

# CIRCULACION PULMONAR EN GRANDES ALTURAS

Dr. Gerardo Antezana A.

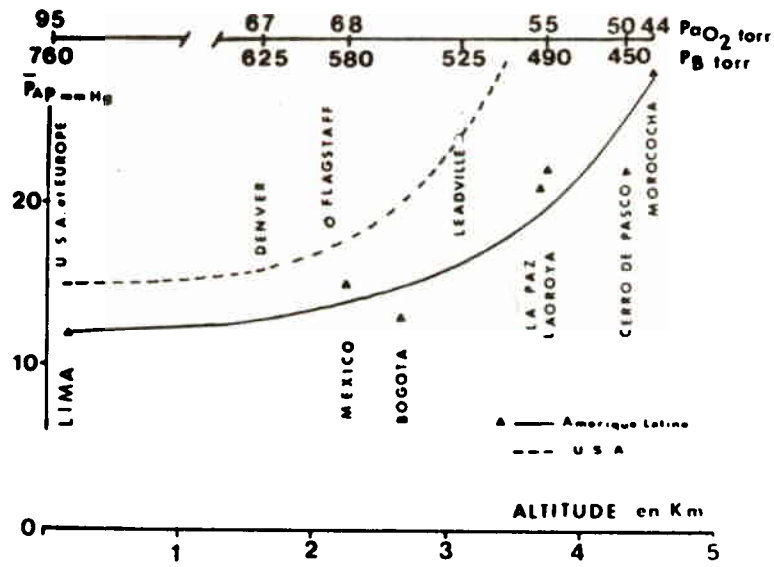
La circulación general lleva a todos los tejidos los nutrientes necesarios para la mantención de la vida, en cambio el sistema arterial pulmonar está destinado a jugar un papel importante en el llamado "intercambio gaseoso", mediante el cual el oxígeno del aire atmosférico llega hasta al alveolo pulmonar y atraviesa la membrana alveolo-capilar por un proceso de difusión hasta incorporarse al glóbulo rojo o hematie, donde se une al fierro y una globina para formar la oxihemoglobina molécula trascendente en el proceso de la respiración tisular.

Las variaciones de este proceso dependen de una normal función cardiorespiratoria, la que a su vez esta relacionada al nivel de altura, la presión barométrica (PB) y la presión del oxígeno inspirado (PIO<sub>2</sub>). La gráfica 1 resume la interpretación de las variables usadas. En la abscisa superior se observa una relación linear entre la PB y la PIO<sub>2</sub> (en mm de Hg o unidades Torr) y que el nivel de la presión arterial pulmonar (PAP mm Hg) mantiene una relación de funcionalidad.

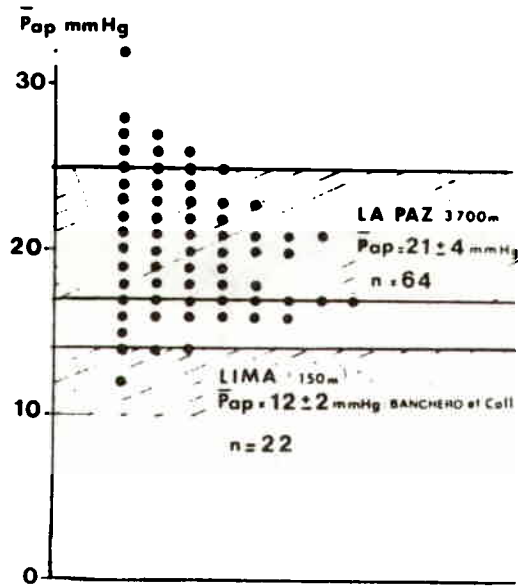
La composición porcentual del aire atmosférico no cambia con el nivel de altitud, pero lo que se modifica sustancialmente con los cambios de nivel es la presión de los gases en general y particularmente el del oxígeno.

La presión arterial en general es una fuerza dinámica de perfusión tisular, pero que a nivel pulmonar es donde actuan estímulos importantes que regulan los cambios de la musculatura del lecho vascular pulmonar.

