7.0	4.02	59.7	4.02	0.67	2.11	3.63	19.4	62.1
Desviación Standard		2.29	4.95	1.74	6.07	0.65	0.23	0.47	0.67	5.84	12.50		

T A B L A N° 4 — (Valores del P) *

	TAC	TCM	TFC	Hu.	IC	VC	VIT	VST	$\frac{VC}{VST} \times 100$	$\frac{VIT}{VST} \times 100$
	seg/m ²	seg/m ²	seg/m ²	%	L/m/m ²	L/m ²	L/m ²	L/m ²	%	%
Varones nivel del mar (medias)	9.3	16.5	5.2	46.0	3.56	0.39	1.65	2.66	15.2	62.3
Mujeres nivel del mar (medias)	8.3	15.3	5.1	39.8	3.71	0.38	1.40	2.34	16.5	60.0
P				0.01			0.01	0.01		
Varones nivel del mar (medias)	9.3	16.5	5.2	46.0	3.56	0.39	1.65	2.66	15.2	62.3
Varones altura (medias)	11.0	20.7	7.0	59.7	4.02	0.67	2.11	3.63	19.4	62.1
P	0.04	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02

(*) Sólo los P menores de 0.05 se consignan. Fueron calculados con el "t test" de Fisher.

DISCUSION

El principal propósito de nuestro trabajo ha sido estudiar la cantidad de sangre en los pulmones por medio de la fórmula de Newman. La mayoría de los investigadores han usado la fórmula de Hamilton (tiempo circulatorio medio multiplicado por el volumen del corazón). Si aceptamos la teoría de Newman de una dilución instantánea del colorante en la circulación central y de que su desaparición está gobernada por los pulmones, el tiempo circulatorio medio no tiene significado fisiológico. Hemos usado ambos sistemas de cálculos. La figura 1 muestra su correlación que es estadísticamente significativa ($r \pm e.s. = 0.725 \pm 0.04$). Esto significa que cualquier procedimiento puede usarse como estimación del volumen de sangre contenido en el tórax; la validez de las cifras absolutas depende de la validez de cada teoría. La figura 1 también muestra la gran diferencia en Volumen Pulmonar (Volumen Central) e intratorácico entre los hombres de altura y del nivel del mar. También muestra que la correlación entre estos volúmenes parece estar presente aún en niveles extremadamente altos.

Aunque hay muchos informes en la literatura en los que se han empleado el método de dilución del colorante, es difícil hacer un estudio comparativo a causa de diferencias en la técnica. La mayoría de autores han usado el tiempo circulatorio medio para calcular el volumen intratorácico y los valores difieren grandemente dependiendo del sitio de inyección y de la colección de las muestras. Estas diferencias indican que este método no es exacto, por su dependencia del tiempo circulatorio medio.

Grupo del nivel del mar.— La fórmula de Newman no ha sido usada ampliamente para calcular el volumen pulmonar. (Central). Nuestros resultados concuerdan con los de Schreiner y colaboradores (9) quienes han encontrado un promedio de 13.3% de sangre total como Volumen Central (fórmula de Newman) en 16 normales. Nuestras cifras son de 15.2% para los hombres y 16.5% para las mujeres. Otras cifras dadas en la misma publicación concuerdan con las nuestras: índice cardíaco 3.83 L/m/m²; tiempo de aparición 13.1 seg.; tiempo de formación de curva 7.1 seg.; las muestras son 3.56, 15.9 y 9.0 respectivamente (hombres).

Chapman y colaboradores (10) han usado la técnica de dilución para medir el volumen de expulsión del corazón y el tiempo circulatorio medio en un grupo de 23 hombres y 10 mujeres. Han usado un

