

## CIRCULACION PULMONAR EN EL NATIVO DE LAS GRANDES ALTURAS\*

NATALIO BANCHERO ZAVALA

El hombre que nace y vive permanentemente en las grandes alturas exhibe modificaciones anatómicas y fisiológicas que le permiten adecuada aclimatación en un ambiente de hipoxia crónica, tanto en reposo como en condiciones de intensa actividad física. Es un hecho de observación que en poblaciones situadas a 14,000 pies sobre el nivel del mar, y aún a mayores alturas, el hombre nace, crece y se comporta de modo semejante al que habita en poblaciones situadas a nivel del mar. Esta aclimatación natural es el resultado de variados mecanismos adaptativos tales como policitemia, hipervolemia y cambios en la función pulmonar y en la actividad enzimática a nivel tisular (1-7).

En el corazón y la circulación pulmonar del habitante de las grandes alturas se han descrito cambios anatómicos y fisiológicos cuya relación con el fenómeno de aclimatación no es aún bien comprendida. Estudios anatómicos han mostrado la existencia de hipertrofia ventricular derecha y la presencia de arteriolas pulmonares que exhiben capa muscular, recordando en algo la estructura fetal de la vasculatura pulmonar (8,9). El electrocardiograma y el vectocardiograma muestran evidencia de hipertrofia ventricular derecha tanto en el niño como en el adulto que residen en las grandes alturas (10-12). Finalmente, en el adulto de la altura se ha descrito la existencia de moderada hipertensión pulmonar (13).

El escaso número de observaciones, que anteriormente se han realizado utilizando la técnica del cateterismo cardiaco derecho, el no haber sido aplicado hasta el momento este método de estudio en el niño

---

\* Tesis sustentada por el autor para recibir el grado de Bachiller en Medicina, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, abril, 1962.

de la altura, el incierto mecanismo de la hipertensión pulmonar y los resultados contradictorios concernientes al débito cardiaco, motivaron la realización de esta investigación.

## MATERIAL Y METODOS

*Sujetos* : Un grupo de niños y otro de adultos formaron el material humano estudiado en esta investigación.

*Niños* : Se estudiaron 32 niños normales entre 1 y 14 años de edad que habían nacido y vivido permanentemente en poblaciones situadas por encima de los 14,000 pies de altura. Los resultados obtenidos en este grupo fueron comparados con los datos señalados para niños en la literatura, desde que un grupo similar no fue estudiado a nivel del mar.

*Adultos* : Fueron estudiados 38 hombres sanos entre 17 y 34 años de edad, nacidos por encima de los 12,000 pies y residiendo los últimos ocho años en poblaciones situadas por encima de 14,000 pies. Con fines comparativos se llevó a cabo una investigación similar en un grupo de 25 hombres normales entre 17 y 23 años de edad, que habían nacido y residido permanentemente en poblaciones de la costa.

Los habitantes de la altura fueron estudiados en Morococha, población situada a 4,540 metros (14,900 pies) de altura sobre el nivel del mar, con una presión barométrica media de 446 mm. Hg. y  $pO_2$  atmosférico de 80 mm. Hg. Los residentes de la costa fueron estudiados en Lima, ciudad ubicada a 150 metros (500 pies) de altura, con una presión barométrica media de 753 mm. Hg. y  $pO_2$  de 148 mm. Hg.

*Procedimiento* : Previamente al cateterismo cardiaco en cada caso se hizo un examen físico, se tomaron radiografías de tórax y se obtuvieron datos hematológicos, electrocardiográficos y vectocardiográficos. El cateterismo cardiaco derecho (14,15) se realizó en la posición decúbito supino, en ayunas, sin emplear medicación previa. Se registraron presiones en el tronco de la arteria pulmonar, en el ventrículo derecho y en la aurícula derecha, tomando como cero el punto medio del diámetro ántero-posterior.

Se utilizó la presión "capilar pulmonar" como representativa de la presión en la aurícula izquierda (16,17). También se registró la presión de la arteria braquial. El registro de presiones se hizo utilizan-

do un Siatham gage P23Db y un Twin Viso Sanborn Modelo 60-1300 y la presión media se registró con el auxilio de un integrador eléctrico.

El aire espirado y muestras de sangre arterial y de sangre venosa mixta fueron obtenidas simultáneamente. El aire espirado fue coleccionado en un espirómetro calibrado de Tissot y su contenido en gases fue analizado en el aparato de Haldane-Henderson. La muestra de sangre venosa mixta fue obtenida de la arteria pulmonar y la de sangre arterial de la arteria braquial por canulación de la misma en los adultos y por punción en los niños. El análisis de los gases en sangre fue realizado en un aparato manométrico de Van Slyke y Neill. La colección de aire espirado y de sangre arterial no fue posible en todos los niños por las dificultades inherentes a la edad.

El procedimiento anterior permitió el cálculo del consumo de oxígeno y de la diferencia arterio-venosa y, aplicando la fórmula de Fick (A), fue calculado el débito cardíaco.

$$(A) \frac{\text{Consumo O}_2 \text{ (cc./min.)}}{\text{Diferencia A-V (Vol. \%)}} \times 100 = \text{Débito cardíaco (cc./min.)}$$

También fue calculado el índice cardíaco (B), la resistencia pulmonar total (C), la resistencia vascular pulmonar (D), la resistencia sistémica (total (E) y el trabajo de ambos ventrículos (F, G), utilizando las siguientes fórmulas:

$$(B) \frac{\text{Débito cardíaco (cc./min.)}}{\text{Superficie corporal (m}^2\text{)}} = \text{Índice cardíaco (cc./min.)}$$

$$(C) \frac{\text{P.m.* en Art. Pulm.}}{\text{Débito cardíaco (cc./seg)}} \times 1,332 = \text{R.P.T. (dinas/seg/cm}^5\text{)}$$

$$(D) \frac{\text{P.m. en Art. Pulm.} - \text{P.m. "cap. pulm."}}{\text{Débito cardíaco (cc./seg.)}} \times 1,332 = \text{R.V.P. (dinas/seg/cm}^5\text{)}$$

$$(E) \frac{\text{P.m. en Art. Sistémica}}{\text{Débito cardíaco (cc./seg.)}} \times 1,332 = \text{R.S.T. (dinas/seg/cm}^5\text{)}$$

---

\* P.m. = Presión media en mm. Hg.

$$(F) \frac{(\text{Ind. cardíaco} \times 1.055) \quad (\text{P.m.} \quad \text{P.m.}) \quad 13.6}{(\text{L./min./n}^2) \quad \text{Art. Pulm.} - \text{Aurícula Der.}} = \text{T.V.D.}$$

$$1,000 \quad (\text{Kgm./min./m}^2)$$

$$(G) \frac{(\text{Ind. cardíaco} \times 1.055) \quad (\text{P.m.} - 5) \quad 13.6}{(\text{L./min./n}^2) \quad \text{Art. Sistémica}} = \text{T.V.I.}$$

$$(\text{Kgm./min./m}^2)$$

En los niños las resistencias pulmonares fueron corregidas para la superficie corporal, usando el índice cardíaco en lugar del débito cardíaco en las fórmulas (C) y (D).

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente y con el fin de apreciar el significado de las diferencias entre los valores medios obtenidos en la altura y al nivel del mar se aplicó el t-test de Fisher, y de las tablas para t se obtuvieron los valores de P, es decir, la probabilidad de que las diferencias fueran debidas al azar (18).