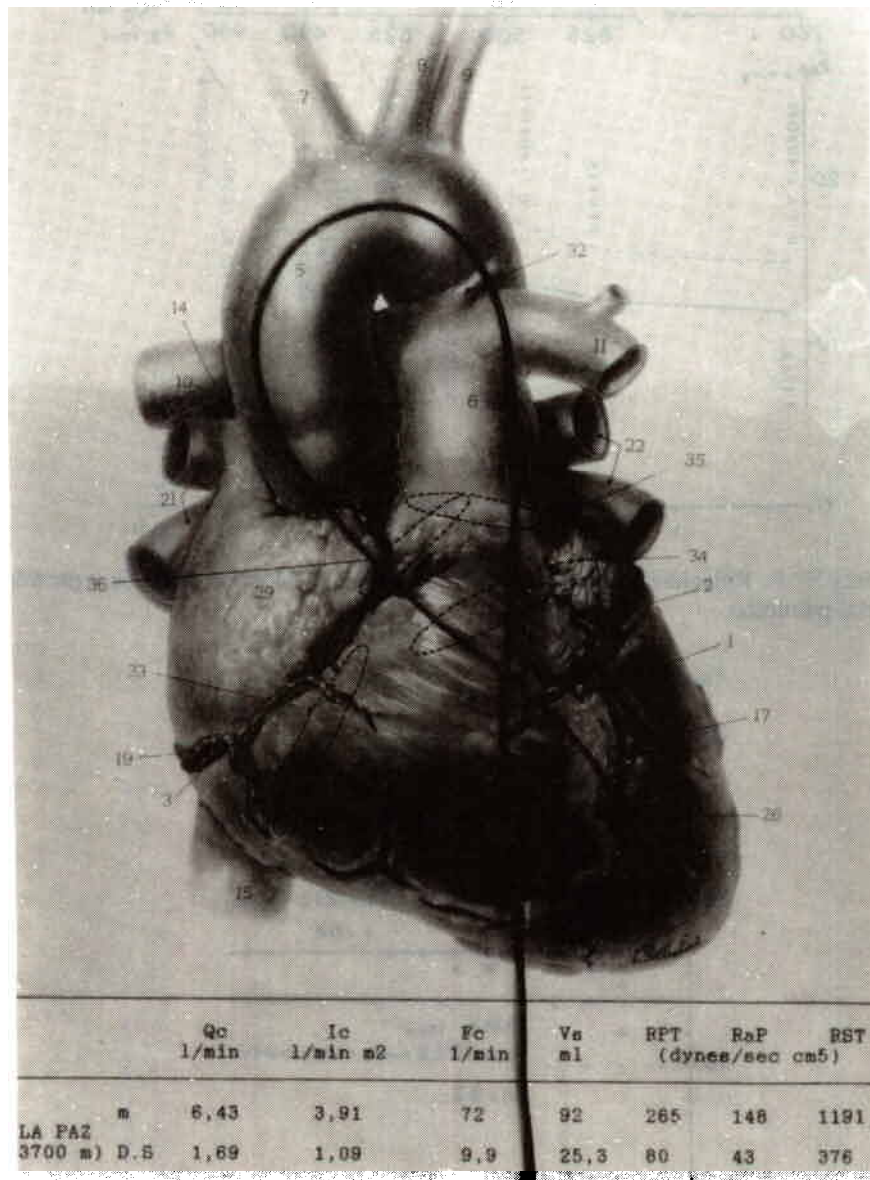
Por tanto parece justificado el interés que hayan mostrado varios investigadores extranjeros y bolivianos para estudiar los parámetros cardiorespiratoios del hombre andino.



Gráfica N° 1. Relación de variables, nivel de altura, presión barométrica y presión arterial pulmonar.



Gráfica N° 2.- Rango de presiones arteriales pulmonares a 3.700 m. La Paz y a 150 m. sobre el nivel del mar Lima. La Pap expresa la presión media pulmonar.



"PARAMETROS HEMODINAMICOS"

El método fundamental de estas investigaciones se refieren a la utilización del cateterismo cardiaco derecho convencional, aunque en algunas oportunidades se implementó gestos de refinada tecnología como la utilización de curvas de dilución de colorantes, termodilución o desviaciones preferenciales del flujo pulmonar (bloqueo unilateral temporal de una de las ramas de la arteria pulmonar). Este informe tiene el propósito de comentar lo mas saliente de la circulación pulmonar. No se trata de un escrito formal pero desea expresar la experiencia lograda en nuestro laboratorio por amigos extranjeros y nuestros investigadores nacionales. Se comentará en forma puntual nuestros principales hallazgos y solo se tocan las diferencias más significativas con las del nivel del mar a fin de evitar muchas cifras que puedan confundir al lector, pero, para el que estuviere interesado de profundizar en nuestras inquietudes referimos a la bibliografía especializada que aparece al final. Nuestra población estudiada integra 70 sujetos de 3 series, el estudio se realizó en gente joven y sana de 24 años aproximadamente, en todos se realizó un estudio clínico, laboratorial, radioscópico y electrocardiográfico previo a fin de descartar enfermedad cardiopulmonar.