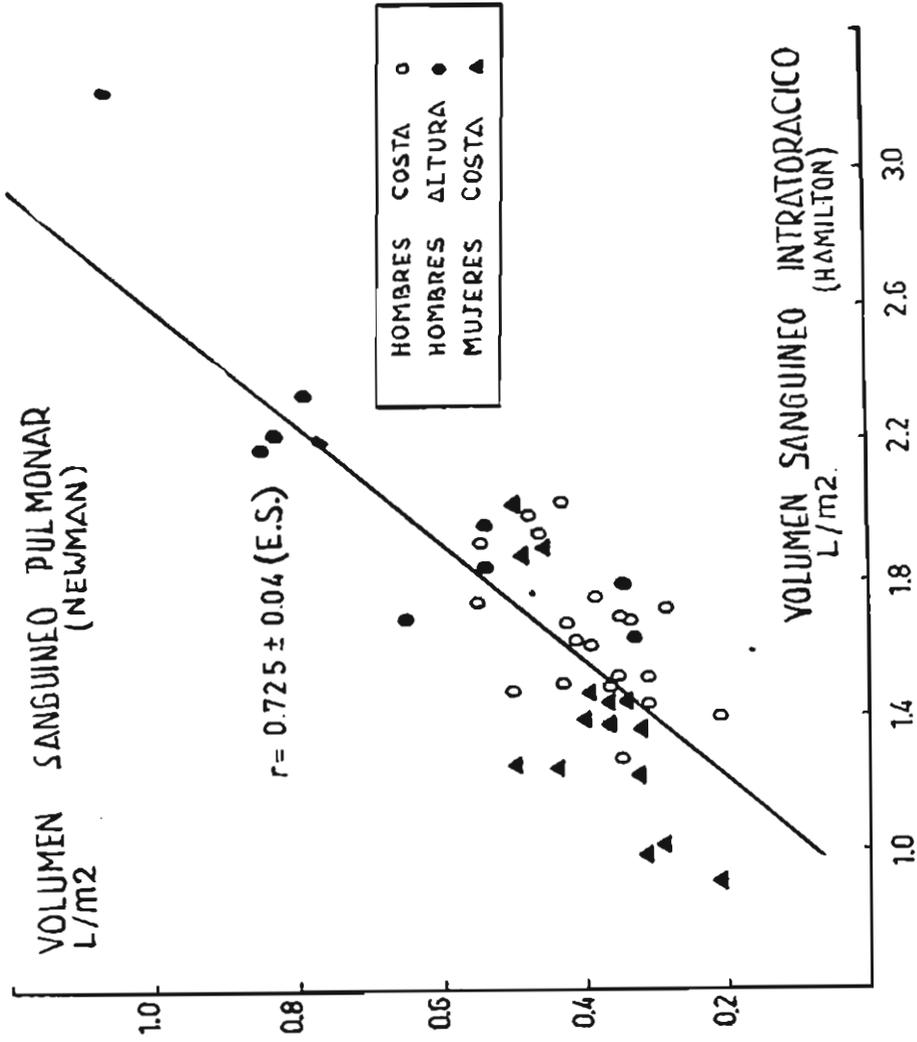


Figura No. 1.— La figura muestra la correlación entre volumen sanguíneo pulmonar en L/m², calculados por la fórmula de Newman de la pendiente de la curva y el volumen sanguíneo intratorácico en L/m², calculado de acuerdo a Hamilton. Puede verse que la correlación es alta ($r = 0.725 \pm 0.04$ E.S.). Los va-

catéter de polyethylene introducido unos 30 cm. en la vena; sus tiempos circulatorios no pueden ser comparados con los nuestros en los que se usó una aguja. El índice cardíaco de su grupo de hombres es 3.63 ± 0.59 (\pm D S) L/m/m², concuerda con el nuestro 3.56 ± 0.46 (\pm DS) L/m/m² en 20 hombres. Su grupo de mujeres tiene una media de 3.50 ± 0.78 (DS) L/m/m² algo más baja que la nuestra de 3.71 ± 0.71 (DS) L/m/m² en las 15 mujeres. Es interesante observar que la desviación standard de las medias de ambos grupos de investigadores muestra la misma diferencia en los grupos de hombres y mujeres.

Nuestros resultados de volumen sanguíneo a nivel del mar dan una media de 2.66 ± 0.23 (DS) L/m² para los hombres y una media de 2.34 ± 0.23 L/m² para las mujeres, resultados algo más bajos que los de Jasahui (11) hechos en nuestro laboratorio en Lima en un grupo similar de personas a nivel del mar, usando la técnica standard de T-1824 para las determinaciones de volumen sanguíneo. Los resultados de Jasahui en 50 hombres son 2.97 ± 0.25 (DS) L/m² y 2.51 ± 0.17 (DS) L/m² para 50 mujeres.