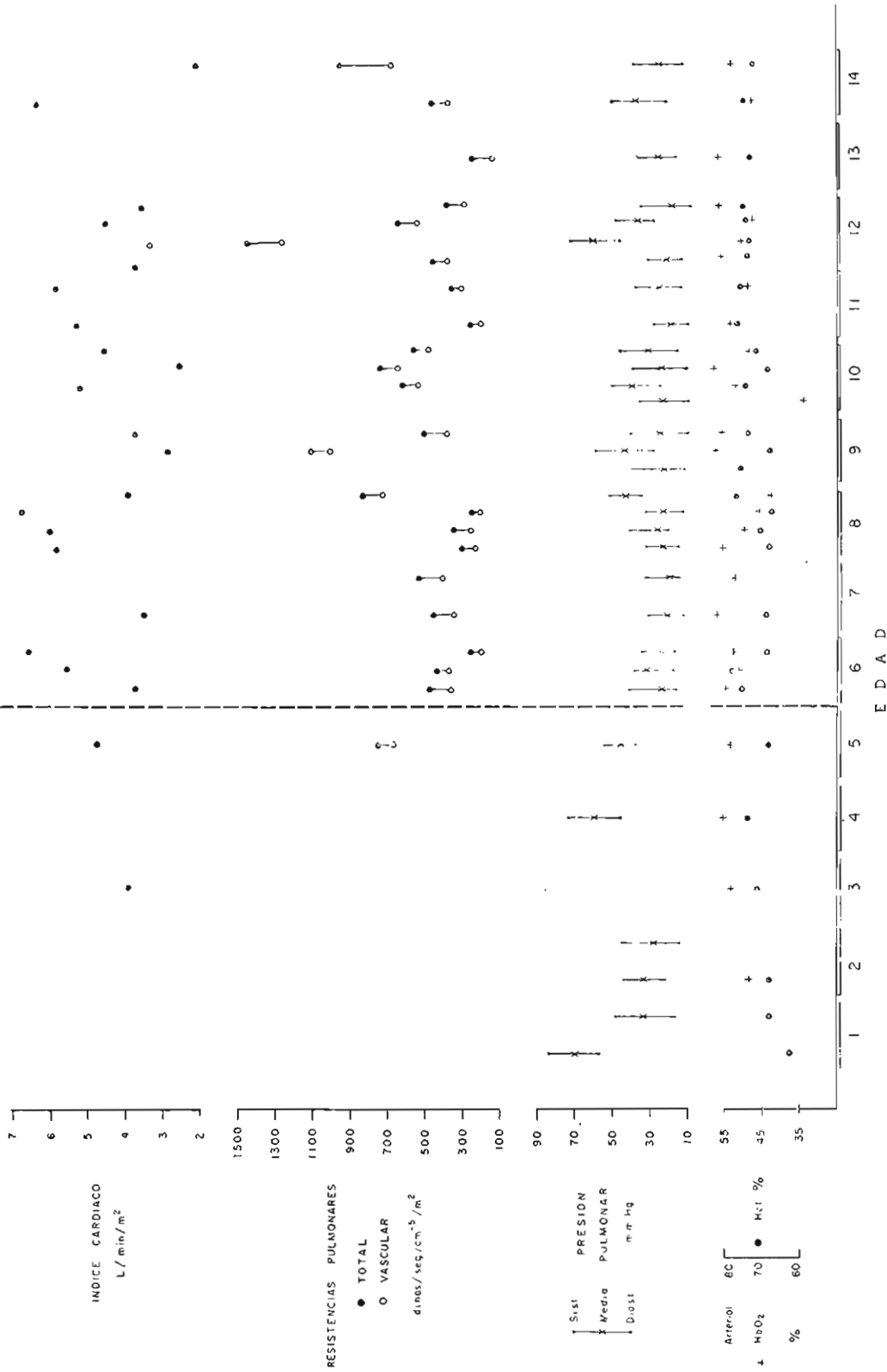
## RESULTADOS

Los datos obtenidos aparecen en las Tablas II, III, IV y la Fig. I. Las comparaciones en las Tablas I y V.

*Estudio Clínico.*— El examen físico y el estudio radiográfico del tórax no mostraron anomalías tanto en los sujetos del nivel del mar como en los residentes de las grandes alturas. En contraste con los habitantes del nivel del mar, los nativos de la altura mostraban rubicundez de la piel, tórax amplio, estatura algo disminuída y menor superficie corporal, características antropológicas que son peculiares a estos sujetos (19). La frecuencia cardíaca no mostró diferencias significativas entre los dos niveles estudiados. El electrocardiograma y el vectocardiograma mostraron los signos de preponderancia ventricular derecha que han sido descritos previamente (11, 12).

El valor medio de la HbO<sub>2</sub>% arterial en los adultos de la altura fue  $78.4 \pm 0.78\%$  en contraste con  $95.7 \pm 0.44\%$  obtenido a nivel del mar ( $p < 0.001$ ). Los niños de la altura mostraron valores semejantes a los observados en los adultos estudiados en el mismo nivel. En los adultos de la altura los valores medios de hemoglobina y hematocrito fueron  $19.5 \pm 0.31$  grs.% y  $59.1 \pm 1.18\%$  respectivamente en comparación con  $14.7 \pm 0.18$  grs.% ( $p < 0.001$ ) y  $44.1 \pm 0.55\%$  ( $p < 0.001$ ) obtenidos a nivel del mar. En los niños de la altura los valores obte-

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE ALGUNOS HALLAZGOS OBTENIDOS EN 32 NIÑOS DE LA ALTURA



nidos fueron más altos que los reportados por otros autores para grupos de edades semejantes estudiados a nivel del mar (20, 21).

*Estudio hemodinámico. Niños:* Con el fin de apreciar mejor los resultados, los niños fueron divididos en dos grupos de edad, de 1 a 5 años (Grupo A) y de 6 a 14 años (Grupo B), siguiendo la distribución usada por Peñaloza et al. en investigaciones electrocardiográficas y vectocardiográficas realizadas previamente en nuestro Laboratorio (11).

Los valores medios de las presiones sistólica, diastólica y media en la arteria pulmonar fueron  $58 \pm 6.9$ ,  $32 \pm 7.1$ ,  $45 \pm 6.7$  mm. Hg. para el grupo A, y  $41 \pm 2.0$ ,  $18 \pm 1.9$  y  $28 \pm 2.0$  mm. Hg. para el grupo B. Estos valores son definitivamente más altos para los reportados en niños mayores de 1 año residiendo a nivel del mar (22-24). El valor medio de presión sistólica en el grupo A es significativamente más alto que el obtenido en el grupo B ( $p < 0.01$ ) y es también mayor que el valor medio obtenido en los adultos de la altura ( $p < 0.01$ ). La presión sistólica en el ventrículo derecho mostró un valor medio de  $57 \pm 6.3$  mm. Hg. para el grupo A y  $44 \pm 2.1$  mm. Hg. para el grupo B. Ambos valores, particularmente el primero, son mayores que los observados en adultos estudiados en el mismo lugar, y definitivamente más altos que los reportados en niños mayores de 1 año residiendo a nivel del mar (22-24). La presión diastólica fue normal en tanto que la presión media mostró un incremento proporcional al observado en la presión sistólica. Algunas de las curvas de presión mostraban la morfología anácrota descrita por Shanahan et al. en casos de hipertensión arteriolar (25). Las presiones medias en el "territorio capilar pulmonar" y en la aurícula derecha fueron normales.

Los valores medios de la resistencia pulmonar total y de la resistencia vascular pulmonar, corregidas para la superficie corporal, fueron  $558 \pm 63.9$  dinas/seg./cm<sup>5</sup>/m<sup>2</sup> y  $459 \pm 57.0$  dinas/seg./cm<sup>5</sup>/m<sup>2</sup> respectivamente. Estos valores fueron obtenidos en los niños de 6 a 14 años; en el grupo de niños más jóvenes este cálculo sólo fue posible en un caso el cual mostró un valor más elevado. Estas cifras son; más altas que las reportadas por Rudolph y Cayler en niños normales del nivel del mar (24). Los valores medios del índice cardíaco fueron  $4.39 \pm 0.427$  Lt/min/m<sup>2</sup> para el grupo A y  $4.55 \pm 0.296$  Lt/min/m<sup>2</sup> para el grupo B; ambos valores caen dentro de los límites de normalidad señalados por Rudolph y Cayler (24). Finalmente el trabajo ventricular derecho se encontró aumentado, habiéndose obtenido un valor medio de  $1.83 \pm 0.160$  Kgm/min/m<sup>2</sup> en los niños de 6 a 14 años.

*Adultos*: Los valores medios de las presiones sistólica, diastólica y media en la arteria pulmonar fueron  $41 \pm 2.1$ ,  $15 \pm 1.2$  y  $28 \pm 1.7$  mm. Hg. en los habitantes de las grandes alturas y  $22 \pm 0.7$ ,  $6 \pm 0.5$  y  $12 \pm 0.4$  mm. Hg. en los residentes del nivel del mar; la diferencia entre las medias fue altamente significativa ( $p < 0.001$ ). Las cifras medias de las presiones sistólica, diastólica I y diastólica II y de la presión media en el ventrículo derecho fueron  $42 \pm 1.8$ ,  $3.5 \pm 0.31$ ,  $3.6 \pm 0.34$ , y  $18 \pm 0.7$  mm. Hg. en las grandes alturas en comparación con  $26 \pm 0.6$ ,  $1.6 \pm 0.14$ ,  $3.4 \pm 0.25$ , y  $9 \pm 0.3$  mm. Hg. obtenidas a nivel del mar; diferencias significativas fueron encontradas entre las medias de las presiones sistólicas y media ( $p < 0.001$ ). Los valores medios de las presiones medias en aurícula derecha y en "capilar pulmonar" fueron  $2.6 \pm 0.27$  y  $5.4 \pm 0.32$  mm. Hg. en la altura y  $2.6 \pm 0.26$  y  $6.2 \pm 0.34$  mm. Hg. a nivel del mar; las diferencias entre las medias no fueron estadísticamente significativas. Como en los niños, algunas de las curvas de presión presentaban morfología anácrota (25).