#### DATOS GENERALES (PROTOTIPO)

Nivel	m	Edad	Peso	Talla	S.C.	Htc	Hb
La Paz		años	Kg	m.	m2	%	g%
3.700.m.		23.6	60.2	1.63	1.65	48.8	16.5
		D.S. 4.8	6.7	0.06	0.11	4.1	2.6

S.C. superficie corporal, Htc= hematocrito Hb=Hemoglobina.

Los parámetros hematológicos están en rango normal para dicha altitud y se encuentra situados optimamente en la curva de relación entre la saturación arterial de oxígeno (SaO<sub>2</sub>) y hemoglobina (mencionada por Merino 1974)

#### TABLA II

##### PARAMETROS RESPIRATORIOS EN REPOSO

Nivel	m	PaO <sub>2</sub>	PaCO <sub>2</sub>	pH	SaO <sub>2</sub>	CaO <sub>2</sub>	A-V	SvO <sub>2</sub>
		Torr			%		volúmenes %	
La Paz		63	28	7.40	90.1	19.3	4.3	72
3.700								
		D.S. 7	4	---	4.38	2.12	0.9	5.5.

Pa.O<sub>2</sub>= presión parcial de oxígeno; Pa CO<sub>2</sub>= presión parcial de anhídrido carbónico; Sa O<sub>2</sub>= Saturación arterial de oxígeno; CaO<sub>2</sub>= Contenido arterial de oxígeno; A-V= diferencia arteriovenosa de oxígeno y SvO<sub>2</sub>= sangre venosa mezclada.

La tabla II muestra la performance respiratoria del habitante de La Paz, la misma que presenta una moderada hipoxemia en comparación al hombre del nivel del mar que tiene una PaO<sub>2</sub> 95 mm Hg y una SaO<sub>2</sub> de 95% .

Esta hipoxemia con rangos mínimos y máximos es compatible con un buen estado de salud.

**TABLA III**  
**PARAMETROS HEMODINAMICOS EN REPOSO**

Nivel	F.C. lat.min	Qc l/min-1	P.ad.	PAP mm de Hg	Pw	RVPT d.cm-5	RVST	PBV ml	
La Paz									
	3.700	67	7.2	5	21	9	240	1191	410
	D.S.	3	1.0	1.9	4.2	2.7	80	376	138

F.C.= frecuencia cardíaca; Qc.= gasto cardíaco; Pad=Presión media de la aurícula derecha; PAP= Presión media de la arteria pulmonar; Pw= Presión media de enclavamiento capilar; RVPT= Resistencias vasculares pulmonares totales; RVST = Resistencias vasculares sistemicas., PBV= Volumen de sangre pulmonar.

La tabla III muestra una elevación de la presión arterial pulmonar y de las resistencias al flujo pulmonar diferentes a las del nivel del mar que son del orden de 12 mm de Hg y de 160 dinas cm-5 respectivamente.

Aquí volvemos sucintamente a la gráfica 1 para remarcar la relación de la P.B y PAP, relación que parece ser un evento prefijado en la relación del hombre y de su habitat. Si las elevaciones de la presión arterial pulmonar estan en relación con la presión barométrica deben considerarse normales. Cudkowicz (1975) en nuestro medio, utilizó albumina marcada con Iodo 131, con objeto de conocer la perfusión de los vértices pulmonares en posición sentada y en bipedestación y comprobó que la precaria perfusión del vértice pulmonar en el hombre de la altura era similar al del nivel del mar, y que este hecho no serviría de modo alguno para observar desfavorablemente la hipertensión pulmonar normal de altura, ya que la regulación cardiorespiratoria, posee mecanismos que habilitan al hombre de altura para desarrollar una vida sana y hasta longeva.