Grupo de Altura.— Nuestros resultados para volumen sanguíneo concuerdan con los previamente hechos en el Instituto de Biología Andina por Hurtado y colaboradores (12) quienes trabajaron a la misma altura (Morococha 4,540 metros) y encontraron un hematocrito de 59.9 ± 5.6 (DS) en 32 sujetos. Nuestros resultados son 59.7 ± 6.07 (DS). Las cifras de Hurtado para volumen sanguíneo son 100.3 ± 10.8 (DS) cm³ por kilo de peso, en 11 personas, usando el azul de Evans. Nuestros resultados son 96.2 ± 14.2 (DS) por kilo de peso.

El volumen sanguíneo pulmonar calculado por la fórmula de Newman es de 0.67 L/m². valor más alto que el de los varones a nivel del mar de 0.39 L/m²; la diferencia es estadísticamente significativa ($p < 0.01$). Como estábamos interesados en saber si esta diferencia era solamente el resultado de un incremento del volumen sanguíneo en la altura, hemos calculado el volumen sanguíneo pulmonar como porcentaje del volumen sanguíneo total. La media para el nivel del mar para los hombres de nivel del mar es 15.2% comparada con 19.4% para los sujetos de altura. ($P = 0.02$). La diferencia está en los límites del significado estadístico. Estos resultados están en favor de la hipótesis de una mayor cantidad de sangre en los pulmones en los nativos de altura.

El tiempo circulatorio medio y el de formación de curva, son mayores en el grupo de altura y la diferencia es estadísticamente signifi-

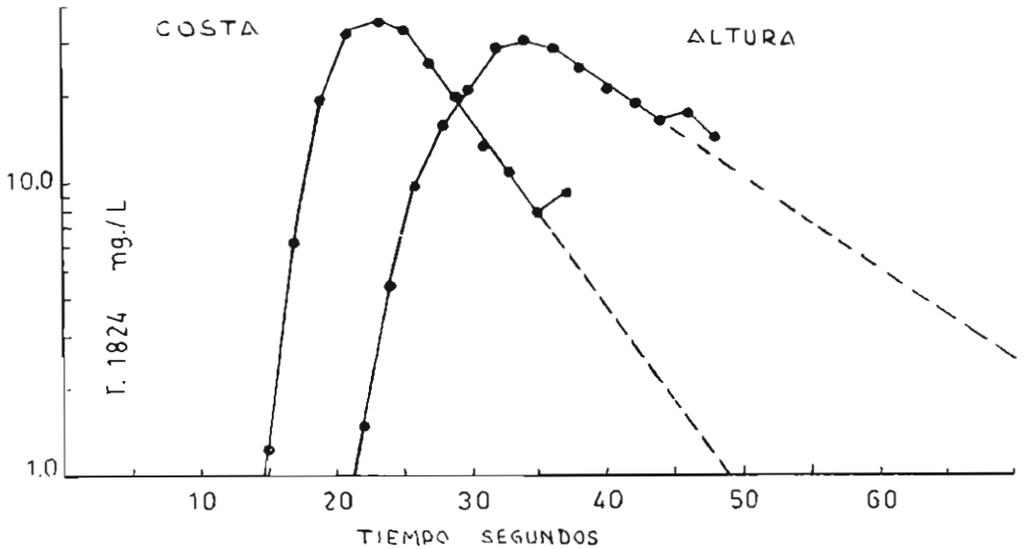


Figura No. 2.— La figura muestra una curva representativa de un experimento a nivel del mar y uno de las grandes alturas. La inyección se hizo en tiempo 0. Las curvas de la altura tienen tiempo de aparición y de formación de curva mayores. Las diferencias en la pendiente, son también evidentes. La cantidad de colorante usada en todos los experimentos fué la misma.

cativa. El tiempo de formación de curva prolongado, hace que las curvas de los sujetos de altura tengan morfología algo diferente que las del nivel del mar (Figura No. 2). Newman ha demostrado (3) en su trabajo experimental, con botellas que representan las cavidades cardíacas, que el tiempo de formación de curva está gobernada por estas botellas. Nuestros resultados, indicarían una mayor capacidad de las cámaras cardíacas en nuestro grupo de altura, si la hipótesis de Newman es correcta. Sin embargo, trabajos posteriores deben verificar esta observación.