Los valores medios del índice cardíaco fueron:  $3.71 \pm 0.272$  y  $3.97 \pm 0.218$  Lt/min/m<sup>2</sup> en la altura y a nivel del mar respectivamente; la diferencia entre las medias no fue estadísticamente significativa; tampoco se encontraron diferencias significativas en el consumo de oxígeno y en la diferencia arterio-venosa. Las cifras medias de las resistencias pulmonares, total y vascular, fueron  $401 \pm 38.1$  y  $332 \pm 35.9$  dinas/seg/cm<sup>-5</sup> en los nativos de la altura en comparación con  $159 \pm 10.4$  y  $69 \pm 5.7$  dinas/seg/cm<sup>-5</sup> obtenidos a nivel del mar; las diferencias entre las medias fueron altamente significativas ( $p < 0.001$ ). El valor medio del trabajo ventricular derecho fue  $1.49 \pm 0.117$  y  $0.55 \pm 0.050$  Kgm/min/m<sup>2</sup> en la altura y a nivel del mar respectivamente; la diferencia entre las medias fue estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ).

Los valores medios de las presiones sistólica, diastólica y media en las circulación sistémica fueron  $118 \pm 1.4$ ,  $73 \pm 1.2$  y  $95 \pm 1.2$  mm. Hg. en los residentes de la altura en comparación con  $127 \pm 1.7$ ,  $70 \pm 1.3$  y  $94 \pm 1.6$  mm. Hg. obtenidos a nivel del mar; la diferencia entre las medias correspondientes a la presión sistólica fue estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ). La resistencia sistémica y el trabajo ventricular izquierdo mostraron valores semejantes a nivel del mar y en la altura.

## DISCUSION

1. *Acción de la hipoxia sobre el corazón y la circulación pulmonar.* Los efectos de la hipoxia aguda sobre el corazón y la circulación pulmonar han sido estudiados por numerosos investigadores tanto en

el animal como en el hombre (26-34), Taquicardia, hipertensión pulmonar e incremento del débito cardiaco constituyen la respuesta comúnmente observada en estos experimentos. El incremento del débito cardiaco por sí solo no parece jugar un rol importante en el mecanismo de la hipertensión pulmonar, la cual sería principalmente debida a un incremento de la resistencia vascular pulmonar por vasoconstricción precapilar inducida por la anoxia.

También han sido motivo de estudio los cambios ocurridos en el corazón y en la circulación pulmonar de animales y humanos, trasladados a las grandes alturas por períodos más o menos prolongados. En cobayos que permanecieron durante ocho semanas en cámaras de baja presión a una altitud simulada de 18,000 pies se ha demostrado el desarrollo de hipertrofia ventricular derecha (35). En bueyes trasladados a alturas de 10,000 y 12,700 pies durante algunas semanas o algunos meses, se ha reportado la presencia de hipertrofia ventricular derecha e hipertensión pulmonar, sin incremento del débito cardiaco; la administración de oxígeno a estos animales redujo en forma parcial el grado de hipertensión pulmonar de lo cual se infirió la existencia de vasoconstricción y probables cambios estructurales de la vasculatura pulmonar (36-38). En sujetos del nivel del mar después de un año de residencia a 14,900 pies ( 4,540 metros), Rotta y Col. observaron cifras de presión pulmonar algo mayores que las encontradas en un grupo de control estudiado a nivel del mar; en tanto que el débito cardiaco no mostró diferencias entre ambos grupos (13). Cambios progresivos en el electrocardiograma indicando probable desarrollo de hipertrofia ventricular derecha han sido reportados por Peñaloza y Echevarría en sujetos de la costa estudiados durante un año de residencia en grandes alturas (39). Taquicardia como respuesta a la hipoxia sólo ha sido observada en los primeros días del arribo a la altura (40).

En el hombre sano que nace y vive permanentemente en un ambiente de hipoxia crónica, el electrocardiograma y el vectocardiograma muestran evidencia de hipertrofia ventricular derecha (11, 12), y esto ha sido confirmado en diversos estudios necrópsicos (8, 9). Estudios de cateterismo cardiaco derecho han sido realizados anteriormente en algunos sujetos de la altura por Rotta et al. quienes encontraron hipertensión pulmonar de grado moderado, algo mayor que el observado en los sujetos con residencia transitoria en la altura (13). La hipertensión pulmonar fue interpretada por los autores como relacionada principalmente con la hipervolemia y la policitemia características de los habitantes de las grandes alturas. Los resultados obtenidos por



Estudio comparativo de valores de presiones en recién nacidos y en niños  
mm. Hg.

Autor	Edad	A. D.		Ventriculo Derecho		Arteria Pulmonar		P.C.P.		Arteria Sistémica	
		media	D (tele) me- dia	S	D	media	D	media	S	D	media
47	2—34 horas	-0.8	3	57	51	25	35	3.30			
24	Recién Nacido	0— 3'	1— 5'	35— 65'	35— 65'	20— 40'	25— 40'				
46	2—11 días				49	24	35				
45	7—14 días			35	34						
23	Niños	4	4	22	21	10	7				
24	Niños	1— 5'	2— 5'	15— 30'	15— 30'	5— 10'	10— 20'	5— 12'	90— 130'	60— 90'	70— 95'
22	2½—19 años	3	4	23	19	8	13	7			
	1—5 años	2.8	4	57	58	32	45	6.7	85	60	75
Nos.	6—14 años	1.8	3	44	41	18	28	4.9	94	67	82

x Ver referencias.

o Presión media en aurícula izquierda.

, Límites de normalidad según los autores.

TABLA I

Nº	EDAD AÑOS	S C m 2	Hc1 %	Hb g/dl	Hb02 ARTER %	P R E S I O N E S mm Hg.								RESISTENCIAS PULMONARES $\frac{6 \text{ mbs/seg}}{\text{cm}^2} / \text{m}^2$	TRABAJO VENTRICULAR $\frac{\text{cc/seg}}{\text{cm}^2}$	CONSUMO S.V.O.D. $\frac{\text{cc}}{\text{min}}$	DIFERENCIA de O2 $\frac{\text{VOL}}{\%}$	DEBITO CARDIACO $\frac{\text{L}}{\text{min}}$	INDICE CARDIACO $\frac{\text{L}}{\text{min}/\text{m}^2}$
						A D	VENTRICULO DERECHO			ARTER PULMONAR			ART SISTEMICA						
		M	S	D	O <sub>2</sub>	M	S	D	M	S	D	M	S	D	M	R. P. T	R. V. P.		
1	1		0.37	375		5	85	+ 8	95	85	57	70	90	55	88				
2	1		4.32			2	60	+ 2	28	-4	16	34	6						
3	2		4.35	13.3	74.3	2	40	0	+ 2	20	44	22	34	9	77	55	65		
4	2					5	52	0	+ 4	26	45	14	28	8				4.05	
5	3		0.52	466	145	789	3	38		20								3.97	
6	4		0.54	490	138	807	1	72	+ 3	36	74	46	60	75	50	60		5.14	
7	5		0.51	440	148	791	2	54	- 4	+ 6	30	54	38	46	4	102	77	90	4.74
MEDIA		4.0	0.48	439	141	782	2.8	57	2.2	4.0	30	58	32	45	67	85	60	74	4.39
4 C.S.		1-5	0.48	158	0.33	138	0.59	63	2.46	1.15	4.5	6.9	71	67	1.10	48	48	5.6	0.434
4 D.S			0.058	3.87	0.66	276	1.57	16.8	4.82	2.00	12.0	17.1	17.5	16.6	2.21	10.8	10.7	12.6	0.614