*Consideraciones de hallazgos anatomicos en el lecho vascular del hombre de la altura.*

Arias Stella y Saldaña del Peru (1962-63) describieron en Cerro de Pasco a 4330 m. de altura los siguientes rasgos anatómicos:

- 1) el aspecto del ventriculo derecho no cambia hasta los ocho años,
- 2) la fragmentación de las fibras elasticas de la arteria pulmonar no se produce casi después del nacimiento y por tanto su riqueza en estas fibras la hace indistinguible de la existente en la aorta, contraste que es claramente visible a nivel del mar,
- 3) como rasgo importante es la observación de la muscularización de los vasos perifericos del arbol arterial pulmonar, lo que no acontece al nivel del mar después del primer año de vida y la muscularización de la media de la arterias llamadas "pulmonares", estos rasgos también se conocen como la persistencia de patron fetal; este fundamento parece lógico para explicar todos los cambios dinámicos que también fueron descritos en Cerro de Pasco pero que no se acomodan para el nivel de La Paz, como demostrara en nuestro medio Heath y col (1981) estudio realizado en 19 necropsias y en las cuales 16 mostraron como rasgo característico la extensión distal del músculo liso vascular en arterias pulmonares pequeñas, y solo en 3 casos hipertrofia de las arterias pulmonares. Son aceptables desde nuestro punto de vista, estos hechos, que a diferentes niveles de altura se observen mas o menos grados de muscularización. Wagenwoort y Wagenwoort (1977) consideran que la respuesta cardiopulmonar a la hipoxia es individual y que en todo caso debe considerarse la gran variabilidad del arbol pulmonar al extremo de que se describen un porcentaje de casos con vasculatura pulmonar perfectamente normal.

### *Ejercicio*

A fin de conocer la *performance* cardiorespiratoria realizamos los mismos estudios con una carga de trabajo moderada (W 75).

**TABLA IV**

**ESTUDIO CARDIOPULMONAR DURANTE EL EJERCICIO**

Nº	Condición	VE l min-1 BTPS	F.C. lat/min	V02 ml.min-1 STPD	Qc l.min-1	PAP mmHg	PaO2 mmHg
17	Control Reposo	11.4	76.8	302	7.0	21	63
17	Ejercicio	41.8	123.8	1082	11.9	32	56

La elevación de la ventilación pulmonar, la frecuencia cardiaca, consumo de oxígeno y gasto cardiaco, están en concordancia con la carga utilizada para la realización del ejercicio, todos los parámetros fueron estadísticamente significativos, la elevación de la presión arterial pulmonar y una caída de la presión parcial de oxígeno arterial, expresan vasoconstricción de naturaleza hipoxica y estan en relación con los hallazgos de Banchemo a 4540 m (1966). La inhalación de oxígeno al 30% disminuyó la vasoconstricción durante el ejercicio (P<005).

*C ) Aumento del volumen pulmonar*

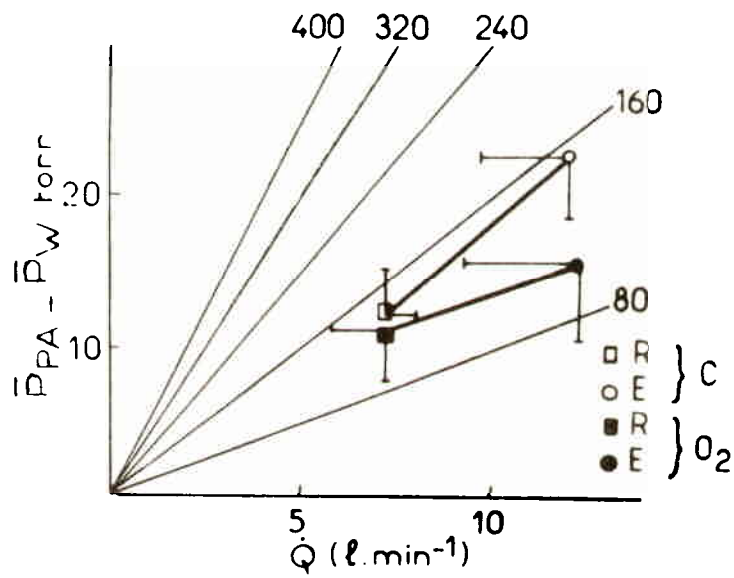
La oclusión temporal de una de las ramas de la arteria pulmonar ha sido practicada en nuestro laboratorio sin riesgo, consiste en desviar todo el flujo pulmonar a un solo pulmón, utilizando un cateter de Dotter Lukas U.S.C.I., creando de este modo un modelo ideal de volumen pulmonar conocido, Se muestran en la tabla V los datos más significativos.