Nuestro índice cardíaco de 4.02 ± 0.65 (DS) L/m/m² es algo mayor que el encontrado para nuestros varones a nivel del mar 3.56 ± 0.46 (DS) L/m/m². La diferencia entre las medias es de dudoso significado estadístico ($P = 0.04$). Trabajos previos hechos en la misma altura por Rotta (13) usando el método del acetileno en 16 adultos sanos naturales y residentes en Morococha mostraban "valores normales del volumen de expulsión y muy discreto aumento del índice cardíaco" (No se dan cifras en el artículo). El mismo autor usando del método de Fick (13) encontró en tres nativos de Morococha un índice

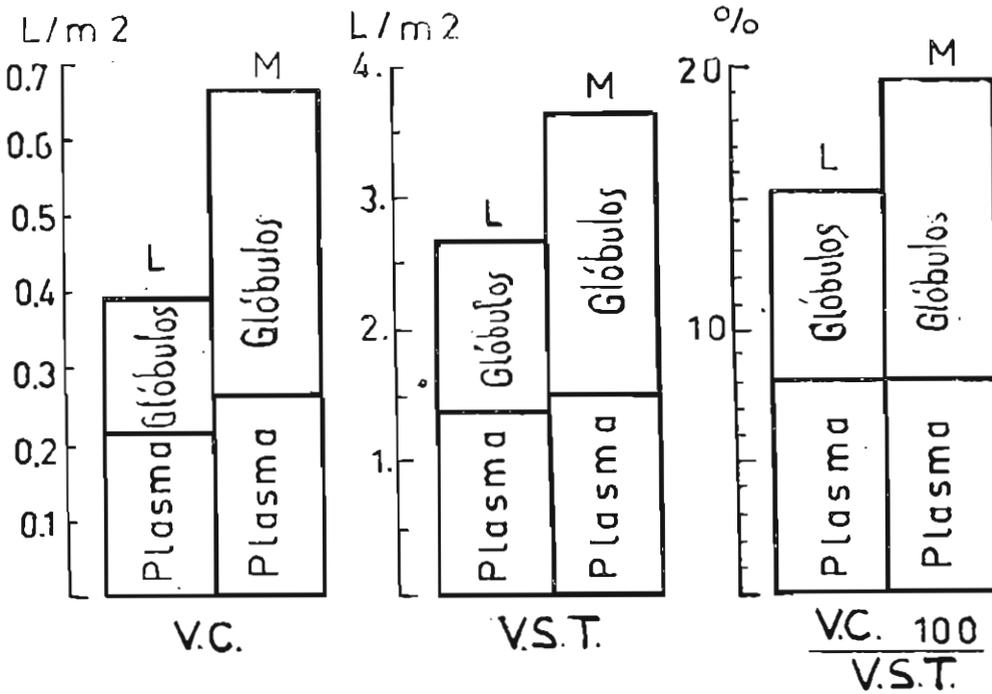


Figura No. 3.—

L = Lima (nivel del mar); M = Morococha (4,540 m. de altura).

VC = Volumen central (Volumen sanguíneo pulmonar).

VST = Volumen sanguíneo total.

La figura muestra el incremento del volumen sanguíneo pulmonar y total en los nativos de Morococha. También muestra que el incremento en el volumen sanguíneo pulmonar es mayor que el correspondiente al incremento de volumen sanguíneo total, dando en la altura un mayor porcentaje de sangre contenida en los pulmones.

cardíaco de 3.20, 2.60 y 2.64 L/m/m² definitivamente mayor que sus cifras para el nivel del mar hechas en dos controles que mostraron 4.08 y 4.07 L/m/m². Es evidente que mayor trabajo se necesita para aclarar estos resultados.

La figura No. 3 muestra las diferencias entre el volumen sanguíneo total y el volumen pulmonar entre los hombres del nivel del mar y los de las grandes alturas. Muestra claramente que el incremento de los volúmenes en la altura depende de una mayor masa de glóbulos rojos, un hecho bien conocido en la policitemia por anoxia.