8	6	0.70	5.02	168	801	2	43	- 2	+ 5	18	41	16	24	6	95	67	80	49.6	1.22	1.39	5.13	2.71	3.87	
9	6	0.84	5.70	162	776	1	98	- 3	+ 6	29	98	18	32	5	95	65	80	49.4	3.83	2.50	3.22	3.60	5.33	
10	6	0.79	4.40	150	787	4	39	- 3	+ 4	19	34	18	23	6	90	70	87	27.9	2.07	1.79	3.38	5.18	6.88	
11	7	0.83	4.42	145	839	3	32	- 3	+ 3	16	32	12	22	6	87	67	80	48.9	3.56	4.08	5.51	2.97	3.59	
12	7	0.79		165	778	3	38	- 2	+ 3	15	33	15	20	5	100	80	92	5.98	4.12	0.71	6.17			
13	8	0.81	4.33	147	810	2	35	- 3	+ 3	16	32	17	23	6	95	70	82	31.0	2.29	1.79	3.52	4.83	5.93	
14	8	0.83	4.60	152	757	1	48	- 5	+ 2	18	41	21	26	5	90	65	77	34.0	2.75	2.19	3.41	5.10	6.11	
15	8	0.76	4.30	146	714	0	36	- 3	+ 1	16	32	13	23	3	82	65	72	26.9	2.35	2.25	2.78	5.18	8.82	
16	8	0.86	5.32	184	872	4	52	0	+ 2	32	52	36	43	6	85	70	82	8.59	7.58	2.21	4.58	3.65	4.00	
17	9	0.85	5.15			1	44	- 12	+ 4	14	42	11	25	4	122	82	113			146				
18	9	0.85	4.35	145	841	1	64	+ 4	+ 4	32	60	28	44	6	125	95	108	117.9	10.19	1.84	5.25	2.55	2.98	
19	9	0.84	4.90	150	818	0	42	- 3	+ 2	22	41	10	25		85	65	72	51.9	3.94	1.38	5.42	3.23	3.85	
20	10	0.88		155	593	1	46	- 5	+ 2	18	36	10	23	4	87	60	77			186				
21	10	1.00	4.90	156	777	2	50	- 4	+ 3	19	50	33	41		73	55	67	62.4	5.33	3.09	4.41	5.26	5.25	
22	10	0.85	4.31	148	842	1	44	- 6	+ 2	18	39	10	24	3	97	65	88	73.8	6.43	0.86	4.15	2.22	2.61	
23	10	0.84	4.70	152	744	-1	46	- 4	0	20	46	16	32	3	95	65	82	54.8	4.87	2.01	4.86	3.91	4.66	
24	11	0.92	5.20	164	783	1	29	- 2	+ 1	12	29	10	18	4	90	60	75	26.9	2.09	1.31	3.74	4.82	5.35	
25	11	1.08	5.10	165	741	3	43	- 5	+ 1	18	38	13	26	3	75	55	70	33.6	3.15	2.01	2.86	6.40	5.93	
26	12	1.03	4.90	153	916	1	36	- 3	+ 2	15	32	13	22	3				45.0	3.98	1.15	5.19	3.95	3.82	
27	12	0.92	4.65	161	760	2	60	0	+ 2	35	72	48	62		100	68	82	148.4	12.99	2.81	4.55	3.08	3.39	
28	12	0.99	4.92	168	732	4	52	- 2	+ 7	29	48	28	36	5	95	80	90	62.1	5.35	2.13	2.97	4.58	4.64	
29	12	1.07	5.00	162	822	0	36	- 3	+ 1	14	34	8	18	5	95	55	75	39.1	2.82	0.95	4.46	3.95	3.68	
30	13	1.18	4.85	158	822	2	40	0	0	19	35	16	25	8	- 95	70	80	22.4	15.3	2.93	4.66	4.58	4.64	
31	14	1.17	5.00	163	738	4	50	- 2	+ 4	26	50	22	38		100	77	90	47.1	3.97	3.14	3.25	7.54	6.43	
32	14	1.42	4.80	136	791	4	39	- 1	+ 3	19	37	12	26	7	120	65	97	95.1	6.95	0.69	3.31	3.09	2.19	
MEDIA		8.1	4.80	157	773	1.8	44	- 2.8	2.7	20	41	18	28	5.0	94	67	83	55.8	4.95	1.83	4.18	4.09	4.55	
# 5			0.033	0.67	0.21	117	0.29	21	0.56	0.33	12	2.0	1.9	2.0	0.21	2.6	21	2.2	63.9	0.160	7.3	0.212	0.291	0.296
# D.S.			0.170	3.25	1.07	576	1.46	10.5	2.80	1.62	6.4	10.0	9.6	10.2	10.0	12.8	10.2	11.1	306.8	27.37	0.770	0.995	1.365	1.592

S C = Superficie Corporal  
A D = Auricular Derecho  
D = Sistólica  
D = Diastólica  
M = Media  
P C P = Presión Capilar Pulmonar  
R P T = Resistencia Pulmonar Total  
R V P = Resistencia Vascular Pulmonar

DATOS HEMODINAMICOS OBTENIDOS EN 38 NATIVOS SANOS DE LAS GRANDES ALTURAS

Nº	EDAD AÑOS	FREC CARD	S C m <sup>2</sup>	HEI %	HB 94% garter	MDP <sub>2</sub> %	P R E S T A C I O N E S		ART PULMONAR				ART SISTEMA		RESISTENCIA PULMONAR TOTAL	RESISTENCIA SISTEMICA TOTAL	TRABAJO HEARTWORK	TRABAJO VENTRICULAR	CONS O <sub>2</sub> S.T.P.D c.c./min	DIFERENCIA DE O <sub>2</sub> vol %	DEBITO CARDIACO l./min	INDICE CARDIACO l./m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>			
							M S	D <sub>1/2</sub>	A D	VENTR	DERECHO	ART	PULMONAR	P.C.P									M	S	D
1	18	75	160	568	205	805	6	41	-2/5	19	40	11	24	8	135	85	105	0.78	4.35	221	4.56	4.85	3.03		
2	2	68	143	598	189	835	5	44	-6/2	18	44	7	23	6	100	65	80	0.55	3.79	224	4.27	6.54	4.36		
3	25	60	159	780	228	862	3	42	-3/6	23	50	21	32	6	125	73	105	1.30	4.47	209	4.27	4.95	3.12		
4	23	75	153	730	236	666	1	70	3/0	23	30	32	50	4	169	93	92	1.95	5.54	179	1.89	4.13	2.84		
5	22	100	151	580	179	722	3	46	-6/2	15	48	20	34	5	105	75	87	2.10	5.57	252	3.51	7.17	4.74		
6	27	62	158	640	203	840	6	37	0/75	18	35	10	18	6	122	75	95								
7	26	65	155	210	870		3	40	-6/2	17	46	8	26	5	125	75	100	1.68	6.94	277	3.51	7.69	309		
8	18	83	146	640	181	826	3	49	-6/4	16	72	34	56	8	132	82	105	2.41	2.99	138	4.47	3.99	209		
9	18	85	147	532	178	733	2	43	-6/0	16	60	32	45	2	121	79	88	1.53	2.99	138	4.47	3.99	209		
10	22	53	159	544	180	804	4	40	-3/4	17	47	20	34	4	111	66	90	0.90	3.68	248	4.13	6.48	4.82		
11	23	83	145	576	190	818	4	40	-2/2	13	21	6	15	8	112	74	88	0.63	4.58	264	4.64	6.64	4.18		
12	25	75	161	673	221	813	3	35	-3/3	15	36	14	26	6	107	71	93	1.03	5.95	217	4.30	5.04	3.93		
13	27	88	146	632	212	813	3	76	-6/5	13	84	32	62	8	126	74	98	1.10	4.10	285	4.10	6.96	4.77		
14	21	80	143	774	243	740	3	47	-5/5	19	47	21	31	5	125	74	97	2.52	8.28	321	3.58	8.97	6.27		
15	35	60	163	598	198	718	2	42	-5/3	15	38	5	25	2	117	75	94	1.11	4.31	254	4.61	5.50	3.58		
16	28	71	175	707	228	762	3	48	-6/3	20	36	15	29	5	106	69	88	0.92	3.32	250	4.13	4.33	3.29		
17	18	68	157	560	189	808	3	37	-1/7	18	33	14	23	9	104	76	94	0.83	3.65	233	5.17	0.83	4.51		
18	34	79	155	640	205	753	5	36	-1/0	18	36	11	24	8	119	85	94	1.59	4.95	273	4.54	6.01	3.89		
19	26	70	160	544	180	734	2	44	0/0	18	44	10	30	6	133	81	99	3.29	1.83	283	3.89	7.28	4.55		
20	22	88	153	559	197	831	4	28	-1/2	11	21	8	13	6	120	80	110	1.17	1.60	250	4.57	5.47	3.57		
21	19	88	149	503	174	765	1	37	-3/5	16	37	12	27	8	122	75	94	3.55	2.50	285	4.69	6.08	4.08		
22	20	75	161	581	186	756	1	34	-3/3	15	28	6	20	4	123	65	94	2.34	1.98	282	3.83	6.85	6.25		
23	22	71	160	578	189	806	2	35	-2/2	15	29	13	20	5	112	68	86	2.44	1.83	256	3.91	6.54	6.09		
24	18	53	161	488	157	812	2	35	-4/3	17	31	7	20	6	113	66	87	3.00	1.85	245	4.61	0.85	3.30		
25	24	74	143	584	196	831	1	40	-3/4	14	35	11	21	4	109	64	90	2.97	2.81	246	4.36	5.62	3.92		
26	23	62	149	529	177	743	5	53	-4/7	15	28	9	20	6	113	60	89	2.79	2.59	272	4.64	5.78	3.85		
27	23	72	168	571	193	790	5	39	-2/5	16	36	15	26	6	130	80	102	2.57	1.98	278	3.44	8.08	4.81		
28	19	76	156	540	178	832	0	55	-5/2	13	30	12	21	5	120	79	105	2.82	2.14	140	4.20	5.96	3.82		
29	21	47	147	500	167	806	3	38	-2/4	16	36	20	32	3	116	74	98	3.67	2.08	291	3.41	7.36	5.01		
30	21	57	151	564	198	801	1	34	-5/2	12	30	11	20	9	126	79	106								
31	23	55	144	508	169	829	0	37	-5/2	13	30	7	18	3	111	60	94	3.08	1.61	273	5.85	4.56	3.23		
32	20	60	151	583	223	770	3	42	-5/5	20	42	16	31	3	130	80	108	3.88	3.51	228	3.58	6.24	4.23		
33	20	48	172	588	193	720	2	60	-4/5	26	58	18	38	3	128	64	91	4.45	2.05	258	3.64	6.83	3.97		
34	19	52	155	520	174	788	1	46	-5/3	20	48	18	31	5	118	73	100	2.83	2.58	252	3.93	2.94	5.53		
35	20	53	150	564	195	729	0	55	-4/1	15	35	10	23	4	108	58	81	3.17	3.75	239	4.2	5.80	3.87		
36	20	53	150	543	178	771	2	42	-4/5	19	42	13	31	6	119	73	100	5.74	4.83	223	5.18	4.31	2.88		
37	18	50	164	367	191	795	3	34	0/6	15	32	11	24	5	109	64	85	3.13	2.61	165	4.33	6.12	3.73		
38	24	75	156	647	206	805	3	48	-4/3	22	48	20	36	3	121	84	102	4.17	1.89	259	3.75	6.90	4.82		
MEAN	22	68	156	591	193	794	2	42	3/2/6	18	41	15	28	5	120	76	95	4.01	3.32	247	4.14	6.11	3.71		
±S	0.6	1.9	0.010	1.16	0.31	0.78	0.27	1.8	0.10/0.04	0.7	21	12	17	0.32	1.4	1.2	1.2	3.61	0.117	0.198	5.4	0.096	0.208	0.272	
±D.S	3.8	11.8	0.076	2.20	1.97	4.81	1.69	11.0	1.87/2.07	4.7	13.4	7.6	10.5	1.96	8.8	7.3	7.7	22.86	212.6	352.3	0.706	1.194	3.27	0.584	1.634