**TABLA V**  
**OCLUSION TEMPORAL DE UNA RAMA DE LA ARTERIA PULMONAR**

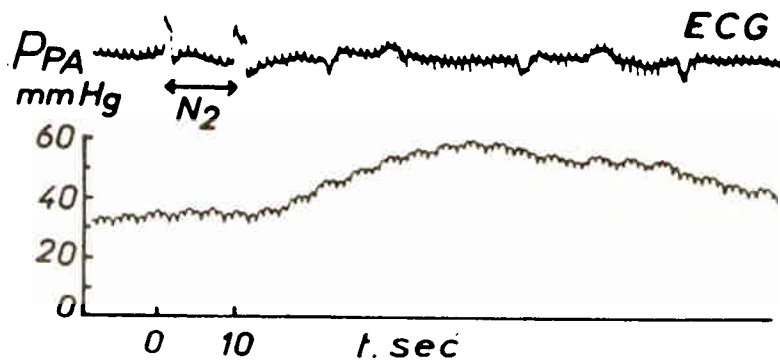
Condición	V.E l.min-1 BTPS	VO2 ml.min-1 STPD	PaO2	PAP mm Hg	pW	RVPT d.seg.cm-5	Qc l.min-1
Reposo							
Control	11.4	302	63	21	7	240	7.0
Bloqueo	13.8	301	53	28	6	196	11.9

Simbología= La misma

La caída de la Pap y PaO2 estadísticamente significativa (P<0.001) sugieren incremento de la vasoconstricción hipoxica durante el desvio del flujo pulmonar, hecho que consideramos como un evento brusco sin adecuación del volumen sanguíneo pulmonar, volumen que probablemente se adecua a expensas de un flujo turbulento que provoca un cortocircuito intrapulmonar funcional y transitorio que explica una respuesta típicamente hiperreactiva y que define una menor distensibilidad del árbol arterial pulmonar. La eritrocitosis patológica de altura, que entraña flujo turbulento crónico, aumento de la viscosidad sanguínea y vasoconstricción sostenida pueden determinar la fibrosis de la íntima y crear las condiciones de un proceso patológico del lecho vascular pulmonar irreversible, de este modo un modelo de aumento del flujo pulmonar transitorio nos deja una enseñanza de lo que pueda acontecer en procesos donde la hipertensión arterial pulmonar hipoxica es sostenida.



Gráfica N° 3.- Relación del gradiente de presión de la presión pulmonar, en distintas situaciones, como reposo y ejercicio, relacionados con aumento de gasto cardíaco y modificación de las resistencias al flujo pulmonar



Gráfica N° 4.- Test de Nitrogeno en un sujeto hiperreactivo que desarrolló edema agudo de pulmón. Se nota modificación de la presión arterial pulmonar.



### *Hiperreactividad Pulmonar.*

Nuestra experiencia se refiere al hecho que es difícil su determinación diagnóstica en el orden clínico y laboratorial (E.C.G., ecocardiograma etc) y que es preciso para seguridad diagnóstica, la medición de la presión arterial pulmonar durante el ejercicio, ya que los sujetos que presentan hiperreactividad en esta condición muestran elevaciones inusuales de su presión arterial pulmonar, la grafica 4 muestra estos asertos en un enfermo que desarrolló un edema agudo pulmonar de altura grave. De hecho los sujetos que presentan esa condición son hiperreactivos. El sostén anatomico para esta situación es el mayor grado de muscularización del lecho vascular pulmonar periferico.

### *Reversibilidad de la Hipertensión arterial pulmonar*

El cambio de habitat donde haya una adecuada presión de oxigeno inspirado revierte la hipertensión arterial de altura (traslado a nivel del mar, pero nunca encima de los 500 mts sobre el nivel del mar).

### *Conclusiones.-*

Se señala en el presente trabajo lo siguiente:

- 1) Que la vida y el estado de salud son normales en la ciudad de La Paz, nivel promedio 3.700 m.
- 2) Que mientras los parámetros biológicos se mantengan en su rango no existe ningun peligro.
- 3) Que los regimenes de presión arterial pulmonar no han producido crecimiento del ventriculo derecho.
- 4) Que la hiperreactividad no está bien conocida, pero puede tener bases genéticas por una parte y por otra parte consideramos que la antigüedad generacional de vida en la altura es importante, ya que la raza cuan más antigua sea, tendrá mejor adaptación a su habitat.
- 5) Que un conocimiento adecuado por parte de la población de altura debe considerarse un aspecto de Salud Pública, para contribuir positivamente a evitar los factores que potencien la hipoxemia de altura, como la obesidad, el tabaquismo, la acidosis, el frio etc.

Dr Antezana Alvéstegui.