RESUMEN

La técnica de dilución ha sido usada para la descripción de la dinámica circulatoria en el corazón y pulmones de habitantes del nivel del mar y de las grandes alturas. El principal propósito de este trabajo ha sido la medida de la cantidad de sangre contenida en los pulmones de estos grupos de personas, por medio de la fórmula de Newman, con objeto de demostrar si los nativos de las grandes alturas tienen una mayor cantidad de sangre en los pulmones. Los siguientes cálculos se hicieron: tiempos circulatorios, volumen de expulsión del corazón, volumen sanguíneo intratorácico (Hamilton), volumen central (Newman) y volumen sanguíneo total. Al nivel del mar se estudiaron 20 hombres y 15 mujeres. En la altura (4,540 mts.) se estudiaron 10 hombres que habían nacido y seguían viviendo a 4,540 mts. Cuando los valores se corrigen por metro cuadrado de superficie corporal, no hay diferencia marcada entre hombres y mujeres a nivel del mar, aparte de las conocidas diferencias hematológicas. Los nativos de la altura muestran tiempos circulatorios más prolongados, un volumen de expulsión ligeramente mayor, mayor volumen sanguíneo y mayor cantidad de sangre contenida en los pulmones. Cuando el volumen de sangre pulmonar, calculado con la fórmula de Newman, se expresa como porcentaje del volumen sanguíneo total, el grupo de altura también muestra cifras mayores que los individuos del nivel del mar.

REFERENCIAS

- 1.—CHAPMAN C. B., and FRASER R. S.: Studies on the effect of exercise on cardiovascular function. I. Cardiac output and mean circulation time.— *Circulation*, 1954, 9, 57.
- 2.—HAMILTON W. F., MOORE J. W., KINSMAN J. M., and SPUGLING R. G.: Estudios on circulation. IV. Further analysis of the injection method and of changes in hemodynamics under physiological conditions. *Am. J. Physiol.*, 1932, 99, 534.
- 3.—HURTADO A.: Respiratory adaptation in the Andean natives of the Peruvian Andes. Studies at high altitude. *Am. J. of Physical Anthrop.*, 1932, 17, 137.
- 4.—HURTADO A., MERINO C., DELGADO E.: Influence of anoxemia in the hemopietic activity. *Archives of Internal Medicine*, 1945, 75, 284.
- 5.—JASAHUI E.: Tesis de Bachillerato. Fac. Med. Lima, 1954, (No publicado).
- 6.—KINSMAN J. M., MOORE J. W., HAMILTON W. F.: Studies on the Circulation: I. Injection method: Physical and mathematical considerations. *Am. J. of Physiol.* 1929, 89, 322.

- 7.—LEE PEARCE M., Mc KEEVER W. P., and E. V.: The influence of injection site upon the form. of dye dilution curves. *Circulation Research*, 1953, 1, 112.
- 8.—MONGE C.: Biological basis in human behavior. In *Anthropology today*. The University of Chicago Press. 1953, 127-144.
- 9.—MOORE J. W. KINSMAN J. M., HAMILTON W. F., SPURGLING R. G.: Studies on the circulation. II. Cardiac output determinations; comparison of the injection method with the direct Fick procedure. *Am. J. of Physiol*, 1929, 89, 331.
- 10.—NEWMAN E. V., MERREL M., GENECIN A., MONGE C., MILNOR W. R., and Mc KEEVER W.: The dye dilution method for describing the central circulation. An analysis of factors shaping the time-concentration curves. *Circulation*, 1951, 4, 735.
- 11.—ROTTA ANDRES: Sumario sobre el presente estado de las investigaciones en fisiología cardiovascular del hombre nativo que vive a 4,500 metros de altitud. Symposium, on the Physiology of High Altitudes, Lima, 1949.
- 12.—SCHREINER G. E., FREINKEL N., ATHENS J. N.; and STONE W.: Cardiac output central volume and dye injection curves in traumatic arteriovenous fistulas in man. *Circulation*, 1953, 7, 718.
- 13.—STEWART G. N.: The pulmonary circulation time, the quantity of blood in the lungs and the output of the heart. *Am. J. Physiol.* 1921. 58, 20.