S C = Superior Corporal  
 A D = Amílago Derecha  
 S. = Presión Sistólica  
 D = Diastólica  
 M = Medio  
 P.C.P. = Central Pulmonar

DATOS HEMODINAMICOS OBTENIDOS EN 25 ADULTOS NORMALES A NIVEL DEL MAR

Nº	EDAD AÑOS	FREC. CARD	S. C. m <sup>2</sup>	Hct. %	Hb g/100	HbO <sub>2</sub> ARTER %	P R E S I O N E S												RESISTENCIA PULMONAR TOTAL	RESISTENCIA VASCULAR PULMONAR	RESISTENCIA SISTEMICA TOTAL	TRABAJO VENTRICULAR DERECHO	TRABAJO VENTRICULAR IZQUIERDO	CONS. O <sub>2</sub> S.T.P.O cc/min	DIFERENCIA A - V DE O <sub>2</sub> vol %	DEBITO CARDIACO L/min/m <sup>2</sup>	INIDICE CARDIACO L/min/m <sup>2</sup>															
							VENTR. DERECHO		ART. PULMONAR		P.C.P		ART. SISTEMICA		RESISTENCIA PULMONAR TOTAL	RESISTENCIA VASCULAR PULMONAR	RESISTENCIA SISTEMICA TOTAL	TRABAJO VENTRICULAR DERECHO										TRABAJO VENTRICULAR IZQUIERDO	CONS. O <sub>2</sub> S.T.P.O cc/min	DIFERENCIA A - V DE O <sub>2</sub> vol %	DEBITO CARDIACO L/min	INIDICE CARDIACO L/min/m <sup>2</sup>										
							M	S	D	M	S	D	M	S																			D	M	S	D	M	S	D	M	S	D
							M	S	D	M	S	D	M	S																			D	M	S	D	M	S	D	M	S	D
2	20	74	177	45.5	149	91.6	1	28	-2/1	7	23	2	8	6	115	65	90	84	21	941	0.43	5.26	248	3.25	7.64	4.32																
3	21	75	172	40.6	137	92.8	2	24	-2/2	8	23	6	11	7	108	53	75	155	52	1359	0.48	5.37	283	4.58	6.17	3.74																
4	21	68	165	43.5	150	96.4	3	27	-3/2	9	22	4	12	7	135	75	105	164	63	1096	0.57	4.64	301	4.75	6.34	3.94																
5	20	54	165	43.3	143	97.8	4	22	-1/4	10	22	9	14	8	125	75	95	259	111	1758	0.38	3.40	173	4.01	4.32	2.83																
6	21	56	157	43.8	156	93.7	5	26	-1/4	9	21	6	14	8	135	75	103	180	77	1328	0.51	5.55	144	2.32	6.20	3.95																
7	21	75	158	44.5	142	96.1	4	22	-1/5	9	18	4	11	6	132	72	100																									
8	19	65	170	42.6	135	95.5	3	25	-2/5	8	21	4	10	4	120	60	85	83	41	703	0.57	6.51	246	2.55	9.66	5.67																
9	21	65	160	44.5	156	92.8	4	22	-1/4	10	21	5	13	9	130	80	100	225	69	1734	0.37	3.93	198	4.30	4.61	2.88																
10	21	63	160	45.2	145	95.0	1	23	-2/3	8	18	4	11	7	125	70	95	206	56	1776	0.38	3.45	222	5.20	4.27	2.67																
11	20	68	153	40.3	138	97.9	3	28	-2/5	9	22	4	12	7	135	65	87	176	59	1279	0.46	4.19	254	4.65	5.45	3.56																
12	21	65	159	42.6	146	95.4	5	30	-1/7	13	24	9	15	10	135	75	105	160	53	1121	0.88	6.76	281	3.76	7.49	4.71																
13	20	70	179	47.0	160	95.6	3	18	-2/2	7	16	5	9	4				116	84		0.30		253	4.09	6.19	3.46																
14	21	78	168	48.1	158	92.2	2	30	-3/2	9	28	6	15	6	140	75	105	155	83	1089	0.86	6.58	237	3.08	7.71	4.59																
15	19	78	159	45.0	150	94.8	0	28	-3/2	8	18	3	10	4	130	75	100	112	67	1116	0.65	6.14	242	3.38	7.16	4.50																
16	17	75	150	42.9	145	97.4	3	30	-1/4	13	29	8	17	6	120	67	95	136	88	761	1.34	6.59	267	2.68	9.97	6.65																
17	21	56	163	48.5	167	94.9	2	26	-1/3	9	18	5	10	8	125	60	85	114	23	972	0.49	4.91	276	3.95	6.99	4.28																
18	22	54	157	45.0	150	96.6	1	24	-1/3	7	17	5	10	4	125	75	100	128	64	1281	0.51	5.40	339	5.44	6.24	3.96																
19	23	88	159	42.9	139	98.0	3	26	-1/3	9	20	11	5	5	125	70	90	152	83	1244	0.42	4.42	256	4.47	5.78	3.63																
20	21	78	160	47.0	139	98.2	1	26	-2/4	10	18	6	12	5	135	75	100	154	90	1280	0.82	5.32	237	3.80	6.24	3.90																
21	23	60	173	39.6	145	95.9	2	35	-1/4	12	27	10	15	6	145	75	100	199	93	1329	0.85	4.74	271	4.50	6.02	3.48																
22	22	63	154				1	23	-2/5	7	21	7	9	4	120	70	95																									
23	21	75	161	40.0	137	95.1	3	25	-1/4	10	25	8	13	6	125	65	90	221	119	1533	0.42	3.55	247	5.27	4.69	2.91																
24	21	65	150				4	25	-1/4	11	25	12	15	4																												
25	19	75	157				3	25	-1/4	10	23	7	12	6	120	70	90																									
Medio			161	44.1	147	95.7	2.6	26	-1.6/3.4	9	22	6	12	6.2	127	70	94	159	69	1247	0.55	5.19	249	4.00	6.45	3.97																
±E.S			0.014	0.55	0.18	0.44	0.26	0.6	0.4/0.25	0.3	0.7	0.5	0.4	0.34	17	13	1.6	10.4	5.7	69.9	0.050	0.303	9.6	0.202	0.345	0.218																
L.O.S			0.076	2.59	0.88	2.07	1.31	3.4	0.70/1.25	1.5	3.4	2.3	2.2	1.71	84	64	78	46.9	25.3	304.7	0.225	1.322	42.9	0.305	1.544	0.976																

S.C = Superficie Corporal  
A.D = Auriculo Derecha  
A.S = Auriculo Sinistra  
D = Diastólica  
M = Medio  
P.C.P = Copilar Pulmonar

TABLA IV

CUADRO COMPARATIVO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LA ALTURA Y A NIVEL DEL MAR

	S C m <sup>2</sup>	Hc1 %	Hb grs %	HbO <sub>2</sub> ARTER %	FREC CARD	A D M	VENTR. DERECHO		ARTERIA PULMONAR		P.C.P		ARTERIA SISTEMICA			R.P.T.	R.V.P.	R.S.T.	T.V.D.	T.V.I.	INDICE CARDIACO L1/min/m <sup>2</sup>	
							S	D	M	S	D	M	S	D	M							
Medio	1.54	59.1	19.5	78.4	69	2.6	42	3.6	18	41	15	28	5.4	118	7.3	95	401	332	1298	1.49	5.09	3.71
± D.S.	0.076	7.20	1.97	4.81	11.8	1.69	11.0	2.07	4.7	13.4	7.6	10.5	1.96	8.8	7.3	7.7	228.6	212.6	352.3	0.706	1.194	1.636
Medio	1.61	44.1	14.7	95.7	68	2.6	26	3.4	9	22	6	12	6.2	127	70	94	159	69	1247	0.55	5.19	3.97
± D.S.	0.076	2.59	0.88	2.07	8.7	1.31	3.4	1.25	1.5	3.4	2.3	2.2	1.71	8.4	6.4	7.8	46.9	25.3	304.7	0.225	1.322	0.976
p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.80	>0.90	<0.001	<0.60	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.10	<0.001	<0.20	>0.90	<0.001	<0.001	<0.60	<0.001	<0.80	<0.60

ALTURA

NIVEL DEL MAR

A D = Aurícula Derecha  
P.C.P = Presión Capilar Pulmonar  
R.P.T = Resistencia Pulmonar Total  
R.V.P = " Vascular Pulmonar  
R.S.T = " Sistémica Total  
T.V.D = Trabajo Ventricular Derecho  
T.V.I = " Izquierdo  
Id = Medio

dlmas/seg/cm<sup>-5</sup>  
dlmas/seg/cm<sup>-5</sup>  
dlmas/seg/cm<sup>-5</sup>  
lgrm./min/m<sup>2</sup>  
lgrm./m.n/m<sup>2</sup>

nosotros en esta investigación, confirman la existencia de moderada hipertensión pulmonar en el nativo adulto de las grandes alturas y demuestran que, un grado mayor de hipertensión pulmonar está presente en los niños, particularmente en aquellos menores de 5 años. Nuestros estudios aclaran también que el aumento de la resistencia pulmonar ocurre a nivel precapilar. La presión "capilar pulmonar", el débito cardíaco y la frecuencia cardíaca no mostraron diferencias significativas en relación con el grupo de control estudiado a nivel del mar.

La discusión anterior significa que, al estudiar los efectos de la hipoxia sobre el corazón y la circulación pulmonar, es importante tener en cuenta no solamente el grado de hipoxia, sino también el tiempo de exposición a la misma. En la hipoxia aguda ocurre taquicardia, incremento del débito cardíaco e hipertensión pulmonar, la cual parece fundamentalmente relacionada con vasoconstricción y estos efectos desaparecen tan rápidamente como cesa la hipoxia. En los sujetos trasladados temporalmente a un ambiente con baja presión de  $O_2$  la taquicardia se observa solamente en los primeros días, no existe incremento del débito cardíaco y la hipertensión pulmonar es debida en parte a vasoconstrucción y en parte, a cambios anatómicos que tienen lugar en el territorio arteriolar pulmonar. Finalmente, en el hombre que nace y vive permanentemente en un ambiente de hipoxia crónica no existe incremento de la frecuencia cardíaca ni del débito cardíaco, y la hipertensión pulmonar es principalmente debida a los cambios estructurales de la vasculatura pulmonar.

2. *Cambios evolutivos con la edad en el corazón y en la circulación pulmonar.* La presencia de hipertensión pulmonar en el habitante de las grandes alturas, concuerda con el hallazgo reportado por Arias Stella y col. de arteriolas pulmonares que muestran capa muscular, semejando en algo la estructura de la vasculatura pulmonar fetal; esta estructura evoluciona lentamente de tal modo que aún en edades avanzadas no se alcanza plenamente la estructura adulta (9). La hipertensión pulmonar explica también la presencia de hipertrofia ventricular derecha en el nativo de la altura, donde el índice de Herrmann y Wilson permanece por debajo de las cifras normales aún en el adulto, si bien el índice aumenta progresivamente con la edad (9). Los hallazgos anteriores son congruentes con los resultados de las investigaciones electrocardiográficas y vectocardiográficas que han demostrado la presencia de hipertrofia ventricular derecha, la cual disminuye lentamente con la edad (11, 12).

Las observaciones anteriores implican una definida diferencia con lo que acontece en el corazón y en la circulación pulmonar a nivel del mar. En efecto, es sabido que en el recién nacido se encuentra preponderancia anatómica y eléctrica del ventrículo derecho (41-44) al mismo tiempo que existe moderada hipertensión pulmonar (45-47) y estructura fetal de las pequeñas arterias y arteriolas pulmonares (48-50). Estas características evolucionan rápidamente a diferencia de lo que ocurre en las grandes alturas. Algunos días después del nacimiento, la presión en la arteria pulmonar muestra valores similares a los observados en el adulto (45-47), y entre el tercer y sexto mes de vida se instala definida preponderancia anatómica y eléctrica del ventrículo izquierdo (11, 41, 42, 44), al mismo tiempo que las pequeñas arterias y las arteriolas pulmonares adquieren su estructura adulta (48-50). De la comparación de los hechos observados en las grandes alturas y a nivel del mar, puede deducirse que en el habitante de las grandes alturas existe un retardo en la evolución de los fenómenos anatómico, hemodinámico y eléctrico relacionados con la circulación pulmonar.

3. *Problema mecanismo de la hipertensión pulmonar en las grandes alturas.* Nuestro hallazgos indican que la hipertensión pulmonar observada en el habitante de las grandes alturas está en relación con un incremento de la resistencia vascular pulmonar, desde que el débito cardíaco y la presión "capilar pulmonar" muestran valores normales. El incremento de la resistencia vascular pulmonar está aparentemente determinado por las modificaciones que han sido descritas en las arteriolas pulmonares (9). La hipervolemia y la policitemia, parecen tener un rol secundario como factores determinantes de la hipertensión pulmonar en el nativo de la altura; y en apoyo de esta hipótesis existen algunas observaciones. Cuando el residente de la altura es trasladado a nivel del mar por un período prolongado, la hipertensión pulmonar disminuye lentamente en tanto que la hipervolemia y la policitemia desaparecen en un tiempo relativamente corto (51). De otro lado, en pacientes con policitemia vera no se ha reportado la existencia de hipertensión pulmonar ni evidencia de hipertrofia ventricular derecha. La vasoconstricción arteriolar tampoco parece ser un factor importante en la hipertensión pulmonar del habitante de la altura, desde que la administración de acetil colina (51) y/o de oxígeno al 35 % ( $pO_2$  alveolar = 100 mm. Hg. (3, 51), no modifica significativamente la hipertensión de estos sujetos en condiciones de reposo.

4. *Rol de la hipertensión pulmonar en el proceso de aclimatación a las grandes alturas.*— No es claro el papel que juega la hipertensión pulmonar en el mecanismo de aclimatación del individuo que nace y vive en la grandes alturas. Aparentemente la hipertensión no desempeñaría finalidad útil alguna en el complejo mecanismo de aclimatación, y, más bien, podría suponerse que, en parte, es un fenómeno secundario a los mecanismos hematológicos de adaptación. Si se considera que la estructura vascular es el factor principalmente responsable de la hipertensión pulmonar, se plantea el interrogante de qué significado tiene la persistencia de tal estructura vascular en el mecanismo de aclimatación. Es posible que no exista relación entre ambos fenómenos y que el ambiente de hipoxia crónica, en el que viven estos sujetos desde el nacimiento, sea el responsable de que se mantenga dicha estructura vascular que normalmente desaparece en los primeros meses de vida. Que la hipoxia es capaz de determinar cambios anatómicos en los vasos pulmonares ha sido demostrado recientemente en bueyes que permanecieron algunas semanas a 12,700 pies de altura (38).

Grover y col. (38), piensan que la hipertensión pulmonar favorecería una perfusión más efectiva de todas las áreas pulmonares. La hipertensión pulmonar resultaría así un fenómeno complementario de la hiperventilación que ha sido reportada en el nativo de la altura y que tiene por finalidad elevar el  $pO_2$  alveolar y hacer más efectiva la ventilación de todas las áreas pulmonares (4). El efecto conjunto de la hipertensión pulmonar, hiperventilación y la existencia de un lecho capilar aumentado (8), determinaría un incremento del área efectiva de intercambio gaseoso, una reducción del gradiente de  $pO_2$  alveolo-arterial y, como consecuencia, un aumento de la oxigenación arterial. La reducción del gradiente del  $pO_2$  alveolo-arterial es un fenómeno señalado en el habitante de las grandes alturas (4), pero, el rol de la hipertensión pulmonar como factor de una perfusión más efectiva queda aún por ser demostrado.

5. *La hipertensión pulmonar de la altura y su relación con la clínica.* La persistencia de hipertensión pulmonar desde el nacimiento en el habitante de las grandes alturas, recuerda en algo a la hipertensión pulmonar primaria, sin embargo, existen diferencias fundamentales entre ambas condiciones. En el habitante de la altura no existe evidencia clínica de enfermedad, los vasos pulmonares no muestran compromiso de la íntima, la hipertensión pulmonar es sólo moderada y disminuye progresivamente con la edad e igual ocurre con las mani-



festaciones electrocardiográficas y vectocardiográfica de hipertrofia ventricular derecha. Siguiendo al nacimiento, el habitante de la altura desarrolla y tiene un comportamiento general enteramente semejante al hombre que vive en la costa.

La hipertensión pulmonar observada en el habitante de las grandes alturas tiene probablemente relación con la mayor incidencia de conducto arterioso persistente que ha sido señalada por algunos autores en poblaciones situadas en grandes alturas (52, 53). Recientemente Marticorena et al (54), encontraron 0.74 % de conducto arterioso persistente en la población infantil de Cerro de Pasco a 4,330 metros sobre el nivel del mar, en comparación con 0.05 % que ha sido reportado en la población infantil de Lima, a nivel del mar (55). Es sabido que en el recién nacido existe hipertensión pulmonar y que el conducto arterioso permanece funcional. Estas condiciones desaparecen después de algunos días, pero pueden ser reproducidas si se administran mezclas gaseosas pobres en oxígeno (56, 57). La hipoxia crónica de las grandes alturas, condicionando el mantenimiento de moderada hipertensión pulmonar, favorecería en cierto modo la persistencia del conducto arterioso.

La existencia de hipertensión pulmonar en el habitante de las grandes alturas imprime características especiales en el cuadro clínico, electrocardiográfico y radiológico de diversas cardiopatías en estos sujetos (51). Es importante tener esto en mente al evaluar el diagnóstico, el pronóstico y la terapéutica del cardíaco en las grandes alturas.

## SUMARIO Y CONCLUSIONES

1. En el habitante de las grandes alturas se ha estudiado la fisiología de la circulación pulmonar, empleando la técnica del cateterismo cardíaco derecho. Se estudiaron 38 adultos entre 17 y 34 años de edad, y 32 niños entre 1 y 14 años de edad. Con fines comparativos fue realizado un estudio similar en 25 adultos del nivel del mar. Previamente a este estudio se realizó un examen físico, se tomaron radiografías del tórax, se obtuvieron datos hematológicos y se registraron electrocardiogramas y vectocardiogramas.

2. La investigación realizada, ha demostrado la existencia de moderada hipertensión pulmonar y un incremento también moderado en la resistencia vascular pulmonar y en el trabajo del ventrículo derecho. La frecuencia cardíaca, el débito cardíaco y la presión capilar no mos-

traron diferencias significativas con los datos obtenidos a nivel del mar. Estos hallazgos indican que los efectos de la hipoxia crónica sobre el corazón y la circulación pulmonar, no son enteramente comparables con las modificaciones que determina la hipoxia aguda ni con los cambios observados en los residentes temporales en las grandes alturas.

3. La hipertensión pulmonar es más acentuada en el niño que en el adulto. Esto es particularmente apreciable en los niños menores de 5 años, en los cuales la presión sistólica en la arteria pulmonar muestra valores comparables a los que han sido descritos a nivel del mar en los primeros días de la vida. La hipoxia crónica de las grandes alturas determina aparentemente un retardo en la evolución que normalmente ocurre en el régimen de presiones de la circulación pulmonar con el incremento de la edad.

4. El incremento de la resistencia vascular pulmonar está aparentemente determinado por los cambios estructurales que han sido descritos por otros autores en las arteriolas pulmonares. La influencia de factores funcionales tales como vasoconstricción arteriolar, hipervolemia y policitemia parecen tener un rol secundario como factores determinantes de la hipertensión pulmonar en el nativo de la altura.

5. La hipertensión pulmonar no desempeñaría aparentemente finalidad útil alguna en el complejo mecanismo de aclimatación a la vida en las grandes alturas. Es posible, sin embargo, que el efecto conjunto de varios fenómenos tales como hipertensión pulmonar, hiperventilación y un vasto lecho capilar pulmonar, determine un incremento del área efectiva de intercambio gaseoso, una reducción del gradiente de  $pO_2$  alveolo-arterial y, como consecuencia, un aumento de la oxigenación arterial.

6. La hipertensión pulmonar del habitante de las grandes alturas puede ser considerada en cierto modo como una forma de hipertensión pulmonar primaria; se señalan sin embargo diferencias fundamentales entre ambas condiciones. Se discute el rol que la hipertensión pulmonar puede jugar en la mayor incidencia de ductus arterioso persistente que ha sido reportada en las poblaciones situadas en las grandes alturas. La presencia de hipertensión pulmonar en el hombre de la altura, debe ser tenida en mente al evaluar el cuadro clínico del cardíaco en las grandes alturas.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Monge M., C.: Enfermedad de los Andes. Estudio fisiológico. Anales Fac. Med. Lima 11: 1, 1928.

2. Hurtado, A., Merino, C. and Delgado, E.: Influence of anoxemia on the hemopoietic activity. *Arch. Int. Med.* 75 : 284, 1945.
3. Hurtado, A. and Aste-Salazar, H.: Arterial blood gases and acid-base balance at sea level and at high altitudes. *J. of Appl. Physiol.* 1 : 304, 1948.
4. Hurtado, A., Velásquez, T., Reynafarje, C., Lozano, R., Chávez, R., Aste-Salazar, H., Reynafarje, B., Sánchez, C. and Muñoz, J.: Mechanisms of natural acclimatization. Studies on the native resident of Morococha, Peru, at an altitude of 14,900 feet, Report to the U. S. A. F. School of Aviation Medicine, 1956.
5. Reynafarje, C., Lozano, R. and Valdivieso, J.: The polycythemia of high altitudes: iron metabolism and related aspects. *Blood* 14. 433, 1959.
6. Reynafarje, B.: Estudios de química tisular en la hipoxia. Simposios y conferencias, XXI Congreso Internacional de Ciencias Fisiológicas, Buenos Aires, 1959.
7. Hurtado, A.: Some clinical aspects of life at high altitudes. *Annals of Int. Med.* 53 : 247, 1960.
8. Campos, J. and Iglesias, B.: Observaciones anatómo-patológicas en 49 personas normales nativas y residentes en la altura, (3,700 - 5,000 mts.), muertas en accidente. *Rev. latinoam. anat. patol.* 1 : 109, 1957.
9. Arias-Stella, J.: Modificaciones anatómicas del aparato cardiovascular en el hombre de la altura. III Congreso Latinoamericano de Anatomía Patológica. Medellín, Colombia, 1961.
10. Rotta, A.: Physiologic conditions of the heart in the natives of high altitudes. *Am. Heart J.* 33 : 669, 1947.
11. Peñaloza, O., Gamboa, R., Dyer, J., Echevarría, M. and Marticorena, E.: The influence of high altitudes on the electrical activity of the heart. I Electrocardiographic and Vectorcardiographic observations in the newborn, infants and children. *Am. Heart J.* 59 : 111, 1960.
12. Peñaloza, D., Gamboa, R., Marticorena, R., Echevarría, M., Dyer, J. and Gutiérrez, E.: The influence of high altitudes on the electrical activity of the heart. Electrocardiographic and vectorcardiographic observations in adolescence and adulthood. *Am. heart J.* 61 : 101, 1961.
13. Rotta, A., Cánepa, A., Hurtado, A., Velásquez, T. and Chávez, R.: Pulmonary circulation at sea level and at high altitudes. *J. of Appl. Physiol.* 9 : 328, 1956.
14. Cournand, A., and Ranges, H. A.: Catheterization of right auricle in man. *Proc. Soc. Exper. Biol. & Med.* 46 : 462, 1951.
15. Cournand, A., Lauson, H. D., Blomfield, R. A., Bredt, E. S. and Baldwin, E. de F.: Recording of right heart pressures in man. *Proc. Exper. Biol. & Med.* 55 : 1, 1944.
16. Hellems, H. K., Haynes, F. W., Gowdey, J. F. and Dexter, L.: Pulmonary capillary pressure in man. *J. Clin. Investi.* 27 : 540, 1948.

17. Connolly, D. C., Kirklin, J. W. and Wood, E. H.: The relationship between pulmonary artery wedge pressure and left atrial pressure in man. *Circulation Res.* 2 : 434, 1954.
18. Fisher, R. A., and Yates, F.: *Statistical tables for biological, agricultural and medical research.* (Second Edition) London: Oliver & Boyd, Ltd., 1943.
19. Hurtado, A.: Respiratory adaptation in the Andean natives of the Peruvian Andes. Studies at high altitude. *Amer. J. of Physical Anthrop.* 17 : 137, 1932.
20. Hawkins, W. W. Speck, E., and Leonard, V. G.: Variation of the hemoglobin level with age and sex. *Blood* 9 : 999, 1954.
21. Wintrobe, M. M.: *Hematología Clínica*, p. 74. Buenos Aires, 1960. Inter-Médica.
22. Kjellberg, S. R., Manheimer, E., Rudhe, U. and Jonsson, B.: Diagnosis of congenital heart disease. Chicago, Year Book Publishers, Inc. 1959.
23. Keith, J. D., Rowe, R. D. and Vlad, P.: *Heart disease in infancy and childhood.* New York, Macmillan Co., 1958.
24. Rudolph, A. M. and Cayler, G. G.: Cardiac Catheterization in infants and children. *Pediat. Clinics of N. A.* 5 : 907, 1958.
25. Shanahan, R., Myers, G. S., Del Campo, E., Friedlich, A. I. and Scannell, G.: Right ventricular pressure curves in congenital and acquired heart disease. *Brit. Heart J.* 22 : 457, 1960.
26. Beyne, J.: Influence de l'anoxemia sur la grande circulation pulmonaire. *Compt. rend. Soc. Biol.* 136 : 399, 1942.
27. Von Euler, U. S. and Liljestrand, G.: Observations on the pulmonary arterial blood pressure in the cat. *Acta Physiol. Scandinav.* 12 : 301, 1946.
28. Logaras, G.: Further studies of the pulmonary arterial blood pressure. *Acta Med. Scandinav.* 14 : 120, 1947.
29. Aviado, D. M., Cerletti, A., Alanis, J., Bulle, P. H. and Schmidt, C. F.: Effects of anoxia on pressure, resistance and blood (P32) volume of pulmonary vessels. *Am. J. Physiol.* 169 : 460, 1952.
30. Motley, H. L., Cournand, A., Weiko, L., Himmelstein, A., and Dresdale, D.: The influence of short periods of induced acute anoxia upon pulmonary artery pressures in man. *Am. J. Physiol.* 150 : 315, 1947.
31. Westcott, R. N., Fowler, N. O., Scott, R. C., Hauenstein, V. D. and McGuire, J.: Anoxia and human pulmonary vascular resistance. *J. Clin. Invest.* 30 : 957, 1951.
32. Fishman, A. P., McClement, J., Himmelstein, A. and Cournand, A.: Effects of acute anoxia on the circulation and respiration in patients with chronic pulmonary disease studied during "steady state". *J. Clin. Invest.* 31 : 770, 1952.
33. Doyle, J. T., Wilson, J. S., Warren, J. V.: The pulmonary vascular responses to short-term hypoxia in human subjects. *Circulation* 5 : 263, 1952.

34. Fishman, A. P., Fritts, H. W. and Cournand, A.: Effects of acute hypoxia and exercise on the pulmonary circulation. *Circulation* 22: 204, 1960.
35. Valdivia, E.: Right ventricular hypertrophy in Guinea pigs exposed to simulated high altitude. *Circulation Res.* 6: 612, 1957.
36. Alexander, A. F., Will, D. H., Grover, R. F. and Reeves, J. T.: Pulmonary hypertension and right ventricular hypertrophy in cattle at high altitude. *Am. J. Vet. Res.* 21: 199, 1960.
37. Will, D. H., Alexander, A. F., Reeves, J. T. and Grover, R. F.: High altitude induced pulmonary hypertension in normal cattle. *Circulation Res.* (In press).
38. Grover, R. F., Reeves, J. T., Will, D. H., and Blount, S. J.: Pulmonary vasoconstriction in steers at high altitude. (To be published).
39. Peñaloza, D., and Echevarría, M.: Electrocardiographic observations on ten subjects at sea level and during one year of residence at high altitudes. *Am. Heart J.* 54: 811, 1957.
40. Peñaloza, D., Echevarría, M., Marticorena, E., and Gamboa, R.: Early electrocardiographic changes produced by ascending to high altitudes. *Am. Heart J.* 56: 493, 1958.
41. Keen, J. A.: A note on the closure of the Foramen Ovale and the post-natal changes of the ventricles in the human heart. *J. Anat.* 77: 104, 1942.
42. Emery, J. L. and Mithal, A.: Weights of cardiac ventricles at and after birth. *Brit. Heart J.* 23: 313, 1961.
43. Schaffer, A. I., and Beinfeld, W. H.: The vectorcardiogram of the newborn infant. *Am. Heart J.* 44: 89, 1952.
44. Rosen, I. L. and Gardberg, M.: The electrocardiogram and vectorcardiogram of the normal infant. *Dis. Chest* 32: 493, 1957.
45. Adams, F. H., and Lind, J.: Physiological studies on the cardiovascular states of normal newborn infants (With special reference to the ductus arteriosus). *Pediatrics* 19: 431, 1957.
46. Rowe, R. D., and James, L. S.: The normal pulmonary arterial pressures during the first year of life. *J. Pediat.* 51: 1, 1957.
47. Rudolph, A. M., Drorbaugh, J. E., Auld, P. A. M., Rudolph, A. M., Nadas, A. S., Smith, C. A. and Hubbell, J. P.: Studies on the circulation in the neonatal period. The circulation in the respiratory distress syndrome. *Pediatrics* 27: 551, 1961.
48. Civin, W. H., and Edwards, J. E.: Postnatal structural changes in intrapulmonary arteries and arterioles. *A. M. A. Arch. Path.* 51: 192, 1951.
49. Damman, F. F., and Ferencz, C.: The significance of the pulmonary vascular bed in congenital heart disease, I. Normal Lungs. II. Malformations of the heart in which there is pulmonary stenosis. *Am. Heart J.* 52: 7, 1956.
50. Rosen, L., Bowden, D. H., and Uchida, I.: Structural changes in pulmonary arteries in first year of life. *A. M. A. Arch. Path.* 63: 316, 1957.
51. Peñaloza, D. y col.: Observaciones no publicadas.
52. Chávez, I., Espino-Vela, J., Limon, R. and Dorbecker, N.: La persisten-

cia del conducto arterial. Estudio de 200 casos. Arch. Inst. Cardiol. México 23 : 687, 1953.

53. Alzamora, V., Rotta, A., Battilana, G., Abugattas, R., Rubio, C., Bou-roncle, J., Zapata, C., Santa-María, E., Binder, T., Subiria, R., Paredes, D., Pando, B. and Graham, G. : On the possible influence of great altitudes on the determination of certain cardiovascular anomalies. Pediatrics 12 : 259. 1953.
54. Marticorena, E. y col. : Incidencia del ductus arterioso en el niño de las grandes alturas. (Para publicarse).
55. Rossina, H. : Observaciones no publicadas.
56. Eldridge, F. L., and Hultgren, H. N. : The physiologic closure of the Ductus Arteriosus in the newborn infant. J. Clin. Invest. 34 : 987, 1955.
57. James, L. S., and Rowe, R. D. : The pattern of response of pulmonary and systemic arterial pressures in newborn and older infant to short period of hypoxia. J. Pediat 51 : 5, 1957.